

ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

имени А.Ф. Можайского

С.И. МАКАРЕНКО, В.Е. ФЕДОСЕЕВ

СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СВЯЗИ

ВТОРИЧНЫЕ СЕТИ И СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

Учебное пособие



Санкт-Петербург

2014

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент **А.В. Галанкин**,
кандидат технических наук **А.С. Пономарёв**

Макаренко С. И.

Системы многоканальной связи. Вторичные сети и сети абонентского доступа: учебное пособие / С.И. Макаренко, В.Е. Федосеев. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. – 179 с.

В учебном пособии предпринята попытка комплексного рассмотрения технологий и принципов построения систем многоканальной связи во вторичных сетях и сетях абонентского доступа.

Учебное пособие адресовано курсантам, обучающимся по специальности «Применение и эксплуатация систем связи космических комплексов» и изучающих дисциплину «Системы многоканальной связи специального назначения». Учебное пособие может быть использовано студентами обучающимся по специальностям «Сети связи и системы коммутации» и «Многоканальные телекоммуникационные системы», а также специалистами в области проектирования и организации телекоммуникационных систем сетей абонентского доступа.

© ВКА имени А.Ф.Можайского, 2014

Подписано к печ. 11.12.2014
Гарнитура TimesNewRoman
Уч.-печ. л. 22

Формат печатного листа 445×300/8
Авт. л. 11,0
Заказ 2687

Бесплатно

Типография ВКА имени А.Ф. Можайского

Оглавление

Список сокращений	6
Введение	14
1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ СИСТЕМ СВЯЗИ	16
1.1 Структурная схема системы связи и классификация ее элементов	16
1.1.1 Каналы связи	16
1.1.2 Классификация каналов связи	17
1.1.3 Рода связи	22
1.1.4 Виды связи	24
1.2 Структура сетей и систем электросвязи	25
1.2.1 Морфологическое описание сети – структура сети	26
1.2.2 Узлы связи	28
1.2.3 Каналы и линии связи	29
1.2.4 Управление в сети	29
1.3 Основные требования к системам связи	31
2 ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СООТВЕТСТВИИ С МОДЕЛЬЮ OSI	38
2.1 Модель OSI как основа описания взаимодействия абонентов сетей и телекоммуникационных систем	38
2.2 Уровни модели OSI	40
3 ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ	46
3.1 Единая сеть электросвязи – национальная транспортная магистральная сеть	46
3.2 Цифровая первичная сеть	50
3.3 Типовые каналы и тракты аналоговой и цифровой сети электросвязи	57
3.4 Вторичные сети связи	58
3.5 Узлы связи	60
3.6 Этапы развития технологий транспортных и телекоммуникационных сетей	62
4 СЕТИ ФАКСИМИЛЬНОЙ, ТЕЛЕФОННОЙ И ТЕЛЕГРАФНОЙ СВЯЗИ	67
4.1 Организация факсимильной связи	67
4.2 Организация телефонной связи	69
4.2.1 Принципы нумерации в системах телефонной связи	70
4.2.2 Общегосударственная система автоматической телефонной связи	72
4.2.3 Построение городских телефонных сетей	73
4.2.4 Построение сельских телефонных сетей	78

4.2.5 Внутризональные телефонные сети	79
4.2.6 Организация междугородной сети	80
4.2.7 Организация международной сети	82
4.2.8 Перспективы развития ГТС	83
4.3 Организация телеграфной связи	85
4.3.1 Классификация телеграфных сетей	85
4.3.2 Принципы построения телеграфных сетей	85
4.3.3 Телеграфные коды	88
4.3.4 Оконечная телеграфная аппаратура	89
4.3.5 Методы фазирования работы оконечной телеграфной аппаратуры.....	90
5 СЕТИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ТРАНСЛЯЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ.....	91
5.1 Общие сведения о структуре и принципах планирования телевизионного вещания	91
5.1.1 Структура передающей сети телевизионного вещания.....	91
5.1.2 Планирование передающей телевизионной сети.....	92
5.2 Особенности передачи аналоговых телевизионных сигналов по радиорелейным линиям.....	94
5.3 Системы кабельного телевидения.....	96
5.3.1 Принципы построения систем кабельного телевидения	96
5.3.2 Способы построения систем кабельного телевидения на коаксиальном кабеле	97
5.3.3 Особенности систем кабельного телевидения на основе волоконно-оптического кабеля.....	100
5.3.4 Цифровые сети интерактивного кабельного телевидения	103
5.4 Сотовые системы телевидения.....	105
5.5 Принципы организации звукового и телевизионного вещания через телекоммуникационные сети	108
6 СЕТИ И СИСТЕМЫ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА	111
6.1 Понятие сетей абонентского доступа	111
6.2 Проблема «последней мили»	113
6.2.1 Направления решения проблемы «последней мили»	114
6.2.2 Технологии решения проблемы «последней мили»	117
6.3 Классификация и краткая характеристика технологий проводного абонентского доступа.....	118
6.3.1 Технологии локальных сетей	119
6.3.2 Технологии сетей коллективного доступа	121
6.3.3 Технологии симметричного DSL-доступа	122
6.3.4 Технологии асимметричного DSL-доступа.....	124
6.3.5 Технологии кабельных телевизионных сетей.....	125
6.3.6 Технологии доступа на волоконно-оптических линиях	127
6.4 Анализ технологий доступа в сетях связи России	128

7 ТЕХНОЛОГИИ ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ АБОНЕНТСКИХ ЛИНИЙ DSL.....	131
7.1 Обзор технологии цифровой абонентской линии DSL.....	131
7.2 Технологии цифровых абонентских линии DSL и их функциональные особенности	139
7.2.1 Цифровая абонентская линия IDSN	139
7.2.2 Асимметричная цифровая абонентская линия ADSL.....	140
7.2.3 Цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения R-ADSL	144
7.2.4 Сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия VDSL.....	144
7.2.5 Высокоскоростная цифровая абонентская линия HDSL	145
7.2.6 Однолинейная цифровая абонентская линия SDSL	147
7.2.7 Высокоскоростная цифровая абонентская линия HDSL 2	148
7.2.8 Сверхбыстродействующие цифровые абонентские линии SHDSL и G.shdsl	150
7.2.9 Цифровой абонентский доступ по линии электропередачи PCL	153
7.3 Стандартные конфигурации проводного широкополосного доступа	154
8 ТЕХНОЛОГИИ ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ	160
8.1 Технологии группы FTTx.....	160
8.2 Технология пассивной оптической сети PON	163
8.3 Технология Ethernet FTTH	171
Заключение	174
Список литературы	175

Список сокращений

ADSL	– Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая абонентская линия
APON	– ATM Passive Optical Network – пассивная оптическая сеть стандарта ATM
ARP	– Address Resolution Protocol – протокол разрешения адресов
AT	– абонентский (пользовательский) терминал
ATM	– Asynchronous Transfer Mode – асинхронный метод передачи
BPL	– Broadband over Power Lines – широкополосная передача через линию электропередачи
BPON	– Broadband Passive Optical Network – широкополосная пассивная оптическая сеть
BPSK	– Binary Phase-shift Keying – двоичная фазовая манипуляция
BRAS	– Broadband Remote Access Server – сервер широкополосного доступа
CAP	– Carrierless AM – амплитудно-фазовая модуляция без несущей
CC	– Country Code – телефонный код страны
CDMA	– Code Division Multiple Access – множественный доступ с кодовым разделением
CDSL	– Consumer Digital Subscriber Line – стандарт абонентской цифровой линии
CiDSL	– Consumer installable Digital Subscriber Line – доступ по абонентской цифровой линии
CISC	– Complicated Instruction Set Computer – архитектура вычислительной системы, реализующая полную систему команд
CSMA/CA	– Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance – множественный доступ с контролем несущей и избеганием коллизий
CSMA/CD	– Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection – множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий
DHCP	– Dynamic Host Configuration Protocol – протокол автоматического назначения конфигурации
DMT	– Discrete Multi Tone – передача по нескольким несущим
DN	– Directory Number – местный абонентский номер
DOCSIS	– Data over Cable Service Interface Specification – стандарт передачи данных по коаксиальному (телевизионному) кабелю
DPSK	– Differential Phase Shift Keying – дифференциальная фазовая манипуляция
DSL	– Digital Subscriber Line - цифровая абонентская линия

DSLAM	– Digital Subscriber Line Access Multiplexer – мультиплексор доступа цифровой абонентской линии xDSL
DTM	– Dynamic synchronous Transfer Mode – динамический режим синхронной передачи
DVB-C	– Digital Video Broadcasting-Cable – цифровое кабельное видео вещание
DVB-S	– Digital Video Broadcasting-Satellite – цифровое спутниковое видео вещание
EPON	– Ethernet Passive Optical Networking – пассивная оптическая сеть Ethernet
ESCON	– Enterprise Systems Connection – соединение учрежденческих систем (с базами данных, серверами)
ETSI	– European Telecommunications Standards Institute – Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций
FDD	– Frequency-Division for Duplex – частотное мультиплексирование каналов для обеспечения дуплексной связи
FDDI	– Fiber Distributed Data Interface – распределённый волоконный интерфейс данных
FDM	– Frequency-Division Multiplexing – мультиплексирование каналов частотное
FEC	– упреждающая коррекция ошибок
FICON	– Fiber Connection – волоконное соединение для передачи данных
FITB	– Fiber In The Building – организация распределительной сети внутри здания
FTP	– File Transfer Protocol – протокол передачи файлов
FTTB	– Fiber To The Building – доведение волокна до здания
FTTC	– Fiber To The Curb – доведение волокна до кабельного шкафа
FTTCab	– Fiber To The Cabinet – доведение волокна до кабельного шкафа (аналог FTTC)
FTTH	– Fiber To The Home – доведение волокна до квартиры
FTTO	– Fiber To The Office – доведение волокна до офиса
FTTOpt	– Fiber To The Optimum – доведение волокна до оптимального пункта
FTTP	– Fiber To The Premises – доведение волокна до точки присутствия клиента
FTTR	– Fiber To The Remote – доведение волокна до удаленного модуля, концентратора
G.Lite	– вариант ADSL, не требующий установки комбинированного электрического фильтра для частотного разделения каналов на стороне пользователя

G.SHDSL	– Single-pair High-speed digital subscriber line – цифровая абонентская линия, обеспечивающая симметричную дуплексную передачу данных сигнала по паре медных проводников
GEPON	– Gigabit Ethernet Passive Optical Network – пассивная оптическая сеть Gigabit Ethernet
GFP	– Generic Framing Procedure – процедура формирования общего кадра
GMPLS	– Generalised MPLS – протокол обобщенной коммутации по меткам
GPON	– Gigabit PON – пассивная оптическая сеть со скоростью от 1 Гбит/с
HDLC	– High-level Data Link Control – протокол управления каналом высокого уровня
HDSL	– High Bit-Rate Digital Subscriber Line – высокоскоростная цифровая абонентская линия
HDTV	– High-Definition Television – телевидение высокой четкости
HFC	– Hybrid Fiber Coaxial – гибридная сеть кабельного телевидения
HPNA	– Home Phoneline Networking Alliance – объединённая ассоциация некоммерческих промышленных компаний
ISDL	– ISDN Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия для одной пары проводов, используемой для передачи сигналов ISDN
IP	– Internet Protocol – межсетевой Интернет протокол
IPX	– Internet Packet eXchange – межсетевой обмен пакетами
iSCSI	– internet Small Computer System Interface – протокол для установления взаимодействия и управления системами хранения данных, серверами и клиентами
ISDN	– Integrated Services Digital Network – цифровые сети с интеграцией служб
ISO	– International Organization for Standardization – международная организация по стандартизации
ISP	– Internet Service Provider – провайдеры услуг Интернет
ITU-T	– International Telecommunication Union – Telecommunication sector – сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи
LAN	– Local Area Network – локальные сети
LIFO	– Last In – First Out – режим очереди «последним пришел, первым ушел»
LLC	– Logical Link Control – контролер обслуживания сетевого уровня
LLU	– Local Loop Unbundling – отделение абонентских линий
LMDS	– Local Multipoint Distribution System – локальная многоточечная система распределения

LTE	– Long Term Evolution – «долговременное развитие» – стандарт усовершенствования технологий мобильной передачи данных CDMA, UMTS
LTU	– Line Terminal Unit – оборудование на абонентском узле
MAC	– Media Access Control – контролер доступа к разделяемой физической среде
MCNS	– Multimedia Network System Partners Ltd – организация операторов кабельных сетей Северной Америки
MMDS	– Multichannel Microwave Distribution System – многоканальная микроволновая система распределения
MPEG-2	– Moving Picture Experts Group – видео- и аудиостандарт для широковещательного телевидения
MPLS	– Multi-Protocol Label Switching – многопротокольная коммутация по меткам
MVDS	– Multipoint Video Distribution System - многоточечная система распределения телевизионных программ
MVL	– Multiple virtual Line – многопользовательская виртуальная абонентская линия
NDC	– National Destination Code – междугородный телефонный код
NFS	– Network File System – протокол доступа к сетевым файловым системам
NGN	– Next/New Generation Network – сети связи следующего/нового поколения
N-ISDN	– Narrowband Integrated Services Digital Network – узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
NPL	– Narrowband over Power Lines – узкополосная передача через линии электропередачи
NTU	– Network Terminal Unit – сетевое абонентское оборудование
OAN	– Optical Access Networks – оптические сети доступа
OFDM	– Orthogonal frequency-division multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов
OLT	– Optical Line Terminal – терминал (абонент) оптической линии
ONT	– Optical Network Terminal – терминал центрального узла
ONU	– Optical Network Unit – модуль центрального узла
OSI	– Open System Interconnections – модель взаимодействия открытых систем
PAM	– Pulse Amplitude Modulation – амплитудно-фазовая модуляция
PDH	– Plesiochronic Digital Hierarchy – плезиохронная цифровая иерархия
PDSL	– Power Digital Subscriber Line – цифровой абонентский доступ по линии электропередачи
PLC	– Power line communication – обмен данными по линии электропередачи
PON	– Passive Optical Network – пассивная оптическая сеть

PPP	– Point-to-Point Protocol – протокол доступа «точка-точка»
PPPoA	– Point-to-Point Protocol over ATM – метод доступа с использованием протокола точка-точка «поверх» сети ATM
PPPoE	– Point-to-Point Protocol over Ethernet – метод доступа с использованием протокола точка-точка «поверх» сети Ethernet
PSTN	– Public Switched Telephone Network – телефонная опорная сеть
QAM	– Quadrature Amplitude Modulation – квадратурно-амплитудная модуляция
QoS	– Quality of Service – качество обслуживания
QPSK	– Quadrature Phase Shift Keying – квадратурно-фазовая манипуляция
RADIUS	– Remote Authentication Dial In User Service – сервер аутентификации пользователей
R-ADSL	– Rate-Adaptive Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения
RA-HDSL	– Rate Adaptive HDSL – цифровая абонентская линия со ступенчатой регулировкой скорости
RLL	– Run Length Limited – код с ограничением длины серий
RPR	– Resilient Packet Ring – протокол пакетного кольца с самовосстановлением
SANs	– Storage Area Networks – сети хранения данных (серверы услуг, базы данных)
SDH	– Synchronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия
SEC	– Symmetrical Echo cancellation – симметричная передача с эхоподавлением
SECAM	– Séquentiel couleur à mémoire, фр. – последовательный цвет с памятью; система аналогового цветного телевидения
SHDSL	– Single-pair High-speed DSL – симметричная передача данных сигнала по паре медных проводников
SMATV	– Satellite Master Antenna TV – телевизионная система коллективного пользования
SN	– Subscriber Number – зонный номер абонента
SONET	– Synchronous Optical Networking – синхронная цифровая иерархия
SSL	– Secure Socket Layer – протокол секретного обмена сообщениями
STM	– Synchronous Transfer Mode – синхронный режим передачи
STP	– Shielded Twisted Pair – экранированная витая пара
SVC	– Switched Virtual Circuits – перекоммутируемые виртуальные каналы
TC PAM	– Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation – импульсная амплитудная модуляция с треллис-кодированием

TCP	– Transmission Control Protocol – протокол управления передачей
TDD	– Time Division Duplex – дуплексный канал с временным разделением
TDMA	– Time Division Multiple Access – множественный доступ с разделением по времени
TFTP	– Trivial File Transfer Protocol – простой протокол передачи файлов
TMUX	– Trans Multiplexor – трансмультиплексор
UMTS	– Universal Mobile Telecommunicatins System – универсальная мобильная телекоммуникационная система
UTP	– Unshielded Twisted Pair – неэкранированная витая пара
VC	– Virtual Circuit – виртуальный канал
VDSL (VHDSL)	– Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line – сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия
VoATM	– Voice over ATM – одновременная передача данных и голоса через ATM
VOD	– Video on Demand – видео по запросу
VoDSL	– Voice over DSL – одновременная передача данных и голоса в цифровом виде
VoIP	– Voice over IP – одновременная передача данных и голоса через ATM
WAN	– Wide Area Network – глобальные сети
WDM	– wavelength division multiplexing – система оптического уплотнения по длине волны
WiMAX	– Worldwide Interoperability for Microwave Access – телекоммуникационная технология
WLL	– Wireless Local Loop – технологии беспроводного абонентского доступа
АКМ	– абонентский кабельный модем
АЛ	– абонентская (пользовательская) линия
АМ	– амплитудная модуляция
АМТС	– автоматическая междугородная телефонная станция
АМ-ЧПБ	– амплитудная модуляция с частично подавленной боковой полосой
АСК	– аналоговая система коммутации
АСП	– аналоговые системы передачи
АТС	– автоматическая телефонная станция
АЦП	– аналого-цифровой преобразователь
БС	– базовая станция
ВОЛС	– волоконно-оптические линии связи
ВОСПИ	– волоконно-оптическая система передачи информации
ВСС	– Взаимоувязанная сеть связи
ГС	– головная станция
ГТС	– городская телефонная сеть

ДРС	– домовая радиорелейная сеть
ДТР УКВ	– дальнее тропосферное распространение ультракоротких волн
ДЦВ	– дециметровые волны
ЕСЭ РФ	– Единая сеть электросвязи Российской Федерации
ЗСЛ	– заказно-соединительная линия
ИКМ	– импульсно-кодовая модуляция
ИСЗ	– искусственный спутник Земли
КВЧ	– крайне высокие частоты
КК	– коммутация каналов
КС	– коммутация сообщений
КТВ	– кабельное телевидение
ЛЭП	– линия электропередачи
МСЭ-Т	– Сектор стандартизации электросвязи
ОАТС	– оконечные автоматические станции
ОВ	– оптическое волокно
ОВЧ ЧМ	– организация телевизионного и звукового радиовещания с частотной модуляцией
ОГСТфС	– Общегосударственная система автоматизированной телефонной связи
ОК	– оптический кабель
ОКС	– общий канал сигнализации
ОНЧ	– очень низкие частоты
ОС	– оконечная станция
ОТАТС	– оконечно-транзитные телефонные станции
ОЦК	– основной цифровой канал
ПЗС	– прибор с зарядовой связью
ПК	– персональный компьютер
ППВ	– предел прямой видимости
ПРД	– передатчик
ПСП	– псевдослучайная последовательность
ПЦИ	– плезиохронная цифровая иерархия
ПЦК	– первичный цифровой канал
ПЦС	– плезиохронные цифровые системы
РАТС	– районная АТС
РРЛ	– радиорелейная линия
РРС	– радиорелейная станция
РТПС	– радиотелевизионная передающая станция
РЭБ	– радиоэлектронная борьба
РЭП	– радиоэлектронное противоборство
САД	– сеть абонентского доступа
СВЧ	– сверхвысокие частоты
СКД	– сети коллективного доступа
СКМ	– станционный кабельный модем
СКТВ	– система кабельного телевидения

СЛМ	– соединительная линия междугородная
СПД	– сеть передачи данных
СРП	– сборщик-разборщик пакетов
СТМ	– синхронный транспортный модуль
СТС	– сельская телефонная сеть
СЦИ	– синхронная цифровая иерархия
ТГ	– тактовый генератор
ТКС	– телекоммуникационная сеть
ТС	– транспортная сеть
ТУ	– транзитный узел
ТфОС	– телефонная опорная сеть
ТфОП	– телефонная сеть общего пользования
ТЧ	– канал тональной частоты
УАК	– узел автоматической коммутации
УВС	– узел входящих сообщений
УВЧ	– ультравысокие частоты
УИВС	– узел исходящих и входящих сообщений
УИС	– узел исходящих сообщений
УК	– узел коммутации
УС	– узловая станция
У-ЦСИС	– узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
ЦАЛ	– цифровые абонентские линии
ЦАП	– цифро-аналоговый преобразователь
ЦКП	– центр коммутации пакетов
ЦСИО	– цифровая сеть интегрального обслуживания
ЦСИС	– цифровые сети с интеграцией служб
ЦСИУ	– цифровые сети с интеграцией услуг
ЦСК	– цифровая система коммутации
ЦСП	– цифровые системы передачи
ЦТВП	– цифровая телевизионная приставка
ЧИМ	– частотно-импульсная модуляция
ЧМ	– частотная модуляция
ШИМ	– широтно-импульсная модуляция
ШПД	– широкополосный доступ
ШПС	– широкополосный сигнал
ЭВМ	– электронная вычислительная машина
ЭМС	– электромагнитная совместимость

Введение

Учебное пособие ориентировано на курсантов, обучающихся по программе подготовки инженеров по специальности «Применение и эксплуатация систем связи космических комплексов». Также оно может быть использовано специалистами в области проектирования и организации многоканальных систем связи и передачи данных.

Учебное пособие учитывает требования государственного образовательного стандарта, тематически соответствует первой теме учебной программы и тематического плана дисциплины «Многоканальные системы связи специального назначения». Отдельные главы пособия соответствуют материалу отдельных занятий, преимущественно лекциям.

Данное учебное пособие написано с целью систематизации вопросов построения и функционирования современных вторичных сетей и сетей доступа. Основное внимание уделяется современным направлениям развития телекоммуникационных сетей и систем с учетом их места и роли в единой системе электросвязи, в основе которой реализован принцип многоканальности.

При составлении данного пособия авторы использовали известные, ставшие классическими в области телекоммуникационных систем учебные издания следующих авторов: *В.Г. Олифера, Н.А. Олифер* [7], *В.В. Крухмалева, В.Н. Гордиенко, Н.Н. Баева, С.А. Курицына* [8, 9], *В.П. Шувалова, Б.И. Крука, В.Н. Попантонопуло, Г.П. Катунина, Г.В. Мамчева, В.В. Величко, Е.А. Субботина, А.Ф. Ярославцева* [10 -12], *Ю.А. Семенова* [13], *Б. Склера* [14]. Также в пособие включены материалы общедоступных ресурсов сети Интернет, перечень которых можно найти в списке использованной литературы.

Учебное пособие является развитием учебных работ *К.Ю. Цветкова, А.В. Радионова, А.Ф. Акмолова, С.Н. Ефимова* [1 -4] по дисциплинам «Многоканальные системы связи» и «Цифровые системы передачи», подготовленных на кафедре сетей и систем связи космических комплексов ВКА имени А.Ф. Можайского, а также материалов дисциплин «Системы связи» [5], «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации» [6], преподаваемых авторами в Ставропольском ВВАИУ(ВИ), Ставропольском филиале МГГУ имени М.А. Шолохова и ВУНЦ ВВС «ВВА имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

В основу глав учебного пособия положен материал следующих источников:

- глава 1 «Основные понятия и определения теории систем связи» – работы [5, 6, 15, 16, 17];
- глава 2 «Построение сетей и телекоммуникационных систем в соответствии с моделью OSI» – работы [6, 7];
- глава 3 «Принципы построения единой сети электросвязи» – работы [4, 6, 8, 9, 10, 13, 18, 19, 47];
- глава 4 «Сети факсимильной, телефонной и телеграфной связи» – работы [20, 21, 50, 51], дополненные информацией из работ [48, 49];

- глава 5 «Сети телевизионных трансляций и технологического телевидения» – работа [20];
- глава 6 «Сети и системы абонентского доступа» – работа [6] и обобщение работ [24 -33];
- глава 7 «Технологии доступа на основе цифровых абонентских линий DSL» – работа [6] и обобщение работ [23, 33 -42];
- глава 8 «Технологии доступа на основе волоконно-оптических линий связи» – работа [6] и обобщение работ [28, 32, 33, 43, 44, 45, 46].

Следует отметить, что в материалах учебного пособия нашли отражение отдельные результаты научно-исследовательской работы Макаренко С.И. по исследованию качества функционирования систем связи в условиях нестационарной информационной нагрузки [52 -57]; устойчивости сетей и систем связи в условиях воздействия преднамеренных деструктивных факторов [58 -66]; а также исследования по управлению ресурсами систем связи в интересах компенсации нестационарных условий и дестабилизирующих факторов [67 -69].

Авторы признательны рецензентам за их кропотливый труд и доброжелательный критичный подход к оценке содержания учебного пособия, за ценные замечания и предложения по формированию его структуры, способствовавшие выработке единого подхода к рассмотрению вопросов рассматриваемой предметной области.

Авторы выражают благодарность *Ушанёву К.В.* за неоценимую помощь при подготовке пособия к изданию.

Предложения и замечания по учебному пособию авторы просят направлять Макаренко С.И. на email: mak-serg@yandex.ru.

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ СИСТЕМ СВЯЗИ

1.1 Структурная схема системы связи и классификация ее элементов

В системах управления различного назначения для передачи сообщений широко применяются различные виды электросвязи, в числе которых радиосвязь посредством радиоволн.

Обобщенная структурная схема системы связи представлена на рис. 1.1. Отправителем и получателем сообщения могут выступать как человек, так и различного рода технические устройства, обеспечивающие формирование, регистрацию, хранение и использование сообщений.

По своему характеру сообщения могут иметь различную структуру. Сообщения могут быть в виде речи, буквенно-цифрового текста, изображения, цифровых данных и т. д.

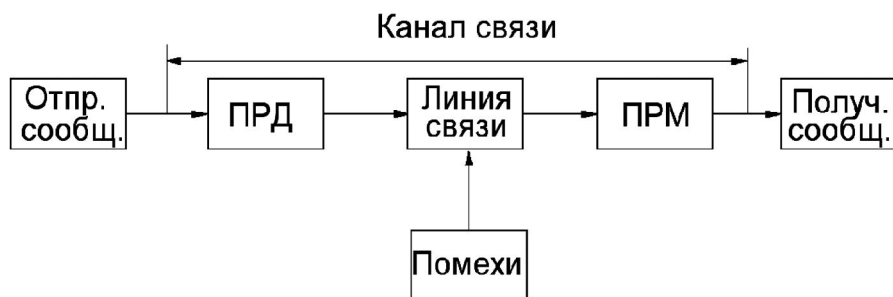


Рис. 1.1. Обобщенная структурная схема системы связи

Совокупность передающего устройства, линии связи и приемного устройства принято называть **каналом связи**. Отправитель сообщений, канал связи и получатель сообщений образуют **систему связи**. Часто приемные и передающие устройства, расположенные вместе, объединяют.

1.1.1 Каналы связи

Канал связи обеспечивает соединение передатчика и приёмника. Физический канал может быть как двухпроводной линией, которая пропускает электрический сигнал, так и стекловолокном, которое переносит информацию посредством модулированного светового луча.

Для передачи информации в океане используют подводный акустический канал, а в свободном пространстве несущий информационный сигнал является радиоволной и излучается при помощи антенны.

Другие среды, которые могут характеризоваться как каналы связи и средства хранения данных – магнитная лента, магнитные и оптические диски.

Одна общая проблема при передаче сигнала через любой канал – аддитивный шум. Вообще говоря, аддитивный шум часто создаётся внутри различных электронных компонентов, таких как резисторы и твёрдотельные устрой-

ства, используемые в системах связи. Эти шумы часто называют *тепловым шумом*.

Другие источники шума и интерференции (наложения) могут возникать вне системы, например переходные помехи от других пользователей канала. Когда такой шум и переходные помехи занимают тот же самый диапазон частот, что и полезный сигнал, их влияние может быть минимизировано путем соответствующего выбора передаваемого сигнала и демодулятора в приемнике.

Другие виды сигнальных искажений, которые могут встречаться при передаче сигнала по каналу – это затухание сигнала, амплитудные и фазовые искажения сигнала и искажения сигнала, обусловленные многопутевым распространением волн. Влияние шума может быть уменьшено увеличением мощности передаваемого сигнала. Однако конструктивные и другие практические соображения ограничивают уровень мощности передаваемого сигнала.

Другое базовое ограничение – доступная ширина полосы частот канала. Ограничение ширины полосы обычно обусловлено физическими ограничениями среды и электрических компонентов, используемых в передатчике и приемнике. Эти два обстоятельства приводят к ограничению количества данных, которые могут быть переданы надёжно по любому каналу связи.

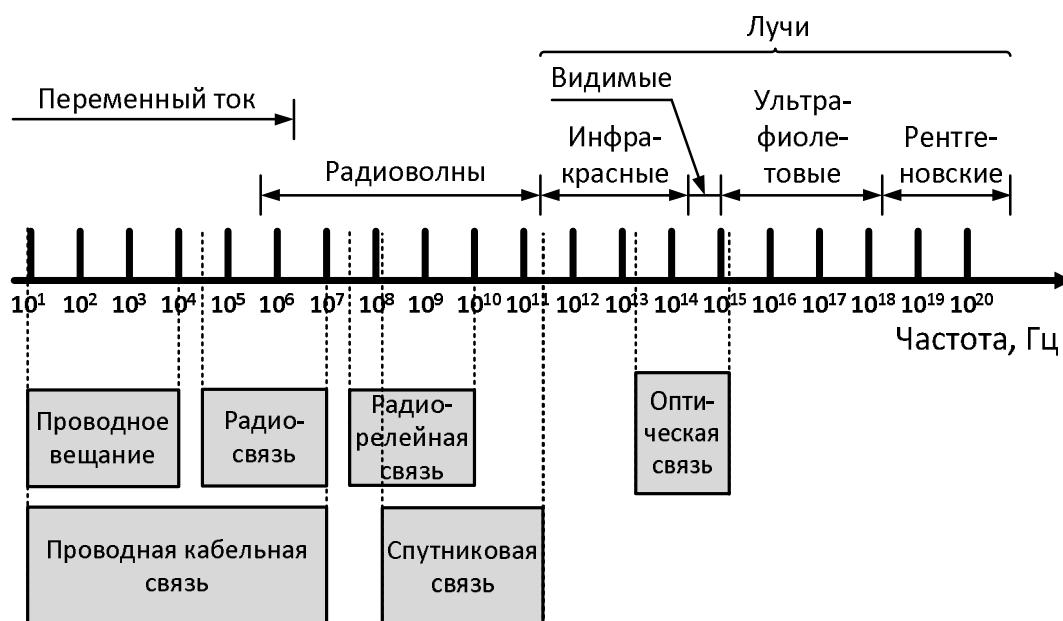


Рис. 1.2. Частотный диапазон электромагнитных каналов

Рис. 1.2 поясняет частотный диапазон используемых электромагнитных каналов, которые включают волноводы и оптический кабель.

1.1.2 Классификация каналов связи

Рассмотрим основные типы каналов связи, классифицированные по используемой среде передачи (рис. 1.3).

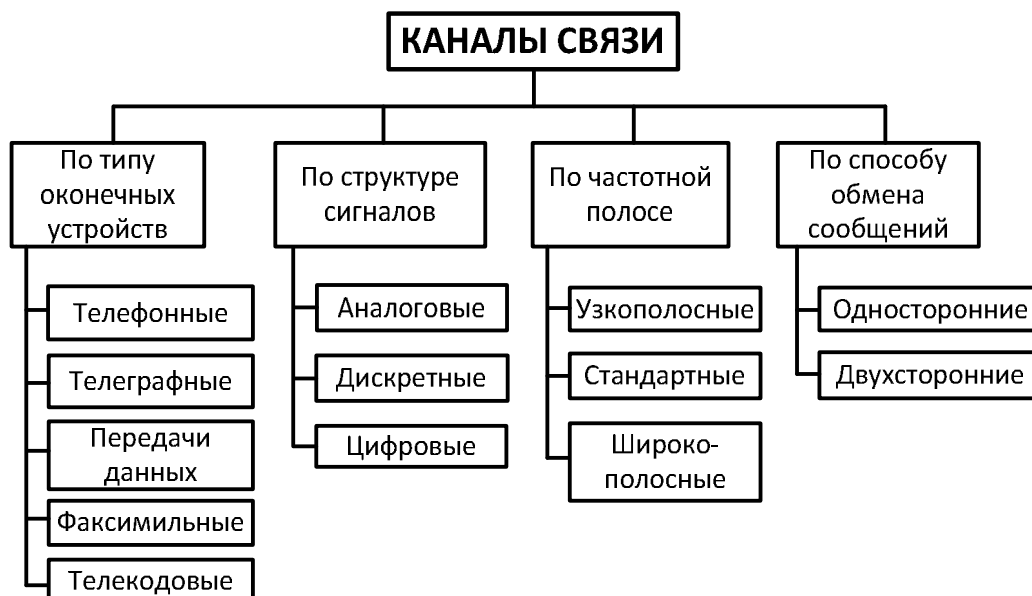


Рис. 1.3. Классификация каналов связи

Проводные каналы. Витые проводные пары и коаксиальный кабель в основном дают электромагнитный канал, который обеспечивает прохождение относительно умеренной ширины полосы частот. Так телефонный провод, обычно используемый для соединения абонента с центральной станцией, имеет ширину полосы несколько сотен килогерц. С другой стороны, коаксиальный кабель обычно имеет используемую ширину полосы частот несколько мегагерц.

Сигналы, передаваемые через такие каналы, искажаются по амплитуде и фазе, кроме этого на них накладывается аддитивный шум. Проводная линия связи в виде витой пары также склонна к интерференции переходных помех от рядом расположенных пар. Поскольку проводные каналы составляют большой процент каналов связи по всей стране и миру, широкие исследования были направлены на определение их свойств передачи и на уменьшение амплитудных и фазовых искажений в канале.

Волоконно-оптические каналы. Стекловолокно предоставляет проектировщику системы связи ширину полосы частот, которая на несколько порядков больше, чем у каналов с коаксиальным кабелем. В течение прошедшего десятилетия были разработаны оптические кабели, которые имеют относительно низкое затухание для сигнала, и высоконадёжные оптические устройства для генерирования и детектирования сигнала. Эти технологические достижения привели к быстрому освоению таких каналов как для внутренних систем электросвязи, так и для трансатлантических и мировых систем связи. С учётом большой ширины полосы частот, доступной на волоконно-оптических каналах, стало возможно для телефонных компаний предложить абонентам широкий диапазон услуг электросвязи, включая передачу речи, данных, факсимильных и видеосигналов.

Передачиком или модулятором в волоконно-оптической системе связи является источник света, светоизлучающий диод или лазер. Информация передается путем изменения (модуляции) интенсивности источника света посредством сигнала сообщения. Свет распространяется через волокно как световая

волна, которая для компенсации затухания сигнала периодически усиливается (в случае цифровой передачи детектируется и восстанавливается ретрансляторами) вдоль тракта передачи.

В приемнике интенсивность света детектируется фотодиодом, чей выход является электрическим сигналом, который изменяется пропорционально мощности света на входе фотодиода. Источники шума в волоконно-оптических каналах – это фотодиоды и электронные усилители. Предполагается, что волоконно-оптические каналы заменят почти все каналы проводной линии связи в телефонной сети на рубеже столетия.

Беспроводные (радио) каналы. В системах беспроводной связи (радиосвязи) электромагнитная энергия передается в среду распространения антенной, которая служит излучателем. Физические размеры и структура антенны зависят, прежде всего, от рабочей частоты. Чтобы получить эффективное излучение электромагнитной энергии, размеры антенны должны быть больше чем $1/10$ длины волны.

Способы распространения электромагнитных волн в атмосфере и в свободном пространстве можно разделить на три категории, а именно:

- распространение поверхностной волной;
- распространение пространственной волной;
- распространение прямой волной.

В диапазоне очень низких частот (ОНЧ) и звуковом диапазоне, в которых длины волн превышают 10 км, Земля и ионосфера образуют волновод для распространения электромагнитных волн.

В этих частотных диапазонах сигналы связи фактически распространяются вокруг всего земного шара. По этой причине эти диапазоны частот во всём мире используются прежде всего для решения навигационных задач при управлении удаденными объектами. Ширина полосы частот канала, доступной в этих диапазонах, относительно мала (обычно составляет 1...10% центральной частоты), и, следовательно, информация, которая передается через эти каналы, имеет относительно низкую скорость передачи и обычно неприемлема для цифровой передачи.

Доминирующий тип шума на этих частотах обусловлен грозовой деятельностью вокруг земного шара, особенно в тропических областях. Интерференция возникает из-за большого числа станций в этих диапазонах частот.

Распространение земной волной, как иллюстрируется на рис. 1.4, является основным видом распространения для сигналов в полосе средних частот (0,3...3 МГц). Это диапазон частот, используемый для радиовещания с АМ и морского радиовещания.

При АМ радиовещания и распространении земной волной дальность связи даже при использовании мощных радиостанций ограничена 150 км. Атмосферные шумы, промышленные шумы и тепловые шумы от электронных компонентов приёмника являются основными причинами искажений сигналов, передаваемых в диапазоне средних частот.

Частным случаем распространения пространственной волны является ионосферное распространение, иллюстрируемое рис. 1.5.

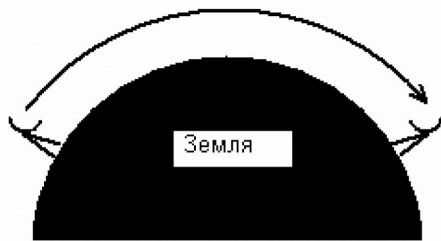


Рис. 1.4. Распространение
поверхностной волны

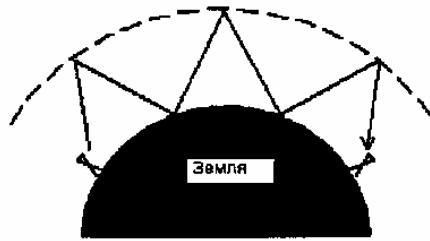


Рис. 1.5. Ионосферное
распространение
пространственной волны

Оно сводится к отражению (отклонение или рефракция волны) передаваемого сигнала от ионосферы, которая состоит из нескольких слоев заряженных частиц, расположенных на высоте 50...400 км от поверхности Земли. В дневное время суток разогрев нижних слоев атмосферы солнцем обуславливает появление нижнего слоя на высоте ниже 120 км. Эти нижние слои, особенно D-слой, вызывают поглощение частот ниже 2 МГц, таким образом, ограничивая распространение ионосферной волной радиопередач АМ радиовещания.

Однако в течение ночных часов электронная концентрация частиц в нижних слоях ионосферы резко падает, и частотное поглощение, которое встречается в дневное время, значительно сокращается. Как следствие, мощные радиовещательные сигналы с АМ могут распространяться на большие расстояния посредством отражения от ионосферных слоев (располагаются на высоте от 140 до 400 км над поверхностью земли) и земной поверхности.

Часто возникающая проблема при ионосферном распространении электромагнитной волны в ВЧ диапазоне – это *многопутёвость*. Многопутёвость образуется потому, что передаваемый сигнал достигает приёмника по многим путям с различными задержками. Это обычно приводит к межсимвольной интерференции в системе цифровой связи. Более того, сигнальные компоненты, прибывающие по различным путям распространения, могут суммироваться таким образом, что это приводит к явлению, названному *замираниями*. Большинство людей испытало замирания при прослушивании отдалённой радиостанции ночью, когда ионосферная волна является доминирующим способом распространения.

Аддитивный шум в ВЧ диапазоне – это комбинация атмосферных помех и теплового шума. Распространение ионосферной волны прекращается на частотах выше 30 МГц, что является границей диапазона ВЧ. Однако возможно ионосферно-тропосферное распространение на частотах в диапазоне от 30 до 60 МГц, обусловленное рассеянием сигналов от нижних слоев ионосферы. Также можно связаться на расстоянии нескольких сотен миль при помощи тропосферного рассеяния в диапазоне от 40 до 300 МГц. Тропосферное рассеяние обуславливается рассеянием сигнала благодаря частицам в атмосфере на высотах порядка 10 км. Обычно ионосферное и тропосферное рассеяние вызы-

ваает большие сигнальные потери и требует большой мощности передатчика и относительно больших размеров антенн.

Частоты выше 30 МГц проходят через ионосферу с относительно малыми потерями и делают возможным спутниковую и внеземную связь. Следовательно, на частотах УВЧ диапазона и выше основным способом электромагнитного распространения волн является распространение в пределах прямой видимости (ППВ). Для земных систем связи это означает, что передающая и приемная антенны должны быть в прямой видимости с относительно малой преградой (или ее отсутствием). По этой причине передача телевизионных станций в УВЧ и СВЧ диапазонах частот для достижения широкой зоны охвата осуществляется антеннами на высоких опорах.

Вообще, зона охвата для ППВ распространения ограничена кривизной поверхности Земли. Если передающая антенна установлена на высоте h [м] над поверхностью Земли, расстояние до радиогоризонта, не принимая во внимание физические преграды, такие как горы, приблизительно $d=\sqrt{15h}$ [км]. Например, антенна телевидения, установленная на высоте 300 м, обеспечивает покрытие территории приблизительно 67 км.

Другой пример – релейные системы микроволновой радиосвязи, используемые для передачи телефонных и видеосигналов на частотах выше, чем 1 МГц, имеют антенны, установленные на высоких опорах или сверху на высоких зданиях.

Доминирующий шум, ограничивающий качество системы связи в ВЧ и УВЧ диапазонах – тепловой шум, создаваемый во входных цепях приемника, и космические шумы, улавливаемые антенной. На частотах в диапазоне СВЧ выше чем 10 ГГц при распространения сигнала главную роль играют атмосферные условия.

Например, на частоте 10 ГГц затухание меняется приблизительно от 0,003 дБ/км при лёгком дожде до 0,3 дБ/км при тяжёлом дожде, а на частоте 100 ГГц - от 0,1 дБ/км до 6 дБ/км соответственно. Следовательно, в этом частотном диапазоне тяжелый дождь вызывает чрезвычайно высокие потери при распространении, которые могут приводить к отказу системы обслуживания (полный обрыв в системе связи).

На частотах выше КВЧ (крайне высокие частоты) полосы мы имеем диапазон инфракрасного и видимого излучений в области электромагнитного спектра, который может использоваться для применения ППВ оптической связи в свободном пространстве. До настоящего времени эти диапазоны частот использовались в экспериментальных системах связи типа связи между спутниками.

Подводные акустические каналы. За последние 40 лет исследования океанской деятельности непрерывно расширялись. Это связано с усилением потребности передавать данные, собранные подводными и поверхностными датчиками в океане, к центру сбора информации.

Электромагнитные волны не распространяются на большие расстояния под водой, за исключением крайне низких частот. Однако передача сигналов таких низких частот предельно дорога из-за чрезвычайно больших и мощных

передатчиков. Затухание электромагнитных волн в воде может быть выражено *глубиной поверхностного слоя* - расстояния, на котором сигнал ослабляется в e раз.

Например, для частоты 10 кГц глубина поверхностного слоя 2,5 м. Напротив, акустические сигналы распространяются на расстояния порядка десятков и даже сотен километров.

Подводный акустический канал ведет себя как многопутевой канал благодаря сигнальным отражениям от поверхности и дна моря. Из-за случайного движения волны сигнальные продукты многопутевого (многолучевого) распространения приводят к случайным во времени задержкам распространения и в итоге к замираниям сигнала.

Кроме того, имеется частотно-зависимое затухание, которое приблизительно пропорционально квадрату частоты сигнала. Глубинная скорость номинально равна приблизительно 1500 м/с, но реальное значение выше или ниже номинального значения в зависимости от глубины, на которой сигнал распространяется.

Окружающий океанский акустический шум вызван креветкой, рыбой и различными млекопитающими. Ближние гавани добавляют к окружающему шуму промышленный шум. Несмотря на эту помеховую окружающую среду, возможно проектировать и выполнять эффективные и безопасные подводные акустические системы связи для передачи цифровых сигналов на большие расстояния.

1.1.3 Рода связи

*Классификационная группировка связи, выделенная по среде распространения сигналов или по применяемым средствам, называется **родом связи***. Различают следующие рода связи – приведенные на рис. 1.6.

Радиосвязь – род связи, который реализуется с использованием радиосредств, земных и ионосферных радиоволн [5].

Радиорелейная связь – род связи, который реализуется с использованием радиорелейных средств связи и радиоволн в ультракоротковолновом диапазоне. Радиорелейная связь применяется в звеньях управления от полка и выше [5].

Тропосферная связь – это род связи, который реализуется с использованием тропосферных средств связи и физического явления дальнего тропосферного распространения ультракоротких волн (ДТР УКВ).

По своему назначению, применению и качеству тропосферная связь аналогична радиорелейной [5].

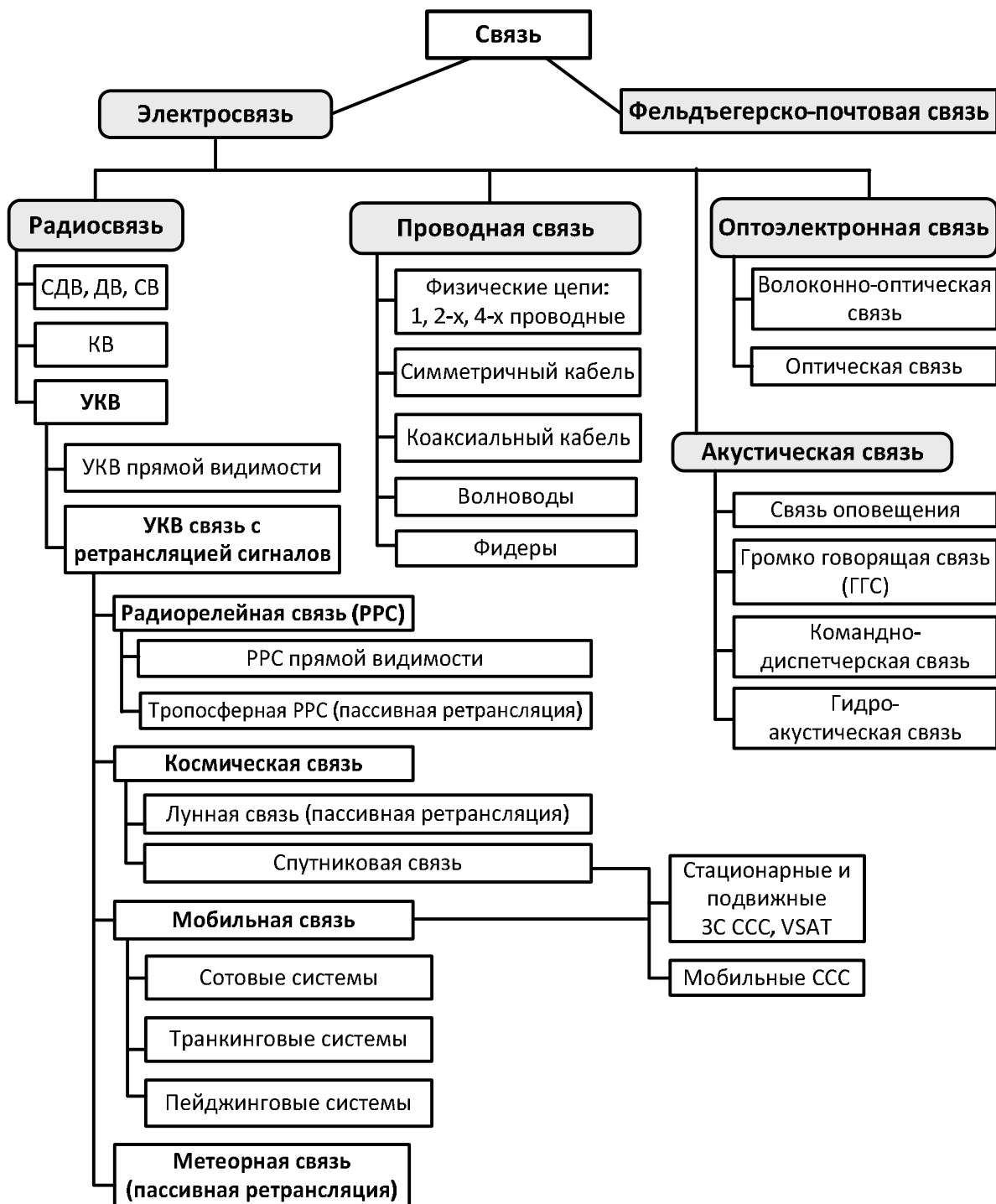


Рис. 1.6. Классификация родов связи

В настоящее время имеет место устойчивая тенденция повышения роли космической и спутниковой связи в военных системах связи.

Космическая связь – радиосвязь в интересах корреспондентов наземного, воздушного и морского базирования, имеющая общие участки распространения радиоволн за пределами ионосферы [5].

Спутниковая связь – частный случай космической связи, когда между абонентами наземного, воздушного или морского базирования связь осуществляется с использованием ретранслятора, размещенного на искусственном спутнике земли [5].

Современные военные станции спутниковой связи обеспечивают связь на расстояниях от 5000 км и более.

Проводная связь – связь, осуществляемая по проводным (кабельным) линиям связи [5]. В системах проводной связи электрический сигнал передается по кабельной линии. Средства проводной связи обеспечивают высокое качество каналов, простоту организации связи, относительно большую скрытность по сравнению с радиосвязью, почти не подвержены воздействию преднамеренных помех.

Волоконно-оптическая связь – связь, осуществляемая по волоконно-оптическому кабелю и специальной аппаратуре преобразования электрических сигналов в оптические [5].

Все рода связи реализуются конкретными средствами связи: радиостанциями, радиорелейными, тропосферными станциями, станциями спутниковой связи, проводными средствами связи, волоконно-оптическими средствами связи. Эти средства образуют каналы связи: радио-, радиорелейные, тропосферные и т.д. Для каналов образующих средств каждого рода связи установлены условные обозначения, применяемые при разработке документов по связи.

1.1.4 Виды связи

Одна и та же по содержанию информация может быть представлена сообщениями различного вида: текстом, данными, изображением или речью. В зависимости от способа представления сообщений к удобному для восприятия виду различают *виды связи*.

Вид связи – это классификационная группировка связи, выделенная по виду передаваемого сообщения (оконечного оборудования или средства связи) [5]. При использовании соответствующей оконечной аппаратуры по каналам радио-, радиорелейных, тропосферных, спутниковых, проводных (кабельных) линий связи обеспечиваются следующие **виды связи** [5]:

- телефонная связь;
- видеотелефонная связь;
- телеграфная связь;
- передача данных;
- факсимильная связь;
- телевизионная связь.

Сигнальная связь – это связь, осуществляемая с помощью заранее определенных зрительных и звуковых сигналов управления [5]. В настоящее время для управления боем используются зрительные средства (световые ракеты, цветные дымы и др.) и звуковые средства (сирены, свистки и др.).

Телефонная связь – это вид электросвязи, обеспечивающий передачу (прием) речевой информации, переговоры должностным лицам органов управления [5]. Телефонная связь создает условия, близкие к личному общению, поэтому является наиболее удобной в тактическом звене управления, но сохраняет свое значение и в других звеньях управления. С целью скрытия от противника содержания телефонных переговоров в каналах связи применяет-

ся аппаратура засекречивания или устройства технического маскирования речи. В зависимости от применяемой оконечной и специальной аппаратуры телефонная связь может быть открытой, маскированной, засекреченной временной или гарантированной стойкости [1].

Телеграфную связь, передачу данных и факсимильную связь принято объединять понятием «**документальная связь**». Ниже укажем предназначение и дадим краткую характеристику каждого вида связи.

Телеграфная связь – вид электросвязи, обеспечивающий обмен телеграммами (краткими текстовыми сообщениями). Кроме того, она предназначена для передачи документальных сообщений в виде шифрограмм, кодограмм [5].

Телеграфная связь может быть буквопечатающей или слуховой, засекреченной или открытой (с применением аппаратуры засекречивания или без ее применения). Телеграммы, несущие важную информацию, могут предварительно шифроваться или кодироваться.

Факсимильная связь – это вид электросвязи, обеспечивающий обмен документальной информацией в цветном и черно-белом изображении. Она предназначена для передачи документов в виде карт, схем, чертежей, рисунков и буквенно-цифровых текстов в черно-белом или цветном изображении [5]. Данная связь представляет большое удобство должностным лицам органов управления, так как на приемном устройстве получается готовый для дальнейшей работы документ с соответствующими подписями и печатями.

Передача данных – это вид электросвязи, обеспечивающий обмен формализованными и неформализованными сообщениями между электронно-вычислительными комплексами, автоматизированными рабочими местами должностных лиц пунктов управления [5]. Под **данными** будем понимать информацию, представленную в виде, пригодном для автоматической обработки.

Видеотелефонная связь – это вид электросвязи, обеспечивающий переговоры должностных лиц органов управления с одновременной передачей подвижных изображений [5]. Данный вид связи применяется только в высших звеньях военного управления.

Телевизионная связь – это вид электросвязи, обеспечивающий передачу боевой обстановки и других событий на местности в реальном масштабе времени [5]. Она используется в высших звеньях управления.

1.2 Структура сетей и систем электросвязи

Сеть связи – объединенная единой целью функционирования совокупность оконечных устройств, коммутационных центров и соединяющих их линий (каналов) связи, выполняющих соответственно функции распределения и передачи сообщений, а также средства управления, реализующие заданные алгоритмы функционирования сети [6].

Источники и получатели информации в сетях связи называются **абонентами связи**.

Абонентами могут быть как должностные лица, так и технические средства. Абоненты связи определяют вид передаваемой информации, форму ее представления и требования к качеству передачи.

Сети связи должны обеспечить такой обмен информацией, при котором абонентам связи будет гарантирована передача информации в требуемом объеме точно по заданному адресу, при задержках, не превышающих установленных значений, с заданным качеством, скрытностью и секретностью.

Указанные требования определяют состав, структуру, принципы построения и характеристики сетей связи и их элементов, особенности построения и эксплуатации систем передачи.

Последние годы наряду с понятием сети связи широко используется понятие телекоммуникационных сетей, которое по существу является синонимом.

Современная телекоммуникационная система представляет собой достаточно сложную совокупность технических и программных средств передачи и распределения информации. Относясь по уровню организации к классу технических систем, она может быть охарактеризована с принятых системологических принципов морфологического и функционального описаний.

Под морфологическим описанием телекоммуникационной системы понимается описание с точки зрения ее структуры и состава ее элементов. Под функциональным описанием – описание процессов изменения параметров системы [6].

1.2.1 Морфологическое описание сети – структура сети

Отвлекаясь от характеристик взаимодействия элементов телекоммуникационной системы, ее структуру можно представить как совокупность телекоммуникационной сети и системы управления элементами этой сети.

При этом в узком морфологическом смысле **сеть** есть совокупность **узлов**, в которых происходит распределение информации, ввод ее в сеть извне (пользователем) и вывод из нее, и **линий и каналов связи**, обеспечивающих перенос информации в пространстве между узлами [6].

Структура телекоммуникационной сети задается графом сети $G(V, U)$, где V – вершины графа, соответствующие узлам, U – дуги (ребра), соответствующие линиям связи между узлами.

Когда говорят о структуре сети, имеют в виду топологию размещения узлов и абонентов сети и характер их взаимосвязи, при этом, как правило, отождествляют группу абонентов узла с абонентскими линиями, служащими для ввода-вывода информации, с данным узлом, полагая, что сам узел является источником и потребителем информации. Хотя на самом деле такое упрощение зачастую слишком грубое, о чем свидетельствуют проблемы так называемой «последней мили», о чем речь будет идти позже.

Различают следующие основные топологические структуры сетей (рис. 1.7): полносвязная сеть, радиальная, радиально-узловая, кольцевая. На

основе базовых топологических структур может быть построена сеть произвольной структуры.

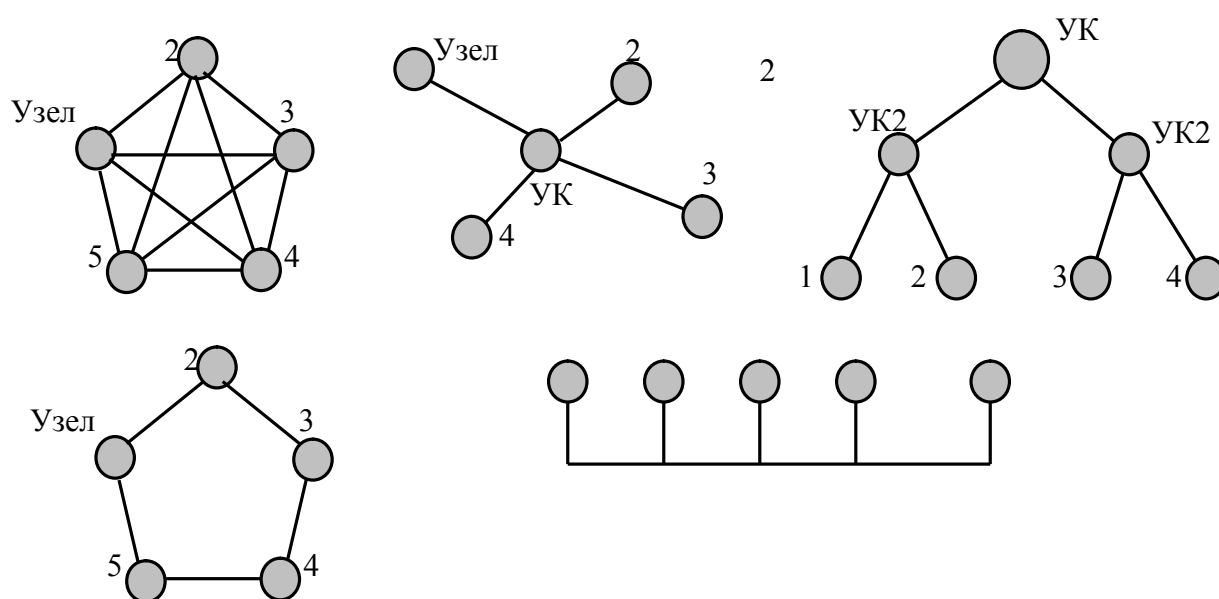


Рис.1.7. Топологические структуры сетей:

а) полносвязная, б) узловая, в) радиально-узловая, г) кольцевая, д) шина

На основании изложенного выше можно перечислить основные морфологические характеристики телекоммуникационной системы [6]:

- первичность, вторичность сети связи (эти понятия будут рассмотрены далее);
- число и структуру уровней иерархии телекоммуникационной сети;
- число узлов сети;
- число сетевых узлов;
- число коммутационных узлов;
- число линий связи;
- матрица пропускных способностей линий связи;
- матрица емкостей линий связи;
- матрица длин линий связи;
- матрица стоимостей линий связи;
- матрица прямых каналов сети;
- матрица надежности линий связи;
- число и структура зон обслуживания (управления) сети;
- число и структура уровней иерархии системы управления со своими структурными параметрами и др.

В обобщенном виде структурная схема телекоммуникационной системы приведена на рис. 1.8.

В сетях с коммутацией каналов различают два вида соединений:

- *долговременные* – кроссировка каналов;
- *оперативные* – коммутация каналов.

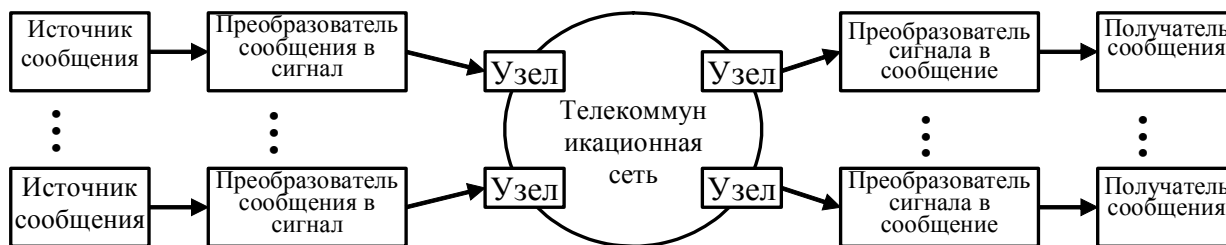


Рис. 1.8. Структура телекоммуникационной системы

В зависимости от применяемого на узлах соединения различают *некоммутируемые* и *коммутируемые сети*; узлы с коммутацией каналов, сообщений или пакетов называют *коммутационными узлами*. Линии (каналы) связи, инцидентные некоторому узлу, делятся на:

- *оконечные* (к абонентам данного узла);
- *транзитные* (образованные с помощью кроссировки);
- *коммутируемые*.

Для передачи потоков информации между различными парами узлов телекоммуникационной сети образуются **пути**, являющиеся последовательностью узлов и линий, в которых ни один узел не встречается дважды.

Путь характеризуется:

- суммарной длиной составляющих его линий;
- пропускной способностью, равной минимальной пропускной способности составляющих линий;
- надежностными характеристиками.

1.2.2 Узлы связи

Телекоммуникационные узлы представляют собой организационно-техническое объединение средств и комплексов связи (канального, коммутационного, абонентского и др. оборудования), характеризуемого определенными структурными свойствами и предназначенного для ввода, вывода информации, каналаобразования, коммутации каналов связи (сообщений, пакетов) в соответствии с потребностью пользователей (абонентов) сети.

В узлах осуществляется формирование путей передачи информации между конечными пунктами сети. С этой целью на узле предусматривается возможность непосредственного (для сетей с коммутацией каналов) или косвенного, через промежуточную буферную память (для сетей коммутации сообщений или пакетов), соединения между каналами линий связи, инцидентных (смежных) данному узлу.

Основными параметрами узла коммутации, которые влияют на параметры сети в целом, являются [6]:

- *пропускная способность $s(i)$* , определяющая возможности коммутации в узле i (она зависит от объема коммутационного поля и от процедур управления узлом);
- *кроссировочная способность*, определяющая максимальный объем кросса через узел;

- *надежностные характеристики* (вероятность отказа, средняя частота отказа, среднее время восстановления и др.);
- *объем буферной памяти* (при коммутации сообщений и пакетов);
- *стоимость узла*;
- *параметры системы управления узлом*.

1.2.3 Каналы и линии связи

Канал связи в сети – комплекс устройств, обеспечивающих перенос сигналов (передачу информации) из одной точки пространства в другую, причем полюсами (концами) канала будем считать устройства ввода и вывода информации, либо вход и выход коммутационных систем [6].

Совокупность каналов между двумя узлами образует **линию связи (пучок каналов)**.

Причем линии и каналы могут быть двусторонними и односторонними в зависимости от того, возможна передача информации в обоих направлениях или только в одном.

Главными характеристиками канала являются [6]:

- *пропускная способность* – максимально возможная скорость передачи информации по каналу (либо полоса пропускания канала);
- *достоверность* – вероятность ошибочного приема элементарного символа (при помехоустойчивом кодировании – вероятность ошибочного приема кодограммы или сообщения);
- *надежность* – вероятность того, что достоверность приема не будет хуже заданной; надежностные характеристики аналогичны характеристикам узла;
- *коэффициент использования* оборудования канала.

Заметим, что в случае составных каналов на их характеристики существенно влияние оказывают характеристики элементов узла.

Основными характеристиками линий связи, как совокупности каналов, являются [6]:

- *длина линии*;
- *стоимость*;
- *пропускная способность*;
- *надежностные характеристики*.

Возвращаясь к графовой модели сети, отметим, что вершинам графа приписываются числовые значения характеристик соответствующего узла, а каждому ребру – числовые значения характеристик соответствующей линии.

1.2.4 Управление в сети

Сеть связи предполагает наличие системы управления. Говоря о функциональных характеристиках сети, последнюю нужно рассматривать как сложную систему, функционирующую в двух случайных, взаимозависимых средах, одна из которой определяется поступающей нагрузкой, другая – по-

током отказов – восстановлений на элементы сети, формирующим состояние сети.

Описание системы управления можно рассматривать на двух морфологических уровнях. Элементами описания первого уровня являются средства контроля и управления телекоммуникационной системы и сеть служебных каналов передачи информации контроля и управления (например, сеть общих каналов сигнализации – ОКС). Первый уровень морфологического описания системы представляется в виде взвешенного графа управления $G(V)$, вершинам которого соответствуют средства контроля и управления телекоммуникационной системы, ребрам – служебные каналы, а веса вершин и ребер определяются техническими и стоимостными характеристиками системы управления. Элементами описания второго уровня являются функции управления телекоммуникационной системой.

Основным назначением любой телекоммуникационной системы является обеспечение требуемого качества обслуживания ее абонентов. Обслуживание заключается в реализации их требований на передачу и получение информации. Требования абонентов (потребность в телекоммуникационных услугах) характеризуют потоком заявок на обслуживание. Показатель качества обслуживания выражается либо через интенсивность отказов (частоту отказа в обслуживании поступающих вызовов), либо через среднюю задержку в обслуживании. Отказы и задержка в обслуживании обусловлены ограниченностью ресурсов телекоммуникационной системы. В этом случае особая роль в телекоммуникационных системах отводится управлению.

***Управление системой** есть процесс формирования эффективного (с точки зрения принятого критерия эффективности) функционирования системы.*

Под изменением характера нагрузки обычно понимается как изменение абсолютной величины нагрузки (увеличение или уменьшение среднего числа заявок на обслуживание), так и изменение относительных величин требований на передачу по отдельным направлениям. Как правило, существует детерминированная и случайная составляющие изменения нагрузки. Из общего характера предъявляемой к обслуживанию нагрузки следуют две функции управления телекоммуникационной сетью – управление нагрузкой, поступающей в сеть, и управление потоками нагрузки в сети (рис. 1.9).

Следует отметить, что способность сети пропускать предъявляемую нагрузку несущественно зависит от характера распределения потоков информации по сети и определяется лишь общим объемом предъявляемой нагрузки. Из этого факта следует, что первоочередной задачей управления сетью является поддержание величины пропускаемой нагрузки в пределах допустимого уровня, и управление потоками нагрузки эффективно выполняется только при выполнении этого условия. Управление потоками нагрузки в сети осуществляется протоколами маршрутизации.

Возможность поражения или отказа отдельных элементов телекоммуникационной системы и существенного возрастания нагрузок в линиях связи вызывает необходимость в управлении структурой сети.

Управление структурой сети – переход от структуры пораженной или перегруженной сети, не обеспечивающей заданных требований на качество связи, к некоторой другой структуре, удовлетворяющей этим требованиям. Сущность перехода может заключаться в добавлении резервных комплектов канального, коммутационного и абонентского оборудования, в организации транзитов на некоторых узлах для отдельных потоков и др.

В обобщенном виде функции управления телекоммуникационной системой представлены на рис. 1.9.

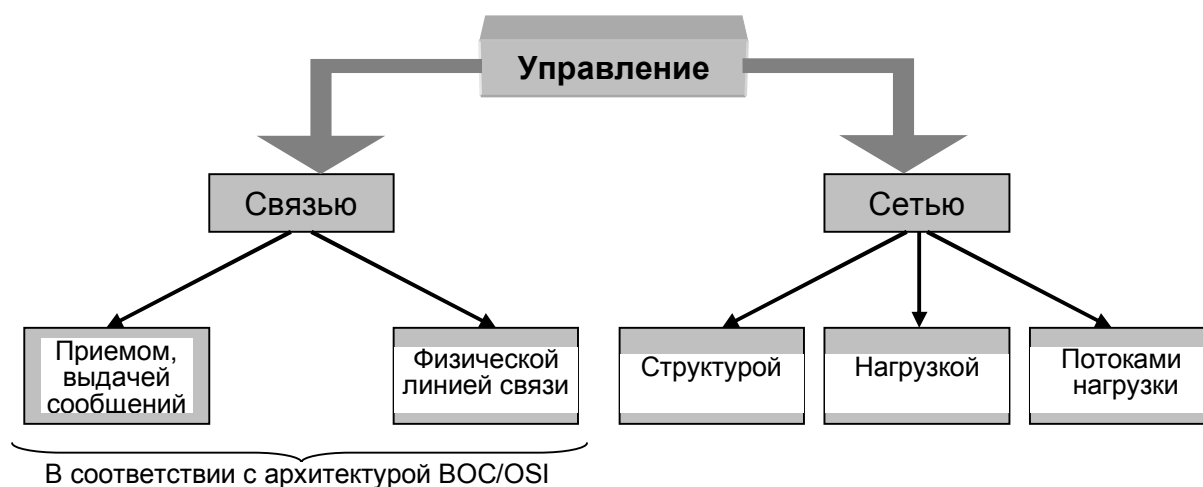


Рис. 1.9. Структура системы управления телекоммуникационной сетью

1.3 Основные требования к системам связи

Предъявление требований к связи, системам, сетям, комплексам и средствам связи является сложным процессом и основывается на теории эффективности. Объектом исследования теории эффективности являются системы и процессы оценки эффективности, а предметом исследования – закономерности создания, функционирования и развития систем и процессов оценки эффективности. Оценка эффективности связи и системы связи связана с такими понятиями как: свойство, характеристика, показатель, критерий, требование. Рассмотрим эти понятия.

Свойство – та сторона предмета (объекта, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими предметами (объектами, процессами) или обнаруживается в его отношении с ними. Каждый предмет, объект или процесс имеет основные и второстепенные свойства.

Основными свойствами связи являются:

- *своевременность;*
- *достоверность;*
- *безопасность.*

Характеристика – описание отличительных качественных свойств чего-либо или кого-либо. Характеристика может быть качественной или количественной. Для качественной характеристики систем и процессов используют понятия «лучше» или «хуже». Количественные характеристики часто называют **параметрами**. Для оценки эффективности процесса связи чаще пользуются понятием показателя эффективности.

Показатель эффективности (или просто **показатель**) – характеристика, функция характеристик или правило, выбранное для оценки некоторого свойства объекта или совокупности его свойств. Показатели разделяют на количественные и качественные. Пример: своевременность связи может оцениваться такими показателями как вероятность своевременной передачи сообщений и среднее время пребывания сообщения в канале связи.

Количественные показатели выражаются в виде функции от параметров объекта и определяют абсолютную или относительную (доля, часть) числовую меру проявления свойства или совокупности свойств.

Качественные или порядковые показатели оперируют понятиями какой-либо установленной шкалы суждений, отражающей количественные предпочтения (типа: хуже, лучше, больше, меньше и т. п.), либо бальной шкалы или шкалы весовых коэффициентов.

Оценка эффективности процесса связи напрямую связана с ответом на вопрос: «В какой степени достигнута требуемая эффективность?» Для ответа на этот вопрос используют понятие критерия.

Критерий (эффективности) – это признак, правило, мера суждения, на основании которых проводится оценка или классификация чего-либо. Критерий может быть абсолютным или относительным.

Абсолютный критерий выражает предельную меру достигаемого эффекта для сравнительной оценки возможных альтернативных решений.

Относительный критерий – норма оценки показателя для достижения требуемой эффективности. Практика показывает, что не всегда экономически целесообразно достигать максимальных или оптимальных критерияльных значений. В таких случаях устанавливают целесообразную величину требований к показателям.

Требование – это установленный количественный уровень значения характеристики или показателя оцениваемого объекта, либо высказывательная форма, устанавливающая его качественное соответствие поставленным целям или решаемым задачам.

Таким образом, под **эффективностью связи (системы связи)** будем понимать ее свойство соответствовать цели функционирования, а под **качеством связи** – свойство, характеризующее способность обеспечивать своевременную, достоверную и безопасную передачу сообщений.

К современным системам связи предъявляются следующие основные требования, взаимосвязь между которыми показана на рис. 1.10 [5, 15].

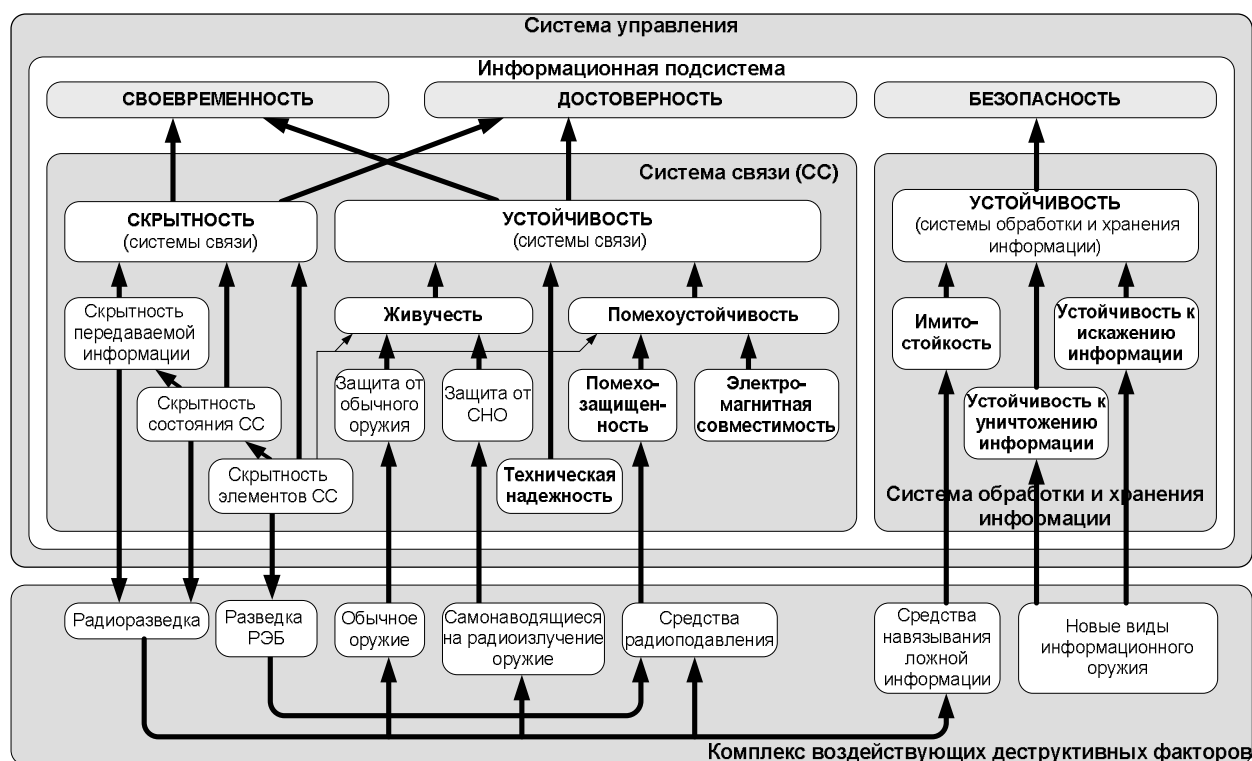


Рис. 1.10. Взаимосвязь между показателями качества систем связи [5, 15]

Своевременность (оперативность) связи – способность обеспечивать передачу или доставку сообщений или ведение переговоров в заданные сроки. Оценивается вероятностью того, что сообщение будет полностью доставлено требуемому адресату в течение заданного времени.

Пропускная способность системы связи – способность системы связи, определяющая объем сообщений, передаваемых и обрабатываемых системой связи за единицу времени.

Достоверность связи характеризует способность системы связи обеспечить воспроизведение переданных сообщений в пунктах приема с заданной точностью. Достоверность передачи цифровых сообщений определяется вероятностью правильного приема кодовых комбинаций первичного кода, соответствующих переданным символам. Требования к системам связи по достоверности представлены в таблице 1.1.

Безопасность связи – способность обеспечивать сохранение в тайне содержания передаваемых сообщений и факта их передачи.

Скрытность связи – способность системы противостоять раскрытию противником содержания передаваемой информации и мест расположения пунктов управления и узлов связи. Скрытность осуществляется за счет минимальной мощности ПРД, направленности антенны, уменьшения времени передачи, увеличения времени между сеансами связи, радиомаскировки и соблюдения правил радиообмена, а также применения специальной аппаратуры и документов связи.

Таблица 1.1. Требования к системам связи по достоверности [5]

Проводные	Радиорелейные	Радио
Полевые: 10^{-4} Коаксиальные: 10^{-7} ВОЛС: 10^{-12}	$10^{-4} \dots 10^{-5}$	КВ диапазона: 10^{-2} УКВ диапазона: $10^{-3} \dots 10^{-4}$

Устойчивость – способность обеспечивать управление войсками, силами и оружием при воздействующих факторах. Системы военной связи являются сложными, интегральными структурами, как правило, представляющими собой основу системы управления (рис. 1.11) [6, 16, 17], на которые воздействует целый комплекс деструктивно разрушающих факторов (рис. 1.12) [16, 17].

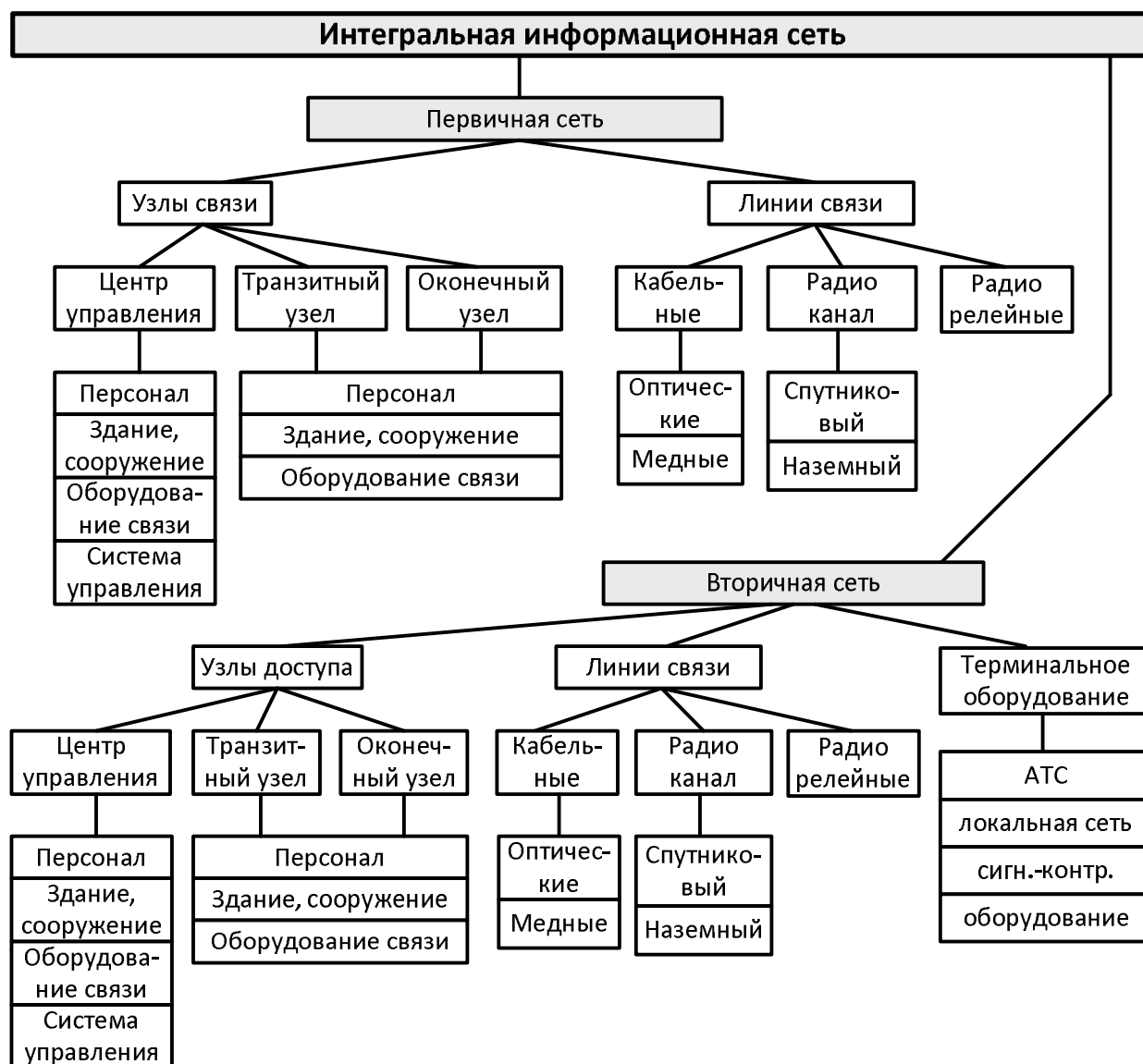


Рис. 1.11. Элементы интегральной системы связи военного назначения

Основными видами преднамеренного (искусственного) воздействия на систему связи при ведении боевых действий являются применение обычного

и высокоточного оружия по элементам интегральной сети связи (узлам, центрам ретрансляции и т. д.), а также применение средств РЭП для подавления линий радиосвязи противника с целью дезорганизации его системы управления и информационного обеспечения [16].

Воздействие помех искусственного и естественного происхождения является основным деструктивным воздействием, поражающим радиоканалы связи. Классификация помеховых воздействий приведена на рис. 1.13, а для оценки данных воздействий используются отдельные показатели качества – помехоустойчивость, помехозащищенность и электромагнитная совместимость (ЭМС).

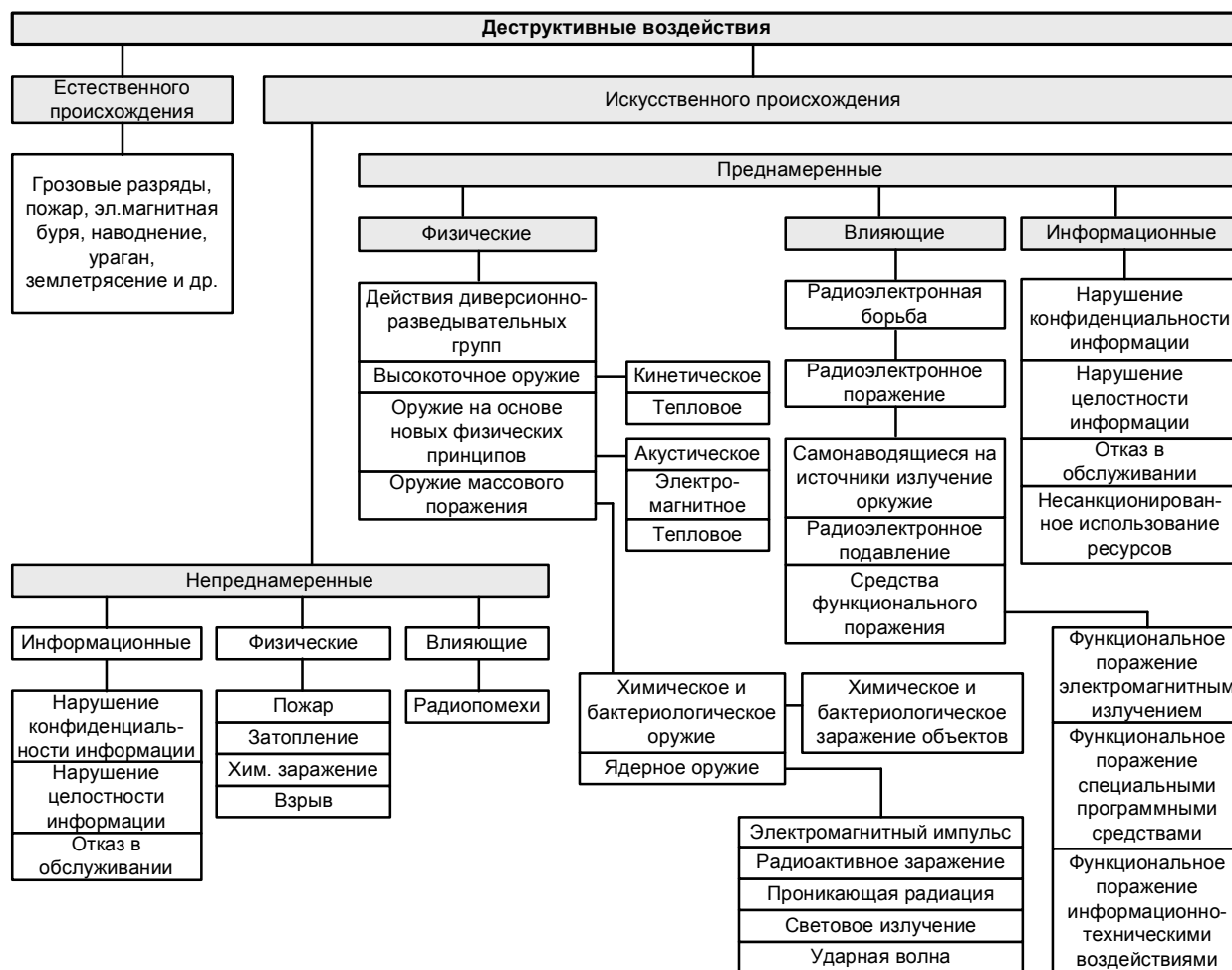


Рис. 1.12. Классификация деструктивно-разрушающих воздействий на системы связи военного назначения [16, 17]

Помехоустойчивость связи – способность системы выполнять прием/передачу сообщений в условиях действия помех (как преднамеренных, так и естественных) [16]. Как правило, для количественной оценки помехоустойчивости используют критерий достоверности передачи сообщений.

Помехозащищенность связи – способность обеспечивать управление войсками, силами и оружием в условиях воздействия преднамеренных помех противника [16].

Электромагнитная совместимость связи – способность функционировать с заданным качеством в условиях воздействия непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим системам связи.

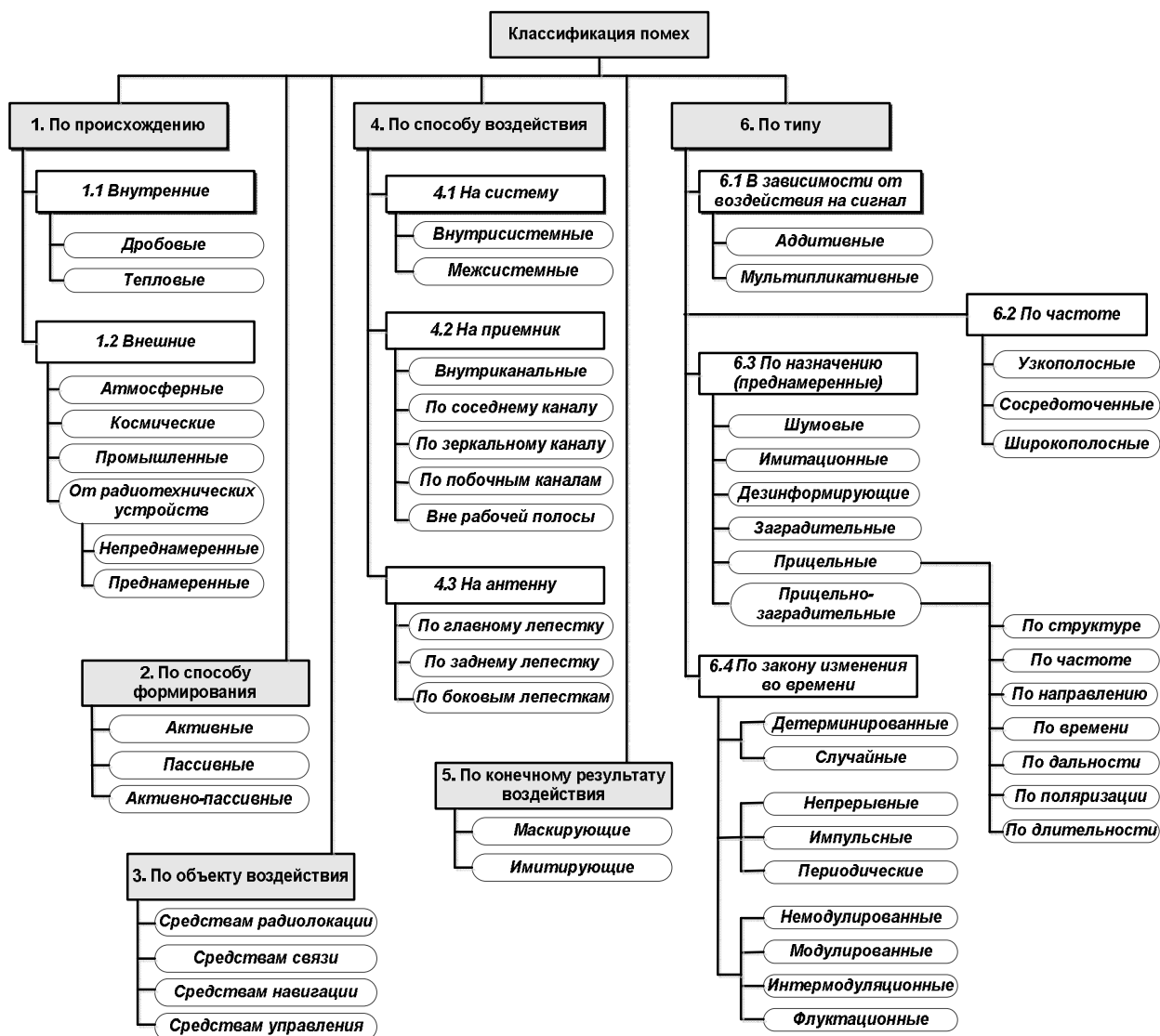


Рис 1.13. Общая классификация помех [16]

Живучесть системы связи – способность обеспечивать управление войсками, силами и оружием в условиях воздействия обычного и ядерного оружия противника.

Криптографическая живучесть – способность обеспечивать безопасность засекреченных сообщений в условиях компрометации шифроключей.

Криптостойкость системы связи – способность системы военной связи обеспечивать заданный уровень криптографической защиты и противостоять раскрытию противником смыслового содержания передаваемой информации.

Разведзащищенность – способность системы связи противостоять разведке противника.

Имитостойкость – способность системы связи противостоять вводу в нее ложной, в том числе и ранее переданной, информации и навязыванию ей ложных режимов работы.

Надежность связи – свойство системы связи выполнять передачу сообщений, сохраняя при этом в течение заданного промежутка времени значения эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих условиям войсковой эксплуатации, технического обслуживания, восстановления и ремонта. Количественные характеристики надежности: вероятность отказа в заданном интервале времени, время наработки на отказ.

Готовность (к работе) элемента системы связи – состояние элемента системы связи, характеризующее степень его готовности к выполнению своих функций по обеспечению заданных связей.

Функциональная совместимость системы связи – способность обеспечивать совместную работу между собой или с другими системами по обмену информацией без дополнительных сопрягающих устройств.

Материал главы 1 подготовлен на основе работ [5, 6, 15, 16, 17].

2 ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СООТВЕТСТВИИ С МОДЕЛЬЮ OSI

2.1 Модель OSI как основа описания взаимодействия абонентов сетей и телекоммуникационных систем

На рис. 2.1 показана модель взаимодействия двух узлов телекоммуникационной сети. Процедура взаимодействия узлов может быть описана в виде набора правил взаимодействия каждой пары соответствующих уровней обеих участвующих сторон.

*Формализованные правила, определяющие последовательность и формат сообщений, которыми обмениваются сетевые компоненты, лежащие на одном уровне, но в разных узлах, называются **протоколом** [2, 6].*

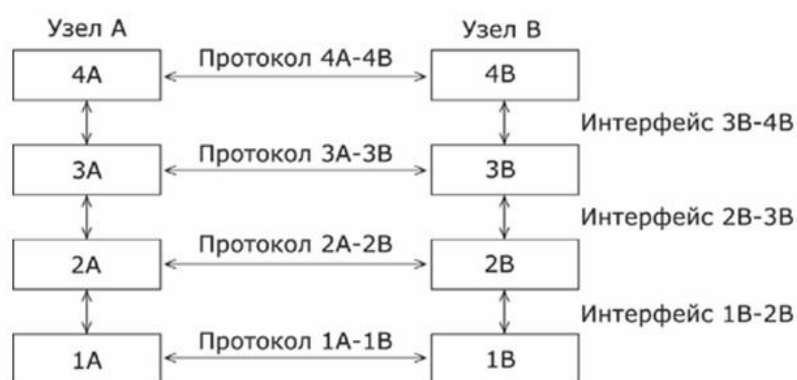


Рис. 2.1. Взаимодействие двух узлов

*Модули, реализующие протоколы соседних уровней и находящиеся в одном узле, также взаимодействуют друг с другом в соответствии с четко определенными правилами и с помощью стандартизованных форматов сообщений. Эти правила принято называть **интерфейсом** [6, 7].*

*Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети, называется **стеком коммуникационных протоколов** [6, 7].*

В начале 1980-х годов ряд международных организаций по стандартизации – ISO, ITU-T и некоторые другие – разработали модель, которая сыграла значительную роль в развитии сетей. Эта модель называется **моделью взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection – OSI)** или моделью OSI [6, 7]. В модели OSI средства взаимодействия делятся на семь уровней – рис. 2.2. При этом каждый уровень имеет дело с одним определенным аспектом взаимодействия сетевых устройств.

Модель OSI описывает только системные средства взаимодействия, реализуемые операционной системой, системными утилитами, системными аппаратными средствами. Однако при этом модель не включает средства взаимодействия приложений конечных пользователей.



Рис. 2.2. Функции уровней модели OSI, представление данных на различных уровнях, а также соответствие им функций различных устройств вычислительной системы

Рассмотрим пример. Пусть приложение обращается с запросом к прикладному уровню, например к файловой службе. На основании этого запроса программное обеспечение прикладного уровня формирует сообщение стандартного формата.

Обычное сообщение состоит из заголовка и поля данных. Заголовок содержит служебную информацию, которую необходимо передать через сеть прикладному уровню машины-адресата, чтобы сообщить ему, какую работу надо выполнить. Поле данных сообщения может быть пустым или содержать какие-либо данные, например те, которые необходимо записать в удаленный файл.

После формирования сообщения прикладной уровень направляет его вниз по стеку *представительному уровню*. Протокол представительного уровня на основании информации, полученной из заголовка прикладного уровня, выполняет требуемые действия и добавляет к сообщению собственную служебную информацию – заголовок представительного уровня, в котором содержатся указания для протокола представительного уровня машины-адресата. Полученное в результате сообщение передается вниз *сеансовому уровню*, который в свою очередь добавляет свой заголовок, и т. д. Наконец, сообщение достигает нижнего, *физического уровня*, который собственно и передает его по линиям связи машине-адресату. К этому моменту сообщение «обрастает» заголовками всех уровней (рис. 2.3).

Когда сообщение по сети поступает на машину-адресат, оно принимается ее физическим уровнем и последовательно перемещается вверх с уровня на уровень.

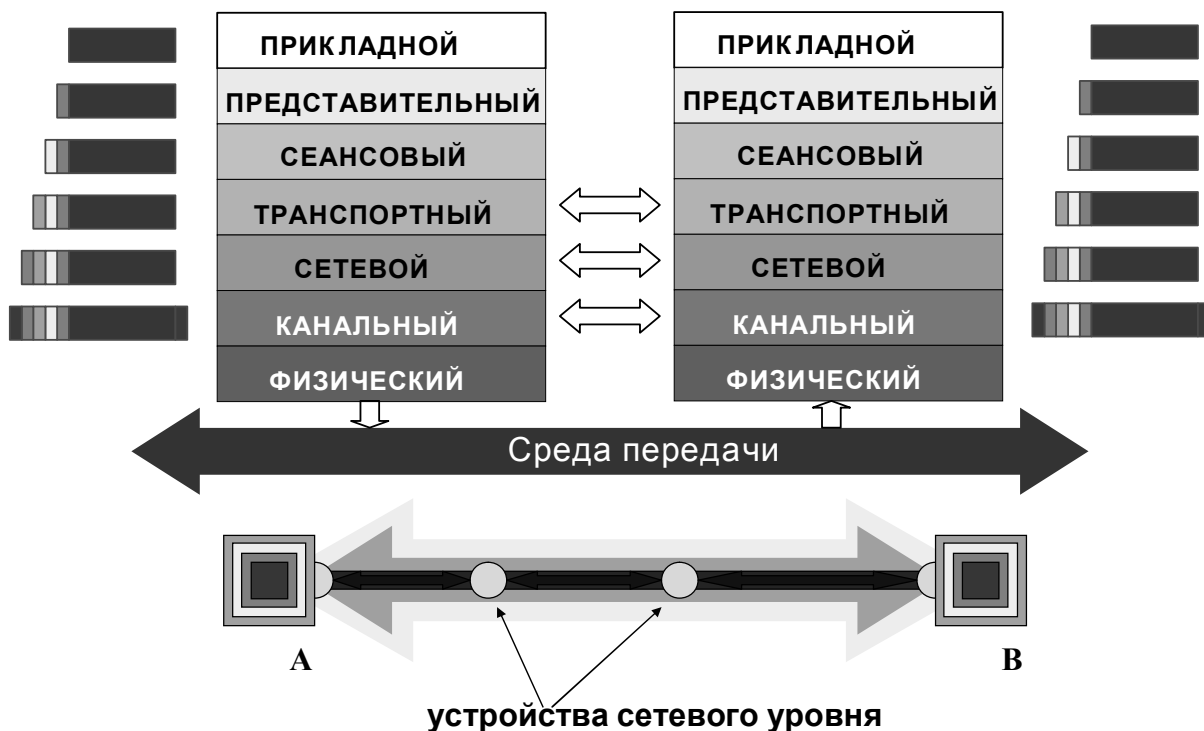


Рис. 2.3. Модель взаимодействия ISO/OSI
в процессе передачи сообщений

Каждый уровень анализирует и обрабатывает заголовок своего уровня, выполняя соответствующие данному уровню функции, а затем удаляет этот заголовок и передает сообщение вышележащему уровню.

Наряду с термином *сообщение* (*message*) существуют и другие термины, применяемые сетевыми специалистами для обозначения единиц данных в процедурах обмена. Для обозначения блоков данных определенных уровней часто используются специальные названия: кадр (*frame*), пакет (*packet*), дейтаграмма (*datagram*), сегмент (*segment*).

В модели OSI различаются два основных типа протоколов [6, 7]:

- **протоколы с установлением соединения** перед обменом данными отправитель и получатель должны сначала установить соединение и, возможно, выбрать некоторые параметры протокола, которые они будут использовать при обмене данными. После завершения диалога они должны разорвать это соединение. Телефон – это пример взаимодействия, основанного на установлении соединения;
- **протоколы без предварительного установления соединения**. Отправитель просто передает сообщение, когда оно готово. Опускание письма в почтовый ящик – это пример связи без предварительного установления соединения. При взаимодействии компьютеров используются протоколы обоих типов.

2.2 Уровни модели OSI

Рассмотрим подробно функции отдельных уровней модели OSI в процессе организации информационного обмена.

Физический уровень имеет дело с передачей битов по физическим каналам связи, таким, например, как коаксиальный кабель, витая пара, оптоволоконный кабель или цифровой территориальный канал. К этому уровню имеют отношение характеристики физических сред передачи данных, такие как полоса пропускания, помехозащищенность, волновое сопротивление и другие. На этом же уровне определяются характеристики электрических сигналов, передающих дискретную информацию, например, крутизна фронтов импульсов, уровни напряжения или тока передаваемого сигнала, тип кодирования, скорость передачи сигналов. Кроме этого, здесь стандартизируются типы разъемов и назначение каждого контакта [6, 7].

Функции физического уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети. Со стороны компьютера функции физического уровня выполняются сетевым адаптером или последовательным портом.

Канальный уровень. Одной из задач канального уровня является проверка доступности среды передачи. Другой задачей канального уровня является реализация механизмов обнаружения и коррекции ошибок. Для этого на канальном уровне биты группируются в наборы, называемые кадрами (*frames*). Канальный уровень обеспечивает корректность передачи каждого кадра, добавляя контрольную сумму к кадру. Канальный уровень может не только обнаруживать ошибки, но и исправлять их за счет повторной передачи поврежденных кадров [6, 7].

В протоколах канального уровня, используемых в локальных сетях, заложена определенная структура связей между компьютерами и способы их адресации. Хотя канальный уровень и обеспечивает доставку кадра между любыми двумя узлами локальной сети, он это делает только в сети с совершенно определенной топологией связей, именно той топологией, для которой он был разработан

В глобальных сетях, которые редко обладают регулярной топологией, канальный уровень часто обеспечивает обмен сообщениями только между двумя соседними компьютерами, соединенными индивидуальной линией связи.

Сетевой уровень служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей, причем эти сети могут использовать совершенно различные принципы передачи сообщений между конечными узлами и обладать произвольной структурой связей [6, 7].

Протоколы канального уровня локальных сетей обеспечивают доставку данных между любыми узлами только в сети с соответствующей типовой топологией, например топологией иерархической звезды. Это очень жесткое ограничение, которое не позволяет строить сети с развитой структурой, например, сети, объединяющие несколько сетей предприятия в единую сеть, или высоконадежные сети, в которых существуют избыточные связи между узлами. Можно было бы усложнять протоколы канального уровня для поддержания петлевидных избыточных связей, но принцип разделения обязанностей между уровнями приводит к другому решению. Чтобы с одной стороны сохранить простоту процедур передачи данных для типовых топологий, а

с другой допустить использование произвольных топологий, вводится дополнительный сетевой уровень.

На сетевом уровне сам термин «сеть» наделяют специфическим значением. *В данном случае под сетью понимается совокупность компьютеров, соединенных между собой в соответствии с одной из стандартных типовых топологий и использующих для передачи данных один из протоколов канального уровня, определенный для этой топологии.*

Внутри сети доставка данных обеспечивается соответствующим канальным уровнем, а вот доставкой данных между сетями занимается сетевой уровень, который и поддерживает возможность правильного выбора маршрута передачи сообщения даже в том случае, когда структура связей между составляющими сетями имеет характер, отличный от принятого в протоколах канального уровня. Сети соединяются между собой специальными устройствами, называемыми маршрутизаторами.

Маршрутизатор – это устройство, которое собирает информацию о топологии межсетевых соединений и на ее основании пересылает пакеты сетевого уровня в сеть назначения. Чтобы передать сообщение от отправителя, находящегося в одной сети, получателю, находящемуся в другой сети, нужно совершить некоторое количество транзитных передач между сетями, или хопов (от hop – прыжок), каждый раз выбирая подходящий маршрут. Таким образом, маршрут представляет собой последовательность маршрутизаторов, через которые проходит пакет.

Проблема выбора наилучшего пути называется маршрутизацией, и ее решение является одной из главных задач сетевого уровня. Эта проблема осложняется тем, что самый короткий путь не всегда самый лучший. Часто критерием при выборе маршрута является время передачи данных по этому маршруту; оно зависит от пропускной способности каналов связи и интенсивности трафика, которая может изменяться с течением времени. Некоторые алгоритмы маршрутизации пытаются приспособиться к изменению нагрузки, в то время как другие принимают решения на основе средних показателей за длительное время. Выбор маршрута может осуществляться и по другим критериям, например надежности передачи.

На рис. 2.4 показаны четыре сети, связанные тремя маршрутизаторами.

Между узлами А и В данной сети пролегают два маршрута: первый через маршрутизаторы 1 и 3, а второй через маршрутизаторы 1, 2 и 3.

В общем случае функции сетевого уровня шире, чем функции передачи сообщений по связям с нестандартной структурой, которые мы сейчас рассмотрели на примере объединения нескольких локальных сетей. *Сетевой уровень решает также задачи согласования разных технологий, упрощения адресации в крупных сетях и создания надежных и гибких барьеров на пути нежелательного трафика между сетями.*

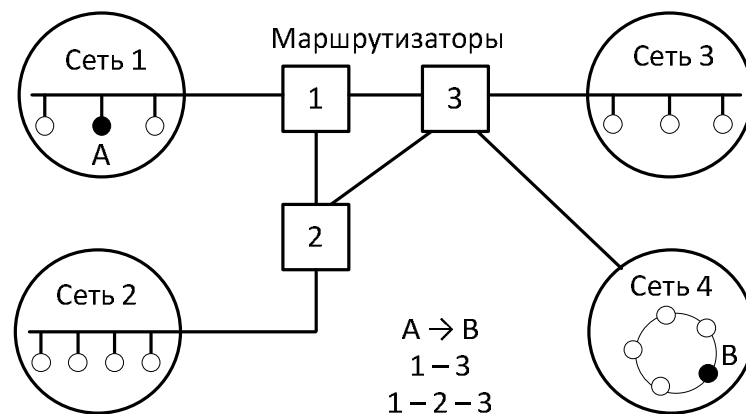


Рис. 2.4. Пример составной сети

Сообщения сетевого уровня принято называть пакетами (packets). При организации доставки пакетов на сетевом уровне используется понятие «номер сети». В этом случае адрес получателя состоит из старшей части – номера сети и младшей – номера узла в этой сети. Все узлы одной сети должны иметь одну и ту же старшую часть адреса, поэтому термину «сеть» на сетевом уровне можно дать и другое, более формальное определение: **сеть** – это совокупность узлов, сетевой адрес которых содержит один и тот же номер сети.

На сетевом уровне определяются два вида протоколов [6, 7]:

- 1) *сетевые протоколы (routed protocols)* – реализуют продвижение пакетов через сеть;
- 2) *протоколы маршрутизации (routing protocols)*. С помощью этих протоколов маршрутизаторы собирают информацию о топологии межсетевых соединений.

На сетевом уровне работают протоколы еще одного типа, которые отвечают за отображение адреса узла, используемого на сетевом уровне, в локальный адрес сети. Такие протоколы часто называют *протоколами разрешения адресов* – *Address Resolution Protocol, ARP*. Иногда их относят не к сетевому уровню, а к канальному, хотя тонкости классификации не изменяют их сути. Примером протоколов сетевого уровня являются протокол межсетевого взаимодействия IP стека TCP/IP.

Транспортный уровень обеспечивает приложениям или верхним уровням стека – прикладному и сеансовому – передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется [6, 7]. Модель OSI определяет различные классы сервисов по поддержанию качества обслуживания, предоставляемых транспортным уровнем (рис. 2.5) [6, 7]:

- срочность;
- возможность восстановления прерванной связи;
- наличие средств мультимплексирования нескольких соединений между различными прикладными протоколами через общий транспортный протокол;
- способность к обнаружению и исправлению ошибок передачи, таких как искажение, потеря и дублирование пакетов.

Выбор класса сервиса транспортного уровня определяется, с одной стороны, тем, в какой степени задача обеспечения надежности решается самими приложениями и протоколами более высоких, чем транспортный, уровней, а с другой стороны, этот выбор зависит от того, насколько надежной является система транспортировки данных в сети, обеспечиваемая уровнями, расположенными ниже транспортного – сетевым, канальным и физическим.

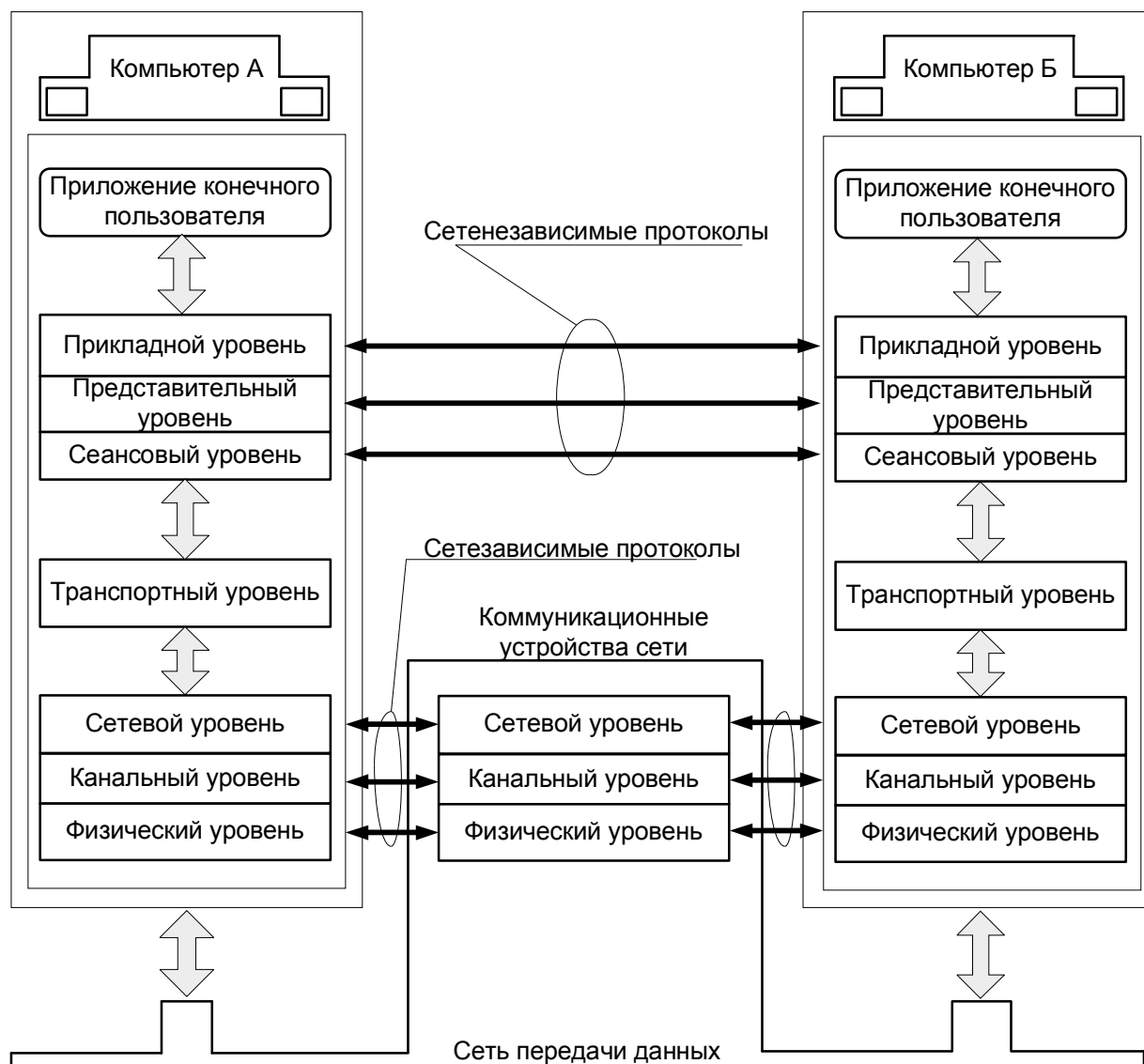


Рис. 2.5. Соответствие функций устройств сети уровням модели OSI

Протоколы нижних четырех уровней обобщенно называют сетевым транспортом или транспортной подсистемой, так как они полностью решают задачу транспортировки сообщений с заданным уровнем качества в составных сетях с произвольной топологией и различными технологиями. Осталь-

ные три верхних уровня решают задачи предоставления прикладных сервисов на основании имеющейся транспортной подсистемы.

Сеансовый уровень обеспечивает управление диалогом: фиксирует, какая из сторон является активной в настоящий момент, предоставляет средства синхронизации. Последние позволяют вставлять контрольные точки в длинные передачи, чтобы в случае отказа можно было вернуться назад к последней контрольной точке, а не начинать все с начала [6, 7].

Представительный уровень имеет дело с формой представления передаваемой по сети информации, не меняя при этом ее содержания. На этом уровне может выполняться шифрование и дешифрование данных, благодаря которому секретность обмена данными обеспечивается сразу для всех прикладных служб. Примером такого протокола является протокол Secure Socket Layer (SSL), который обеспечивает секретный обмен сообщениями для протоколов прикладного уровня стека TCP/IP [6, 7].

Прикладной уровень – набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам, таким как файлы, принтеры или гипертекстовые Web-страницы, а также организуют свою совместную работу, например, с помощью протокола электронной почты. Приведем в качестве примера несколько наиболее распространенных реализации файловых служб: NFS, FTP и TFTP, входящие в стек TCP/IP [6, 7].

Глава 2 основана на материале работ [6, 7].

3 ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

3.1 Единая сеть электросвязи – национальная транспортная магистральная сеть

Для организации информационного обмена между отдельными локальными и глобальными сетями разворачивается транспортная сеть (ТС), реализующая сервисы транспортировки информационных потоков между отдельными абонентами, а также предоставление потребителям информационных сервисов, таких как радио, ТВ, факсимильная и другие виды связи.

Транспортная сеть связи – это совокупность ресурсов, выполняющих функции транспортировки информационных потоков в телекоммуникационных сетях (ТКС) – рис. 3.1. Она включает не только системы передачи, но и относящиеся к ним средства контроля, оперативного переключения, резервирования, управления [6, 7].

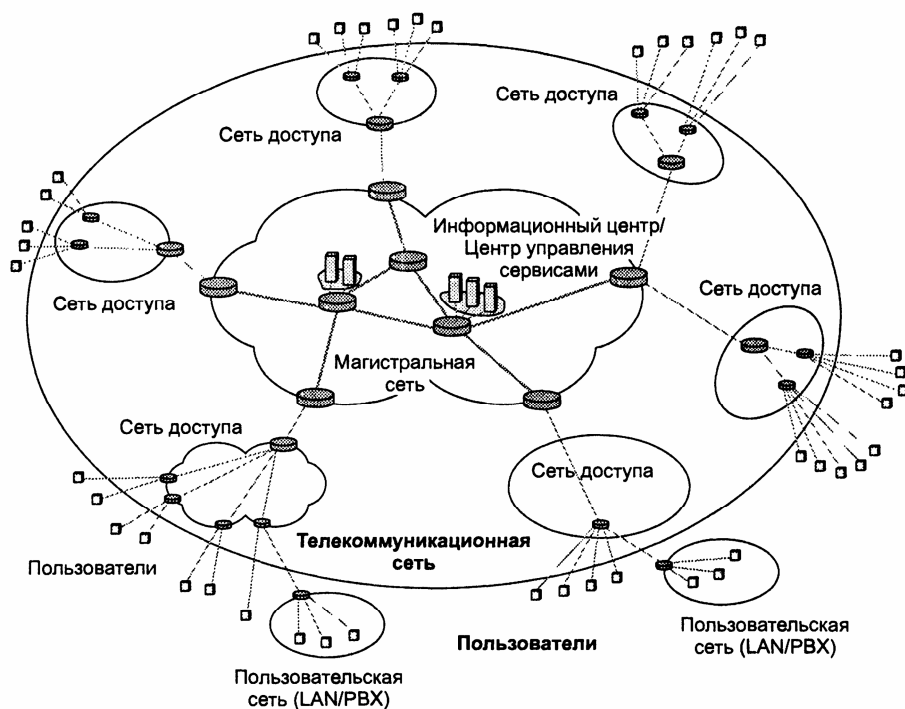


Рис. 3.1. Телекоммуникационная сеть, состоящая из магистральной транспортной сети и абонентов, подключенных к ней через сети доступа

Как правило, транспортные сети разворачиваются в национальном масштабе. В России такой транспортной системой является **единая сеть электросвязи (ЕСЭ)**, которая ранее именовалась **взаимоувязанная сеть связи (ВСС)**.

Организационно ЕСЭ – это совокупность взаимоувязанных сетей электросвязи, находящихся в ведении различных операторов связи (основным из которых является ОАО Ростелеком) имеющих право предоставлять услуги электросвязи.

Единая сеть электросвязи России сегодня представляет собой совокупность сетей (рис. 3.2) [6, 4, 8, 9, 10, 13]:

- сети связи общего пользования;
- ведомственных сетей и сети связи в интересах управления, обороны, безопасности и охраны правопорядка.

Главная составляющая ЕСЭ – это сети связи общего пользования, открытые для всех физических и юридических лиц на территории России.

Архитектура ЕСЭ России приведена на рис. 3.3.

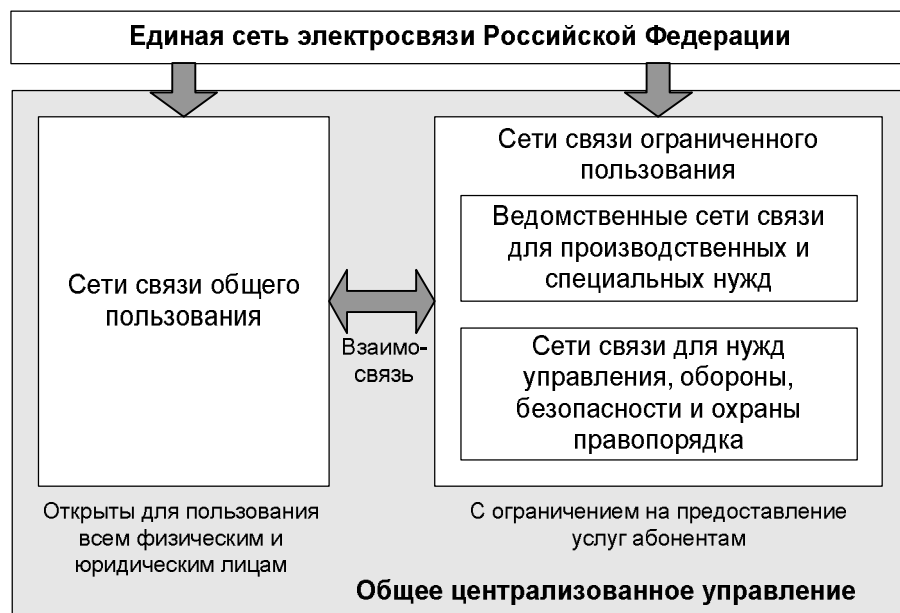


Рис. 3.2. Структура ЕСЭ РФ

Архитектурно ЕСЭ, как система связи, представляет собой иерархическую трехуровневую систему (рис. 3.3) [6, 8, 9, 10, 13]:

- *первый* уровень – первичная сеть передачи, представляющая типовые каналы и групповые тракты передачи для вторичных сетей;
- *второй* уровень – вторичные сети, т. е. коммутируемые и некоммутируемые сети связи (телефонные, документальной электросвязи и др.);
- *третий* уровень – это системы электросвязи или службы электросвязи, представляющие пользователям конкретные услуги связи.

Услуги электросвязи предоставляются пользователям посредством окончного оборудования сетей электросвязи. Телефонная связь, передача данных, телеграфная связь, передача газет, распределение программ телевизионного и звукового вещания, видеотелефонные сети - все эти системы электросвязи общего пользования входят в структуру ЕСЭ в качестве вторичных сетей.



Рис. 3.3. Архитектура ЕСЭ

Помимо сетей электросвязи общего пользования в состав ЕСЭ входят также вторичные сети, организованные различными ведомствами, корпорациями и коммерческими кампаниями. К таким сетям относятся [6, 8, 9, 10, 13]:

- сети связи силовых структур;
- сети связи топливно-энергетического комплекса;
- сети связи транспортных и банковских структур;
- частные и корпоративные сети связи.

При построении вторичных сетей используются различные типы телекоммуникационных технологий, обеспечивающих эффективное использование каналов и типовых трактов, выделенных из состава первичной сети в данную вторичную сеть. К телекоммуникационным технологиям вторичных сетей относятся [6, 8, 9, 10]:

- кроссовая коммутация;
- традиционная коммутация каналов;
- коммутация сообщений и пакетов.

Помимо перечисленных последние годы активно внедряются новые более эффективные технологии построения вторичных сетей, которые относятся к телекоммуникационным технологиям интегрального типа. Эти технологии обеспечивают совместную передачу сообщений различных видов информации: речи, данных, факсимильной и видеoinформации, включая передачу телевизионных программ и т. д. К таким прогрессивным технологиям в настоящее время получившим наибольшее распространение относятся: ATM, Ethernet-Gb, ISDN и FrameRelay [19].

Для примера на рис. 3.4 приведена транспортная сеть ЕСЭ ОАО «Ростелеком». Базовой технологией для построения магистральной первичной сети ОАО «Ростелеком» является технология SDH.



Рис. 3.4. Магистральная сеть ОАО «Ростелеком»

Основная задача ЕСЭ – транспортная, т. е. передача сообщений от его источника к получателю. Конечным результатом функционирования ЕСЭ являются услуги связи, предоставляемые пользователям.

Показатели, характеризующие функционирование ЕСЭ [6, 13]:

- скорость и своевременность доставки сообщений пользователям;
- достоверность сообщений (соответствие принятого сообщения переданному);
- надежность и устойчивость связи, т. е. способность сети выполнить транспортную функцию с заданными эксплуатационными характеристиками в повседневных условиях и при воздействии внешних дестабилизирующих факторов.

Помимо высокого быстродействия для военных систем связи, базирующиеся на ресурсе ЕСЭ, необходимо обеспечить требования по устойчивости и безопасности. Системы ЕСЭ могут обеспечить защиту информации от ряда угроз безопасности (блокирование, несанкционированный доступ и др.). Однако общая ответственность за общее решение вопросов безопасности информации (обеспечение свойств конфиденциальности, целостности и доступности) возлагается на пользователя (непосредственного собственника информации) [6, 15, 18, 47].

Устойчивость сети связи – это ее способность сохранять работоспособность в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов. Она определяется надежностью, живучестью и помехоустойчивостью сети.

Для повышения устойчивости сетей ЕСЭ используются различные меры [6, 18]:

- оптимизация топологии сетей связи для упрощения их адаптации к условиям, возникающим в результате воздействия различных дестабилизирующих факторов, включая геополитические;

- рациональное размещение сооружений связи на местности с учетом зон возможных разрушений, наводнений, пожаров;
- применение специальных мер защиты сетей и их элементов от влияния источников помех различного характера;
- развитие систем резервирования;
- внедрение автоматизированных систем управления, организующих работу по перестройке и восстановлению сетей, поддержанию их работоспособности в различных условиях и др.

3.2 Цифровая первичная сеть

Первичной сетью называется совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов системы электросвязи, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи системы электросвязи [6].

В основе современной системы электросвязи лежит использование цифровой первичной сети, основанной на использовании цифровых систем передачи. Как следует из определения, в состав первичной сети входит среда передачи сигналов и аппаратура систем передачи.

Первичная сеть строится на основе типовых каналов, образованных системами передачи. Рассмотрим ту часть первичной сети, которая связана с передачей информации в цифровом виде.

Цифровой сигнал типового канала имеет определенную логическую структуру, включающую [6, 10, 13]:

- цикловую структуру сигнала;
- тип линейного кода.

Цикловая структура сигнала используется для синхронизации, процессов мультиплексирования и демultipлексирования между различными уровнями иерархии каналов первичной сети, а также для контроля блоковых ошибок.

Линейный код обеспечивает помехоустойчивость передачи цифрового сигнала.

Аппаратура передачи осуществляет преобразование цифрового сигнала с цикловой структурой в модулированный электрический сигнал, передаваемый затем по среде передачи. Тип модуляции зависит от используемой аппаратуры и среды передачи. Современные системы передачи используют в качестве среды передачи сигналов электрический и оптический кабель, а также радиочастотные средства (радиорелейные и спутниковые системы передачи) – рис. 3.5.

Таким образом, внутри цифровых систем передачи осуществляется передача электрических сигналов различной структуры, на выходе цифровых систем передачи образуются каналы цифровой первичной сети, соответствующие стандартам по скорости передачи, цикловой структуре и типу линейного кода.

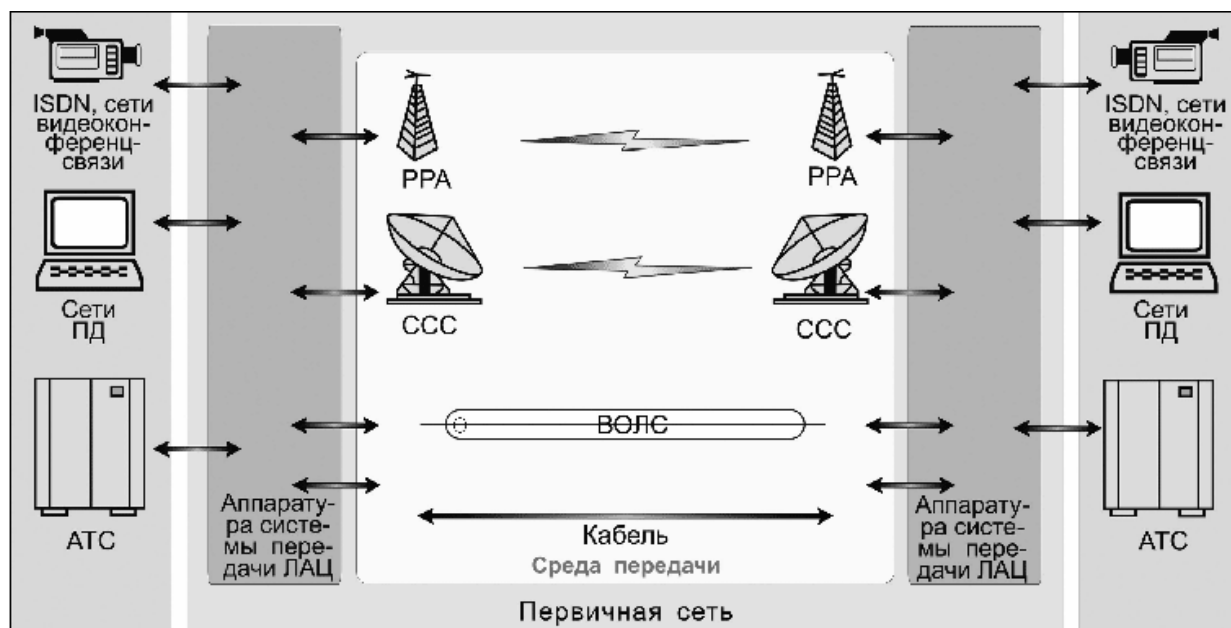


Рис. 3.5. Физические среды передачи первичной сети

Обычно каналы первичной сети приходят на узлы связи, откуда кроссируются для использования во вторичных сетях. Можно сказать, что **первичная сеть представляет собой банк каналов, которые затем используются вторичными сетями (сетью телефонной связи, сетями передачи данных, сетями специального назначения и т.д.).** Существенно, что для всех вторичных сетей этот банк каналов един, откуда и вытекает обязательное требование, чтобы каналы первичной сети соответствовали общим стандартам.

Современная цифровая первичная сеть строится на основе трех основных технологий [2, 10, 13]:

- плезиохронная цифровая иерархия (PDH);
- синхронная цифровая иерархия (SDH);
- технология асинхронного режима передачи (ATM).

Кроме того, в настоящее время идет активное внедрение новых оптических технологий, которые в ближайшем будущем наряду с вышеприведенными технологиями составят основу цифровой первичной сети [19]:

- Gigabit Ethernet (GE);
- оптическая транспортная иерархия OTH (Optical Transport Hierarchy);
- технология автоматически коммутируемых оптических сетей ASON (Automatic Switched Optical Network).

Из перечисленных технологий в настоящее время именно оборудование PDH и SDH составляет подавляющее большинство средств построения цифровой первичной сети.

Рассмотрим на рис. 3.6 более подробно историю построения и отличия плезиохронной и синхронной цифровых иерархий.

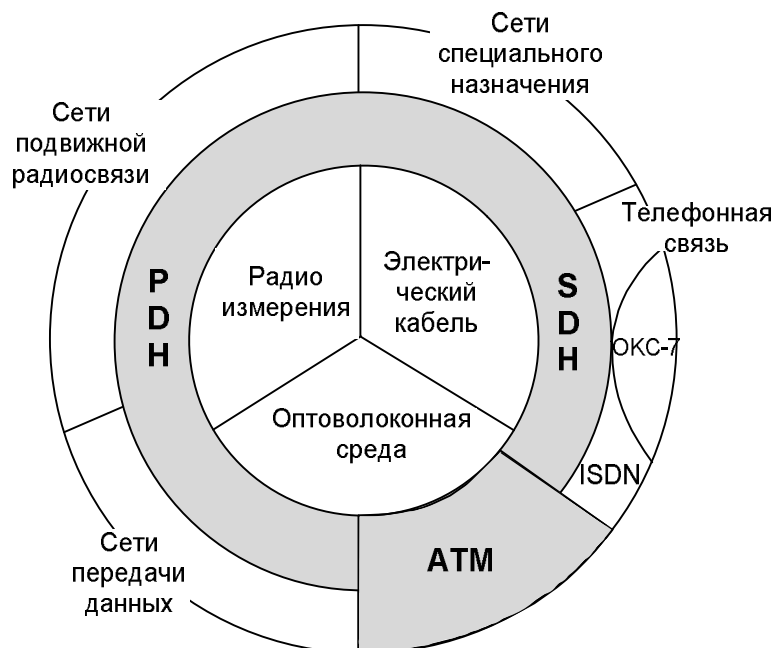


Рис. 3.6. Технологии цифровой первичной иерархии и их место в ЕСЭ

Первичная цифровая сеть на основе PDH/SDH состоит из следующих компонентов [6, 10]:

- узлов мультиплексирования (мультиплексоров), выполняющих роль преобразователей между каналами различных уровней иерархии стандартной пропускной способности (ниже);
- регенераторов, восстанавливающих цифровой поток на протяженных трактах;
- цифровых кроссов, которые осуществляют коммутацию на уровне каналов и трактов первичной сети.

Схемы плезиохронных цифровых систем (ПЦС) были разработаны в начале 1980-х годов. Всего их было три [4, 6, 8, 9]:

1) принята в США и Канаде, в качестве скорости сигнала первичного цифрового канала ПЦК (DS1) была выбрана скорость 1544 кбит/с и давала последовательность DS1 - DS2 - DS3 - DS4 или последовательность вида: 1544 - 6312 - 44736 - 274176 кбит/с. Это позволяло передавать соответственно 24, 96, 672 и 4032 канала DS0 (ОЦК 64 кбит/с);

2) принята в Японии, использовалась та же скорость для DS1; давала последовательность DS1 - DS2 - DSJ3 - DSJ4 или последовательность 1544 - 6312 - 32064 - 97728 кбит/с, что позволяло передавать 24, 96, 480 или 1440 каналов DS0;

3) принята в Европе и Южной Америке, в качестве первичной была выбрана скорость 2048 кбит/с и давала последовательность E1 - E2 - E3 - E4 - E5 или 2048 - 8448 - 34368 - 139264 - 564992 кбит/с. Указанная иерархия позволяла передавать 30, 120, 480, 1920 или 7680 каналов DS0.

Комитетом по стандартизации ITU-T был разработан стандарт, согласно которому [6]:

- были стандартизированы три первых уровня первой иерархии, четыре уровня второй и четыре уровня третьей иерархии в качестве основных, а также схемы кросс-мультиплексирования иерархий (рис. 3.7);
- последние уровни первой и третьей иерархий не были рекомендованы в качестве стандартных.

Указанные иерархии, известные под общим названием **плезियोхронная цифровая иерархия PDH**, или ПЦИ, сведены в таблицу 3.1.

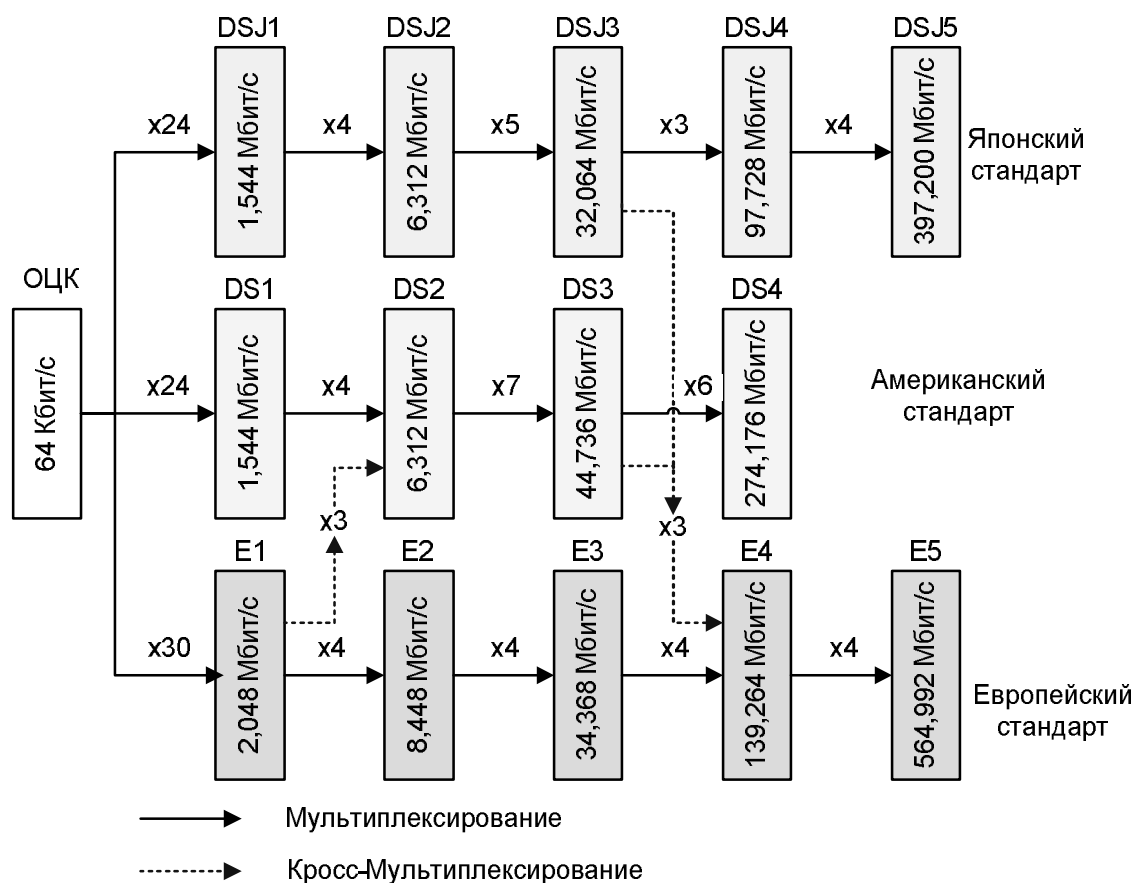


Рис. 3.7. Мультиплексирование цифровых потоков ПЦС (PDH)

Однако технология PDH обладала рядом недостатков, а именно [26]:

- затруднённый ввод/вывод цифровых потоков в промежуточных пунктах;
- отсутствие средств сетевого автоматического контроля и управления;
- многоступенчатое восстановление синхронизации требует достаточно большого времени.

Также можно считать недостатком наличие трёх различных иерархий.

Указанные недостатки PDH, а также ряд других факторов привели к разработке в США ещё одной иерархии – иерархии синхронной оптической сети SONET, а в Европе аналогичной синхронной цифровой иерархии SDH,

предложенных для использования на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС).

Таблица 3.1. Три схемы ПЦС: американская (АС); японская (ЯС); европейская (ЕС)

Уровень цифровой иерархии	Скорости передач, соответствующие различным схемам цифровой иерархии [кбит/с]		
	АС: 1544 кбит/с	ЯС: 1544 кбит/с	ЕС: 2048 кбит/с
0	64	64	64
1	1 544	1 544	2 048
2	6 312	6 312	8 448
3	44 736	32 064	34 368
4	---	97 728	139 264

Но из-за неудачно выбранной скорости передачи для сетей SONET, было принято решение отказаться от создания SONET, а создать на её основе SONET/SDH со скоростью передачи 51.84 Мбит/с. В результате три потока SONET/SDH соответствовали STM-1 иерархии SDH. Скорости передач иерархии SDH представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Скорости передач иерархии SDH

Уровень SDH	Скорость передачи, Мбит/с
SONET/SDH	51,84
STM-1	155,52
STM-4	622,08
STM-8	1244,16
STM-12	1866,24
STM-16	2487,32

Иерархии PDH и SDH взаимодействуют через процедуры мультиплексирования и демультиплексирования потоков PDH в системы SDH.

Основным отличием системы SDH от системы PDH является переход на новый принцип мультиплексирования.

*Система PDH использует принцип плезиохронного (или почти синхронного) мультиплексирования, согласно которому для мультиплексирования, например, четырех потоков E1 (2048 кбит/с) в один поток E2 (8448 кбит/с) производится процедура выравнивания тактовых частот приходящих сигналов методом **стаффинга**. В результате при демультиплексировании необходимо производить пошаговый процесс восстановления исходных каналов [10].*

Например, во вторичных сетях цифровой телефонии наиболее распространено использование потока E1. При передаче этого потока по сети PDH в тракте E3 необходимо сначала провести пошаговое мультиплексирование

Е1-Е2-Е3, а затем – пошаговое демультиплексирование Е3-Е2-Е1 в каждом пункте выделения канала Е1.

В системе SDH производится синхронное мультиплексирование / демультиплексирование, которое позволяет организовывать непосредственный доступ к каналам PDH, которые передаются в сети SDH. Это довольно важное и простое нововведение в технологии привело к тому, что в целом технология мультиплексирования в сети SDH намного сложнее, чем технология в сети PDH – усилились требования по синхронизации и параметрам качества среды передачи и системы передачи, а также увеличилось количество параметров, существенных для работы сети. Как следствие, методы эксплуатации и технология измерений SDH намного сложнее аналогичных для PDH.

Технология АТМ отличается от технологий PDH и SDH тем, что охватывает не только уровень первичной сети, но и технологию вторичных сетей, в частности, сетей передачи данных и широкополосной ISDN (B-ISDN). В результате при рассмотрении технологии АТМ трудно отделить ее часть, относящуюся к технологии первичной сети, от части, тесно связанной со вторичными сетями [13].

В таблице 3.3 приведены ключевые отличия технологии АТМ от SDH. К ключевым отличиям стоит отнести наличие встроенных механизмов обеспечения качества обслуживания и динамическое выделение каналов с заданной пропускной способностью для обслуживания пользователей. Это позволяет обеспечить гибкое управление телекоммуникационным ресурсом и гарантировать требуемое качество обслуживания пользователей.

Таблица 3.3. Сравнительный анализ технологий АТМ и SDH

Характеристики сетей	АТМ	SDH
Скорость передачи информации	2 Мбит/с ... 2,5 Гбит/с	2 Мбит/с ... 10 Гбит/с
Способ установления соединения	Коммутируемые и постоянные виртуальные каналы	Постоянные соединения
Ширина полосы пропускания	По требованию	2 Мбит/с, 34 Мбит/с, 155 Мбит/с, 622 Мбит/с
Динамическое распределение полосы пропускания	Да	Нет
Набор услуг, предоставляемых сетью	Широкий набор служб для передачи трафика различного рода	Выделенные каналы с постоянной пропускной способностью и гарантированным временем задержки
Управление сетью	С использованием SNMP, установление соединений, выбор маршрутов передачи трафика лежат на АТМ-коммутаторах	С использованием внутренних протоколов производителя оборудования, выбор маршрутов, определение альтернативного маршрута при нарушениях в каналах

Международным союзом электросвязи ITU-T предусмотрены рекомендации, стандартизирующие скорости передачи и интерфейсы систем PDH, SDH и ATM, процедуры мультиплексирования и демупльтиплексирования, структуру цифровых линий связи и нормы на вероятностно-временные параметры. Основные из этих рекомендаций приведены на рис. 3.8 [13].

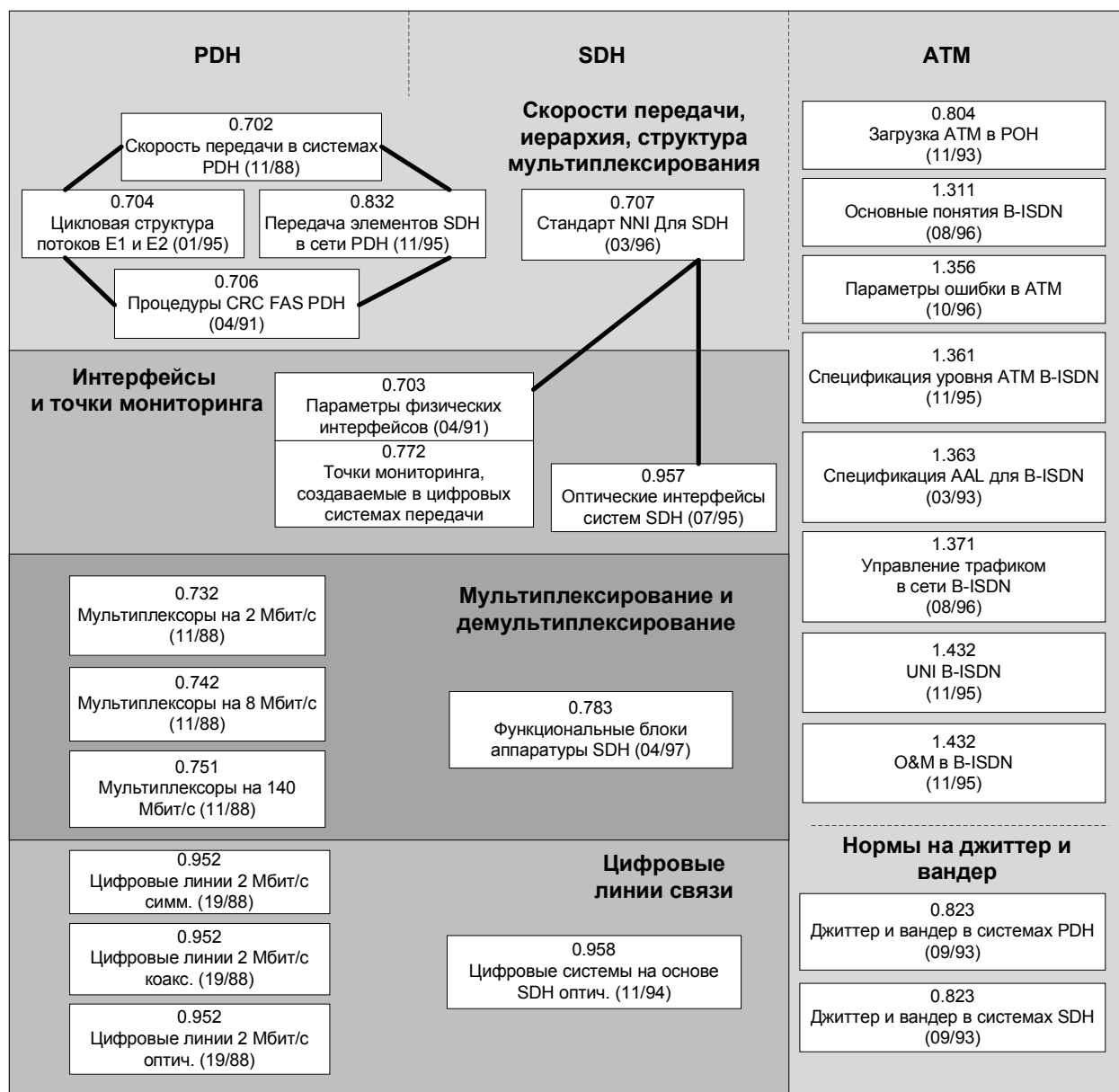


Рис. 3.8. Стандарты первичной цифровой сети, построенной на основе технологий PDH, SDH и ATM [13]

Рассмотрим основные тенденции в развитии цифровой первичной сети. В настоящий момент очевидной тенденцией в развитии технологии мультиплексирования на первичной сети связи является переход от PDH к SDH. Если в области средств связи этот переход не столь явный (в случае малого трафика по-прежнему используются системы PDH), то в области эксплуатации тенденция к ориентации на технологию SDH более явная. Операторы, создающие большие сети, уже сейчас ориентированы на использование технологии SDH. Следует также отметить, что SDH дает возможность прямого

доступа к каналу 2048 кбит/с за счет процедуры ввода/вывода потока Е1 из трактов всех уровней иерархии SDH. Канал Е1 (2048 кбит/с) является основным каналом, используемым в сетях цифровой телефонии, ISDN и других вторичных сетях.

3.3 Типовые каналы и тракты аналоговой и цифровой сети электросвязи

Первичная сеть представляет собой совокупность линий передачи, на которых с помощью соответствующих систем передачи образуются типовые каналы передачи и групповые тракты, и сетевых узлов (станций) для образования и распределения каналов [8-10].

По территориальному признаку сети связи классифицируют на [4, 10]:

- местные;
- зоновые;
- магистральные.

Первичная сеть базируется на современных кабельных линиях связи (витые пары, коаксиальные и волоконно-оптические кабели) при их гармоничном сочетании со спутниковыми, радио- и радиорелейными линиями связи. Сетевые узлы первичной сети обеспечивают организацию и транзит типовых каналов и групповых трактов первичной сети, их коммутацию и предоставление вторичным сетям.

В первичной сети существуют, и по всей видимости, еще долго будут сосуществовать вместе аналоговые и цифровые каналы связи, образованные соответственно аналоговыми (АСП) и цифровыми (ЦСП) системами передачи. При этом наличие аналоговых систем передачи – «наследство» 1940-70-х годов, когда реализовывались масштабные проекты обеспечения телефонной и телеграфной связью максимального количества населенных пунктов в национальных масштабах, однако основой такой сети связи являлись аналоговые каналы связи. В настоящее время ведутся работы по замене АСП на ЦСП, однако это довольно длительный и дорогостоящий процесс, который может растянуться на долгие годы.

Канал электросвязи – это тот индивидуальный путь между двумя абонентами или оконечными абонентскими устройствами, разнесенными в пространстве, по которому передается сигнал электросвязи [4, 10].

Типовым называют канал (групповой тракт), параметры которого нормализованы [4]. В первичной сети выделяют следующие типовые каналы.

Типовые каналы передачи аналоговых систем передачи [6]:

- *канал тональной частоты (ТЧ)* – совокупность технических средств, обеспечивающая передачу сигналов в эффективно передаваемой полосе частот 300-3400 Гц;
- *канал звукового вещания* (высшего класса – 30-15000 Гц; первого класса: 50 -10 000 Гц; второго класса: 100-6 300 Гц);
- *канал передачи сигналов изображения телевидения* с полосой частот от 50 Гц до 6 МГц;

- **канал звукового сопровождения сигналов телевидения** (высшего класса: 30-15 000 Гц, 1 класса: 50-10 000 Гц);
- **типовые групповые аналоговые тракты**:
 - первичный – 60-108 кГц (12 каналов ТЧ);
 - вторичный – 312-552 кГц (60 каналов ТЧ);
 - третичный – 812-2044 кГц (300 каналов ТЧ).

Типовые каналы передачи цифровых систем передачи [6]:

- **основной цифровой канал (ОЦК)** с номинальной скоростью передачи 64 кбит/с (канал типа В) – является цифровым эквивалентом канала аналогового канала тональной частоты (ТЧ), так как обеспечивает передачу телефонного сигнала в полосе частот 300 -3400 Гц методом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ);
- **цифровой канал абонентского окончания цифровой сети интегрального обслуживания (ЦСИО-ISDN)**:

$$144 \text{ кбит/с} = 2 \cdot 64 \text{ кбит/с} + 16 \text{ кбит/с} = 2\mathbf{B} + \mathbf{D},$$
 где **D** – канал передачи данных;
- **цифровые тракты плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ)**:
 - субпервичный – 0,512 Мбит/с (8 ОВД);
 - вторичный – 8,448 Мбит/с (120 ОВД);
 - третичный – 34,368 Мбит/с (480 ОВД);
 - четверичный – 139,264 Мбит/с (1920 ОВД);
- **цифровые тракты синхронной цифровой иерархии (СЦИ)** – цифровые потоки синхронных транспортных модулей (СТМ):
 - поток СТМ-1 = 155,52 Мбит/с;
 - поток СТМ-4 = 622,08 Мбит/с;
 - поток СТМ-16 = 2 488,32 Мбит/с;
 - поток СТМ-64 = 9 953,28 Мбит/с;
 - поток СТМ-256 = 39 813,12 Мбит/с.

3.4 Вторичные сети связи

На базе типовых каналов и трактов первичной сети строятся вторичные сети, которые обеспечивают передачу соответствующих видов информации (деление вторичных сетей по информационному признаку) или обеспечивают передачу требуемых видов информации в рамках одного ведомства (деление вторичных сетей по ведомственному признаку) – рис. 3.9.

Каналы первичной сети служат базой для построения вторичных сетей, которые разделяются по виду передаваемой информации (телефонная сеть, телеграфная сеть, сеть передачи данных и т. д.) или ведомственной принадлежности.

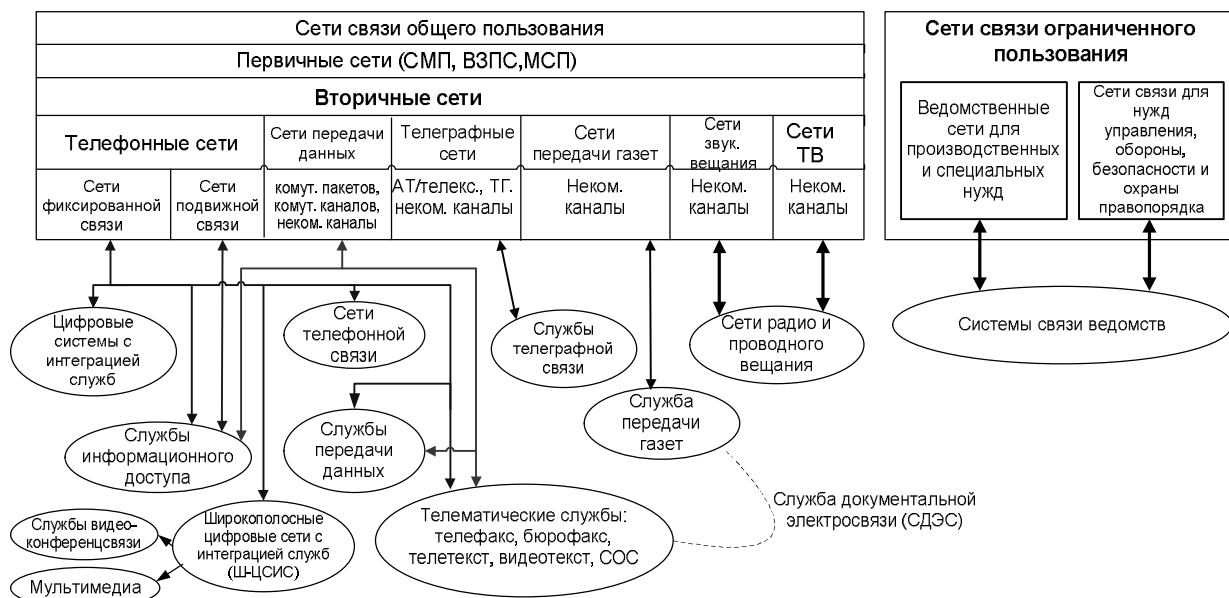


Рис. 3.9. Принцип деления вторичных сетей связи

Назначением конкретной вторичной сети электросвязи является доставка информации определенного вида (преобразованной в соответствующие сигналы электросвязи). Как следует из определения первичной сети, она обеспечивает связь только между определенными узлами. При этом магистраль прокладывается далеко не между всеми узлами первичной сети. Поэтому для образования путей передачи информации на любой из узлов сети необходимо осуществлять соединения между каналами (или группами каналов) различных магистралей, оканчивающихся на одном и том же узле (рис. 3.10).

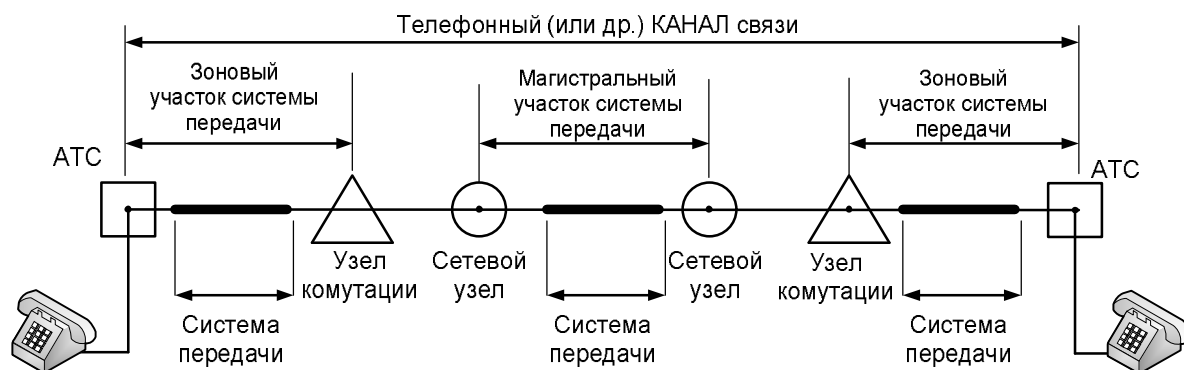


Рис. 3.10. Структура составного канала сети ЕСЭ:

Если на всех узлах первичной сети или некоторых из них установить кроссовые соединения, то на базе первичной сети будет создана **вторичная некоммутируемая сеть**.

В узлы некоммутируемой сети могут включаться абонентские линии, которые соединяются с каналами сети также с помощью кроссовых соединений. Однако в большинстве случаев каналы вторичных сетей являются коллективными для всех или группы абонентских пунктов, включенных в данный узел. На узле в этом случае устанавливается аппаратура коммутации,

обеспечивающая подключение абонентской линии к каналу лишь на время передачи информации.

Таким образом, на базе вторичной некоммутируемой сети образуется вторичная сеть другого типа – **вторичная коммутируемая сеть**. Узел, в котором установлена аппаратура коммутации каналов и линий, обеспечивающая подключение абонентских линий к каналам, называется **узлом коммутации**.

Вторичные коммутируемые сети подразделяются по способу коммутации на [5, 6]:

- *сети с коммутацией каналов;*
- *сети с коммутацией сообщений;*
- *сети с коммутацией пакетов, кадров и ячеек.*

В зависимости от числа абонентов и размеров территории вторичные сети могут иметь различную топологическую структуру. Типовыми структурами вторичных сетей являются (рис. 1.7) [6]:

- радиальная;
- полносвязная;
- радиально-узловая;
- сочетание радиально-узловой и полносвязной.

3.5 Узлы связи

Для образования путей передачи информации на любой из узлов сети необходимо осуществлять соединения между каналами (или группами каналов) различных магистралей, оканчивающихся на одном и том же узле. Кроме соединения отдельных каналов и магистралей в узлах связи осуществляется ввод/вывод отдельных информационных потоков из транспортной сети к потребителям (рис. 3.11).

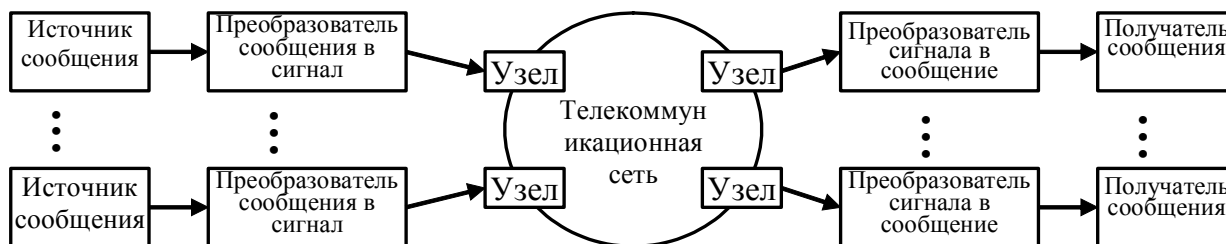


Рис. 3.11. Схема взаимодействия абонентов через телекоммуникационную сеть

Телекоммуникационные узлы – это организационно-техническое объединение средств и комплексов связи (канального, коммутационного, абонентского и др. оборудования), характеризуемого определенными структурными свойствами и предназначенного для ввода, вывода информации, кана-

лообразования, коммутации каналов связи (сообщений, пакетов) в соответствии с потребностью пользователей (абонентов) сети [5-9].

В узлах осуществляется формирование путей передачи информации между оконечными пунктами сети. С этой целью на узле предусматривается возможность непосредственного (для сетей с коммутацией каналов) или косвенного, через промежуточную буферную память (для сетей коммутации сообщений или пакетов), соединения между каналами линий связи, инцидентных (смежных) данному узлу.

Обобщенная структура узла связи приведена на рис. 3.12.



Рис. 3.12. Обобщенная структурная схема узла связи

Каналы связи от смежных узлов кроссируются непосредственно в кроссе или коммутируются в коммутационном поле узла. Управляющее устройство может воздействовать на коммутационное поле и кросс и хранит, в общем случае, как информацию о свободных, занятых и поврежденных каналах связи, инцидентных данному узлу, так и информацию, используемую при поиске пути установления соединения в коммутационном поле узла. Коммутационное поле по командам устройства управления обеспечивает оперативное установление соединения между коммутируемыми каналами.

Абонентский КРОСС, обеспечивает возможность подключения оконечных устройств пользователей, терминалов телефонной сети и других абонентских устройств через абонентские линии к коммутационной системе узла.

Посредством коммутационной системы, содержащей коммутационное поле, устройство управления и КРОСС каналообразующей аппаратуры, абo-

нентские сигналы коммутируются на входы каналов систем электросвязи различных родов связи (например, волоконно-оптической системы передачи или радиорелейная станция) и т. д. Далее групповые сигналы с выхода каналообразующей аппаратуры передаются соответствующим линиям связи к другим узлам связи.

Применение систем передачи, относящихся к различным родам связи, использование основных и обходных направлений связи, а также альтернативной маршрутизации сообщений обеспечивает высокую живучесть и устойчивость сети связи.

Для передачи различных видов информации на базе каналов первичной сети ЕСЭ, разворачиваются соответствующие вторичные сети по видам передаваемой информации [6]:

- телефонная сеть;
- сеть передачи телеметрической информации;
- сеть передачи сигналов телевидения;
- сеть телеграфной связи;
- сеть передачи данных, и др.

Для оказания услуг связи потребители и абоненты осуществляют доступ к узлу связи транспортной сети через сети абонентского доступа (САД). При этом *наблюдаются следующие тенденции развития систем абонентского доступа* [6, 19]:

- *использование существующих медных телефонных линий для предоставления широкополосного доступа средствами модемов **xDSL** (Digital Subscriber Line) в его различных разновидностях (**HDSL**, **ADSL**, **VDSL**), со скоростями **64 кбит/с – 50 Мбит/с** на расстояниях от десятков и сотен метров до нескольких километров;*
- *использование технологий: «волокну в дом», «волокну в распределительный шкаф», «волокну в офис» и т. д., обозначаемых **FTTx** (Fiber To The Home, ...), например, пассивной оптической сети **PON** (Passive Optical Network), основанных на сети волоконно-оптических линий, для организации доступа к любым видам услуг;*
- *использование широкополосных радио технологий **WiMAX**, **UMTS**, **LTE** и др. для фиксированного и мобильного доступа с разделением радиочастотных ресурсов по спектру частот, по времени, кодовым разделением, пакетной передачей.*

3.6 Этапы развития технологий транспортных и телекоммуникационных сетей

Телекоммуникационные системы в своем развитии прошли несколько этапов, схематично представленных на рис. 3.13. Чем ниже лежит слой, соответствующей технологии, тем более высокоскоростной она является, а следовательно, может обеспечивать передачу видов информации вышележащих технологий. Передача информации между вторичными сетями, построенными на базе различных телекоммуникационных технологий, осуще-

ствляется с использованием переходных элементов, называемых шлюзами, которые располагаются на их границах.

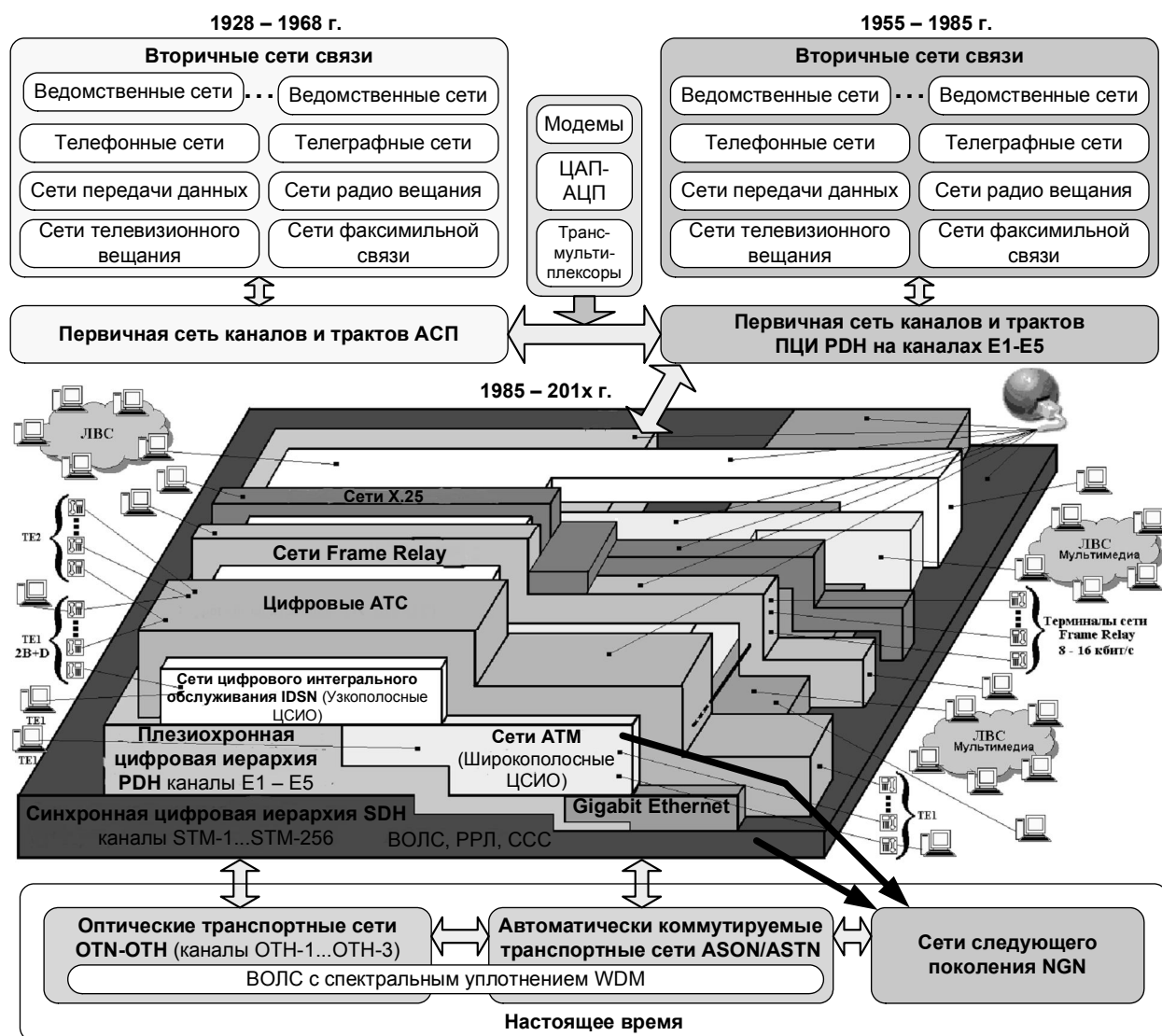


Рис. 3.13. Этапы развития телекоммуникационных технологий

На первом этапе первичная сеть строилась на основе типовых каналов и трактов АСП.

Второй этап характеризовался созданием цифровых систем передачи на основе иерархии плезиохронных цифровых систем, которые образовывали первичную цифровую сеть. При этом на обоих этапах развития жестко закреплялся соответствующий ресурс первичной сети в виде типовых каналов и трактов за соответствующими вторичными сетями. Такой подход, основанный на жестком закреплении ресурсов первичной сети за вторичными сетями связи, не позволял осуществлять динамическое перераспределение ресурсов первичной сети в условиях нестационарной нагрузки различных видов информации, характеризовался использованием разнотипного каналобразующего и коммутационного оборудования и являлся неэффективным в экономическом плане. Наличие взаимного существования АСП и ЦСП вызвало необходимость решения задачи сопряжения между собой аналоговых каналов

и трактов с цифровыми, что также приводило к дополнительному усложнению и повышению стоимости связи (модемы, АЦП-ЦАП, TMUX – трансмультиплексоры).

Вторичные сети связи на этих этапах использовали, как правило, кроссовую коммутацию, традиционную коммутацию каналов аналоговых и цифровых, в телеграфных сетях связи применялась как коммутация каналов, так и коммутация сообщений, передача данных осуществлялась по некоммутируемым и коммутируемым каналам связи, а также с использованием метода коммутации пакетов. Видео и телевизионная информация передавалась по выделенным для этих целей широкополосным аналоговым или высокоскоростным цифровым трактам передачи АСП и ЦСП соответственно.

Третий этап развития телекоммуникационных систем связан с появлением новых технологий передачи информации, как при построении первичной сети, так и использовании новых технологий интегрального типа для построения вторичных сетей.

На этом этапе вторичные сети обеспечивают в едином цифровом виде совместную передачу различных видов информации, осуществляя динамическое перераспределение имеющегося ресурса между сообщениями различных видов информации. При этом в рамках каждой технологии вторичной сети используется однотипное коммутационное оборудование.

Основу первичной сети третьего этапа составляют цифровые системы передачи плезиохронной и синхронной иерархий, которые обеспечивают функционирование всех вторичных сетей, использующих различные методы оперативной коммутации: быструю коммутацию каналов, быструю коммутацию пакетов, коммутацию кадров, пакетов и ячеек.

В последнее время при развитии телекоммуникационных систем получила развитие концепция **сетей связи следующего/нового поколения NGN (Next/New Generation Network)**. Концепция NGN предусматривает создание новой мультисервисной сети, при этом с ней осуществляется интеграция существующих служб путем использования распределенной программной коммутации (soft-switches).

Обобщая вышеизложенное, можно сказать, что современное развитие телекоммуникационных сетей связи происходит через интеграцию всех функциональных возможностей, заложенных в модели транспортных сетей. Интеграция привела к созданию универсальных мультисервисных транспортных платформ с электрическими и оптическими интерфейсами, с электрической и оптической коммутацией каналов и пакетов (кадров и ячеек), с предоставлением любых видов транспортных услуг, включая услуги автоматически коммутируемых оптических сетей с сигнальными протоколами, основанными на обобщённом протоколе коммутации по меткам GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching).

На рис. 3.14 представлена обобщенная архитектура транспортной платформы, в которой указаны возможные источники информационной нагрузки, протоколы согласования и транспортные технологии по информации из работы [6, 19].

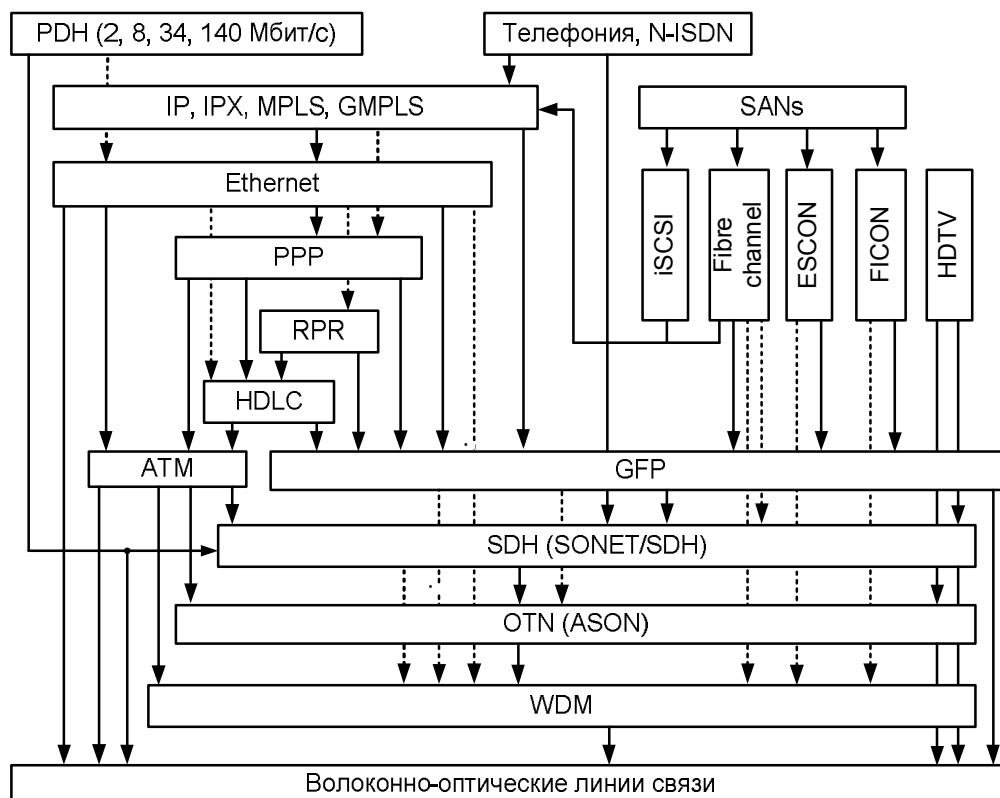


Рис. 3.14. Обобщенная архитектура оптической мультисервисной транспортной платформы

Обозначения на рис. 3.14 [6, 19]:

- PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy – плезиохронная цифровая иерархия (скорости 2, 8, 34 и 140 Мбит/с);
- N-ISDN, Narrowband Integrated Services Digital Network – узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб (У-ЦСИС);
- IP, Internet Protocol – межсетевой протокол;
- IPX, Internet Packet eXchange – межсетевой обмен пакетами;
- MPLS, Multi-Protocol Label Switching – многопротокольная коммутация по меткам;
- GMPLS, Generalised MPLS – протокол обобщенной коммутации по меткам;
- SANs, Storage Area Networks – сети хранения данных (серверы услуг, базы данных);
- iSCSI, internet Small Computer System Interface – протокол для установления взаимодействия и управления системами хранения данных, серверами и клиентами;
- HDTV, High-Definition Television – телевидение высокой четкости;
- ESCON, Enterprise Systems Connection – соединение систем учреждений (с базами данных, серверами);
- FICON, Fiber Connection – волоконное соединение для передачи данных;
- PPP, Point-to-Point Protocol – протокол «точка-точка»;

- RPR, Resilient Packet Ring – протокол пакетного кольца с самовосстановлением;
- HDLC, High-level Data Link Control – протокол управления каналом высокого уровня;
- GFP, Generic Framing Procedure – процедура формирования общего кадра.

Протоколы PPP, RPR, HDLC, GFP в транспортных сетях выполняют функции согласования информационных данных от источников нагрузки с транспортными структурами в интересах повышения эффективности использования ресурсов этих структур, например, виртуальных контейнеров высокого и низкого порядков в сети SDH или оптических каналов в сети OTN, или физических ресурсов кадров передачи сети Ethernet [19].

Глава 3 основана на материале работ [4, 6, 8, 9, 10, 13, 18, 19, 47].

4 СЕТИ ФАКСИМИЛЬНОЙ, ТЕЛЕФОННОЙ И ТЕЛЕГРАФНОЙ СВЯЗИ

4.1 Организация факсимильной связи

Факсимильная связь – передача по каналам связи изображений [20].

В факсимильной технике используется принцип развертки, т.е. разложение изображений на отдельные элементарные площадки (растровые элементы) и последовательная во времени передача электрических сигналов, пропорциональных яркости элементов разложения [20]. Функциональная схема простейшей факсимильной системы представлена на рис. 4.1 [20].

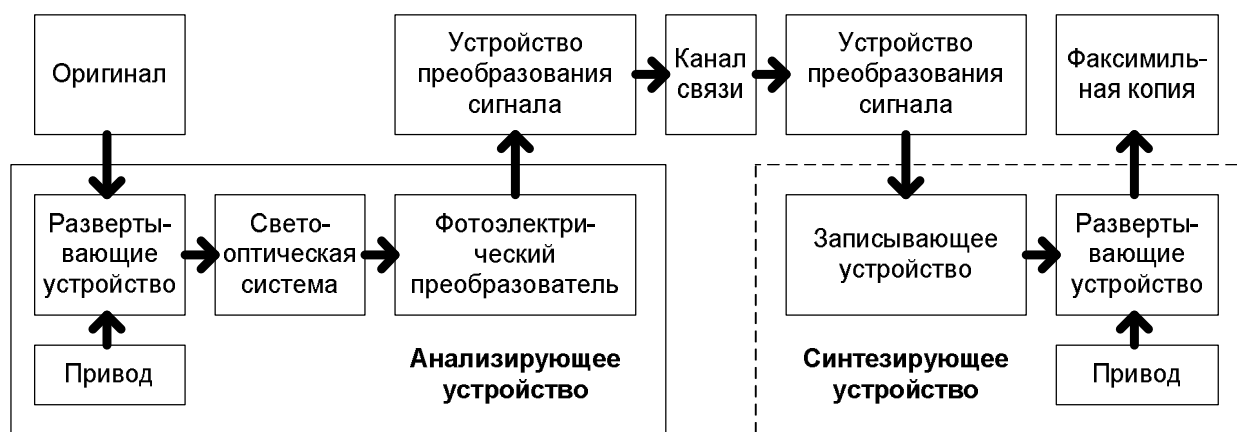


Рис. 4.1. Функциональная схема факсимильной системы

Система работает следующим образом. В процессе движения развертывающего элемента изображение разбивается на строки. Отраженный световой поток попадает на фотоэлектрический преобразователь, выходной электрический сигнал которого повторяет форму входного светового сигнала. Узлы передающей аппаратуры, обеспечивающие развертку изображения и фотоэлектрическое преобразование, называются анализирующим устройством.

В приемном аппарате электрические и преобразованные световые сигналы вызывают окрашивание элементарных площадок на поверхности носителя записи. В результате записанное построчно изображение является копией переданного. Совокупность узлов, осуществляющих данные преобразования, называется синтезирующим устройством.

Факсимильная аппаратура по назначению классифицируется на пять типов [20]:

- 1) передача-прием газет в пункты децентрализованного печатания;
- 2) передача-прием фотофаксимильной информации;
- 3) передача-прием метеорологических карт;
- 4) передача-прием факсимильной документальной информации;
- 5) переприем факсимильной информации, представленной в цифровой форме.

Наличие в спектре факсимильного сигнала постоянной составляющей и низких частот не позволяет непосредственно передавать его по каналам ТЧ. Перенос спектра частот факсимильного сигнала в область более высоких частот, совпадающую с полосой пропускания канала ТЧ, производится в процессе модуляции.

Современные факсимильные аппараты третьей и четвертой групп являются цифровыми. В аппаратах этих групп применяются устройства плоскостной развертки с электронными анализирующими устройствами на приборах с зарядовой связью (ПЗС). Обычно используются однострочные линейки ПЗС на 2048 элементов [20]. Запись изображения производится многоэлектродными головками на электростатическую или электротермическую бумагу.

Факсимильное сообщение обладает большой избыточностью. Для сокращения этой избыточности используется кодирование источника с использованием различных кодов, например модифицированного кода Хаффмана.

В соответствии с рекомендацией МСЭ различают следующие виды систем документальной факсимильной связи [20]:

- 1) построенные по абонентскому принципу Телефакс (передача сигналов по телефонной сети общего пользования) и Датафакс (передача сигналов по сетям передачи данных);*
- 2) построенные по клиентскому принципу Бюрофакс.*

При абонентском принципе построения терминальные устройства, включенные в сеть электросвязи, устанавливаются непосредственно у абонентов, они подключаются к телефонным аппаратам.

В случае клиентского принципа обслуживания групповые терминальные факсимильные устройства устанавливаются непосредственно в городских отделениях связи и в районных узлах связи. Сбор оригиналов, изображения которых следует передать, осуществляется через почтовые ящики, как в традиционной почте. Данный вид факсимильной электросвязи получил развитие для передачи фототелеграмм.

Во всех названных системах факсимильная информация кодируется в передатчике и по каналам связи передается в цифровой форме.

Рост объема передаваемой пользователями информации вызывает необходимость в использовании не только простых автономных телефаксов, выполняющих строго определенное число функций, но и более совершенных систем, которые позволяют автоматизировать процесс приема, обработки и рассылки факсимильных сообщений.

Реализация таких систем возможна только на основе ПК с добавлением к ним специальной факсимильной платы. Это позволяет подключить телефонную линию непосредственно к компьютеру.

Применение ПК для управления работой факсимильных плат позволяет реализовать множество полезных приложений. Наибольшее распространение получили такие приложения (службы) как факс-сервер, факс по запросу и факс-рассылка.

Внедрение факсимильной передачи позволило существенно сократить, а в ряде случаев полностью устранить разрыв во времени между выходом центральных газет в Москве и другими пунктами страны. В настоящее время в России создана разветвленная сеть передачи факсов по кабельным, РРЛ и спутниковым линиям связи. Наибольшее распространение получил комплекс аналогового оборудования факсимильной передачи «Газета-2».

В аппаратуре «Газета-2» сигналы по наземным линиям связи передаются по стандартным вторичным групповым трактам путем АМ несущей частоты 500 кГц с частичным подавлением одной боковой полосы частот.

В результате несимметричного ограничения боковых полос по вторичному тракту удается передать сигналы изображения с максимальной частотой 180 кГц. Скорость передачи в этом случае достигает 3000 строк/мин. Объектом передачи служит специально подготовленный оттиск газетной полосы размером 558×392 мм.

Современное факсимильное оборудование принимает и передаёт изображения по стандартным модемным протоколам (таблица 4.1).

Таблица 4.1. Модемные протоколы для факсимильных сообщений

Стандарт ITU	Год публикации	Скорости, бит/с	Способ модуляции
V.27	1988	4800, 2400	PSK
V.29	1988	9600, 7200, 4800	QAM
V.17	1991	14 400, 12 000, 9600, 7200	TCM
V.34	1994	28 800	QAM
V.34bis	1998	33 600	QAM

В перспективе передача факсимильных сообщений в дальнейшем постепенно превратится в передачу файлов между компьютерами редакционно-издательских комплексов, т. е. в передачу данных. При этом методы ввода и вывода сообщений останутся на ближайшую перспективу факсимильными.

4.2 Организация телефонной связи

Существующая в настоящее время во всем мире телефонная опорная сеть (Public Switched Telephone Network — PSTN) является самой большой общедоступной открытой технической системой. Её строительство длилось более ста лет, при этом использовалось весьма разнотипное оборудование [50, 51].

В состав телефонной опорной сети входят [50]:

- коммутационные устройства (оконечные автоматические станции (ОАТС);
- оконечно-транзитные телефонные станции (ОТАТС);
- узлы коммутации (УК);

- подстанции;
- концентраторы;
- линейные сооружения (абонентские линии, служебные линии, каналы междугородной и международной связи);
- гражданские сооружения (здания телефонных станций и узлов, усилительных пунктов);
- окончечное абонентское оборудование (телефонные аппараты абонентов).

Телефонная опорная сеть объединяет городские, сельские, зонавые и междугородные телефонные сети. Большим достижением является то, что такие огромные сети, построенные как на аналоговом, так и на цифровом оборудовании, позволяют соединять любых абонентов земного шара.

4.2.1 Принципы нумерации в системах телефонной связи

Система нумерации — это система знаков (цифр и букв), используемых вызывающими абонентами при автоматической телефонной связи [50].

Система нумерации должна обеспечивать [50]:

- минимальное число знаков номера;
- отсутствие одинаковых номеров;
- достаточные запасы номерной емкости с учетом развития местных сетей.

Международный союз электросвязи ИТУ-Т рекомендует разрабатывать национальные системы нумерации на 50 лет.

Каждая местная телефонная сеть (городская телефонная сеть, сельская телефонная сеть, сеть подвижной сотовой связи) имеет свою нумерацию. Число знаков местного абонентского номера (Directory Number — DN), набираемого внутри местной сети, зависит от ее емкости: при пятизначной нумерации — это *c-xx-xx*, при шестизначной нумерации — *bc-xx-xx*, при семизначной нумерации — *abc-xx-xx*.

Международный союз электросвязи ИТУ-Т рекомендует применять три принципа построения плана нумерации [50]:

- географический (зонавый);
- глобальный;
- сетевой.

Для всех трех планов установлена максимальная длина номера — 15 десятичных цифр. В России принят зонавый план нумерации (рис. 4.2) [50].

Код страны (Country Code — CC), для России CC = 7	Национальный код пункта назначения (географический ABC или негеографический DEF) (National Destination Code — NDC)	Зонавый номер абонента <i>abx-xx-xx</i>
---	--	---

Рис. 4.2. Схема номера абонента при зонавом плане нумерации

При объединении местных телефонных сетей в единую сеть страны каждой из них должен быть присвоен специальный междугородный код (National Destination Code — NDC). Этот код может быть присвоен на стационарных сетях по географическому принципу, его так и называют — **географический код ABC**. Так, код Санкт-Петербурга — 812, код Волховского района — 63, поэтому код города Волхова — 81263. В настоящее время для Москвы выделены две зоны нумерации, соответственно коды 495 и 499, а для Московской области — код 496 [50].

В последнее десятилетие в России появились сети мобильной и сети спутниковой связи. Для них выделены негеографические коды DEF, которые в настоящее время начинаются с цифры 9, они присваиваются сетям различных операторов подвижной связи. Например, для оператора МТС на территории Москвы выделены DEF=915, 916, 917, для оператора Мегафон DEF=926, для оператора Билайн DEF=903, 905, 907. Для предоставления услуг интеллектуальных сетей выделены DEF, начинающиеся с цифры 8. В настоящее время начинает активно внедряться услуга оплаты за счет вызываемого абонента с DEF=800. Различные компании используют ее для рекламы и консультационных услуг [50].

Вся территория России разделена на зоны нумерации, сеть на территории каждой зоны называется зоной (очевидно, что в зоне не должно быть одинаковых абонентских номеров). Код ABC присваивается каждой зоне нумерации. В пределах зоны вводится семизначная нумерация, причем каждой стотысячной группе номеров присваивается двухзначный код *ab*. Этот код может быть присвоен сразу нескольким местным сетям, например расположенным на общей территории. При установлении соединения между абонентами внутри своей зоны используется семь цифр зонового номера *abx-xx-xx*. В качестве знака *a* нельзя применять цифры 0 и 8, так как они используются для соединения со спецслужбами и выхода на междугородную сеть. Таким образом, зональная сеть ограничена восемью миллионами абонентских номеров. При установлении соединения в пределах своей зоны после набора индекса выхода на межгород (8) нужно набрать направляющий индекс 2, указывающий, что требуется соединение в своей зоне, затем код стотысячной группы *ab* и пятизначный номер в этой группе. Например, код АТС Раменского района Московской области — 46, при вызове абонента города Раменское с номером 2-10-59 из Москвы следует набирать 8-2-46-2-10-59, а при вызове из другого города (например, из Петербурга) — 8-496-46-2-10-59. Очевидно, что географический код ABC не может начинаться с цифр 2, 9 и 8 [50].

На международных телефонных сетях действует разработанная ИТУ-Т система всемирной нумерации для глобальной мировой телефонной сети. Эта система учитывает особенности междугородных телефонных сетей различных стран. Для присвоения кода страны вся территория земного шара разбита на зоны (телефонные континенты). Каждой из этих зон присвоен однозначный код: Северной и Центральной Америке — 1; Африке — 2; Европе — 3 и 4; Южной Америке — 5; Малой Азии, Австралии и Океании — 6,

России и Казахстану — 7; Центральной Азии и Дальнему Востоку — 8; Индии и Ближнему Востоку — 9. *Внутри зон странам присваиваются одно-, двух- и трехзначные коды* [50].

Системы нумерации делятся на [51]:

- **закрытые системы нумерации**, в которых при местной, зонавой и междугородней связи используется один и тот же номер;
- **открытые системы нумерации**, в которых при междугородней связи используется междугородний номер, при зонавой связи — зонавый номер, а при местной связи — местный номер.

В настоящее время в связи с внедрением цифровой техники, когда мощные процессоры узловых коммутаторов способны анализировать большое количество цифр абонентского номера, все шире применяются закрытые системы нумерации (например, в мобильной связи). Могут быть и комбинированные открыто-закрытые системы нумерации. Например, в Москве при звонке в зону 495 нужно набирать семизначный номер, а при звонке в зону 499 — десятизначный [50].

4.2.2 Общегосударственная система автоматической телефонной связи

Общегосударственная система автоматизированной телефонной связи (ОГСТфС) предназначена для удовлетворения населения и предприятий в передаче сообщений пользователей как в пределах страны, так и выход на международную телефонную сеть [10].

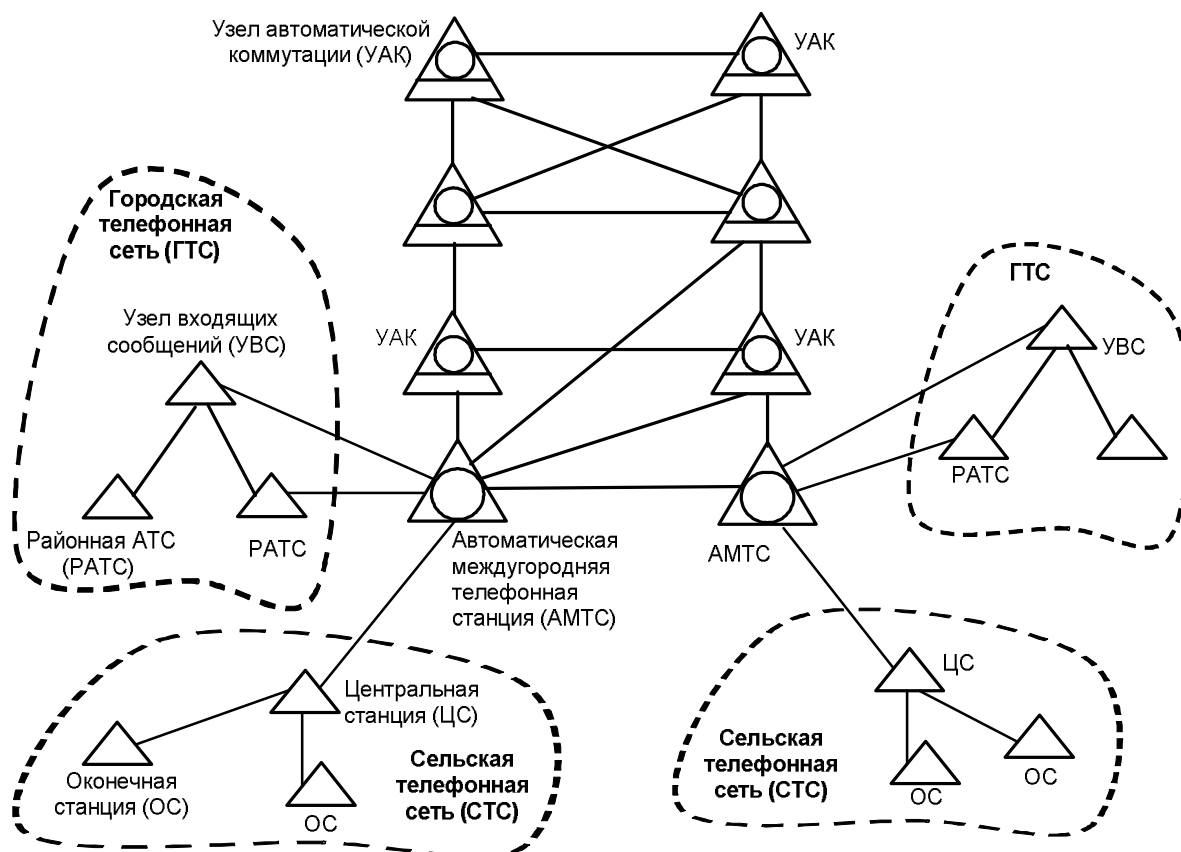


Рис. 4.3. Структурная схема ОГСТфС

Схема построения ОГСТфС показана на рис. 4.3 [21, 49].

ОГСТфС предоставляет два вида услуг [21]:

- 1) **услуги передачи информации** – передача речевых, факсимильных сообщений, электронной почты, передача данных;
- 2) **специальные услуги** – информационно-справочные, заказные, дополнительные.

Специальные услуги предоставляют службы сервиса автоматически или с помощью оператора. К службам сервиса относятся [21]:

- справочная местной телефонной сети;
- справочная точного времени;
- заказная междугородной телефонной сети (принимает заказы на междугородные и международные разговоры);
- справочная междугородной и международной сети;
- заказная ремонта местной телефонной сети.

Дополнительные услуги могут предоставляться общесетевыми службами или коммутационной системой, куда подключена линия абонента.

К ним относятся следующие услуги [21]:

- сокращенный набор номера;
- переадресация входящего вызова на другой аппарат;
- возможность получить справку во время разговора с одним из пользователей;
- конференц-связь.

4.2.3 Построение городских телефонных сетей

4.2.3.1 Нерайонированная городская телефонная сеть

Нерайонированная городская телефонная сеть (ГТС) – является простейшим вариантом ГТС, в которой имеется одна телефонная станция, куда включаются все абонентские линии (рис. 4.4) [21].

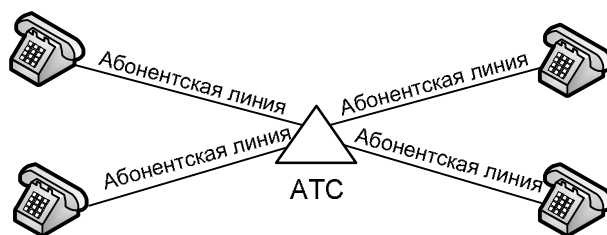


Рис. 4.4. Нерайонированная ГТС

Нерайонированные ГТС используются в городах с небольшой емкостью и обслуживаемой территорией. Нумерация в такой сети может быть [21]:

а) четырехзначная (если емкость АТС не превышает 10 000 номеров):

Т С Д Е,
номер АЛ

Т – номер тысячной абонентской группы;
С – номер сотенной абонентской группы;
Д Е – номер линии внутри сотенной группы.

В этом случае максимальная емкость сети 8000 номеров, так как в качестве первой цифры номера нельзя использовать цифры 0 и 8 (0, в дальнейшем 1 – выход на узел спецслужб; 8, в дальнейшем 0 – выход на АМТС).

б) пятизначная:

ДТ Т С Д Е,
номер АЛ

ДТ – номер десятитысячной абонентской группы;
Т – номер тысячной абонентской группы;
С – номер сотенной абонентской группы;
Д Е – номер линии внутри сотенной группы.

В этом случае в городских районах с высокой плотностью абонентов устанавливаются концентраторы, которые содержат часть коммутационного оборудования цифровой АТС.

Максимальная емкость нерайонированных ГТС – 80 000 номеров.

4.2.3.2 Районированная ГТС

При увеличении абонентской емкости и размеров обслуживаемой территории для уменьшения затрат на линейные сооружения целесообразно строить ГТС по принципу районирования. Территория города разбивается на районы. В каждом из районов размещается районная АТС (РАТС), в которую, как правило, включаются 10 000 абонентов этого района. РАТС соединяются между собой по принципу «каждая с каждой» (рис. 4.5) [21].

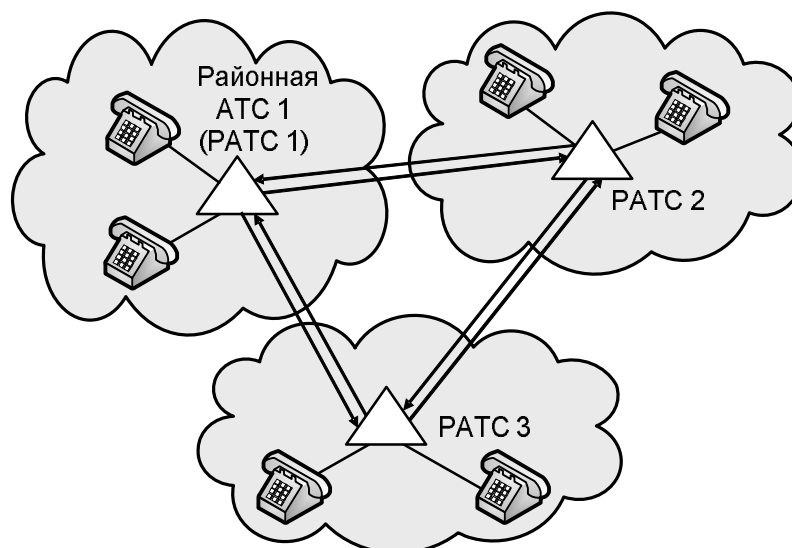


Рис. 4.5. Районированная ГТС

Максимальная емкость сети 80 000 номеров, так как в качестве первой цифры номера нельзя использовать цифры 0 (в дальнейшем 1) и 8 (в даль-

нейшем 0). Экономически целесообразная емкость сети 50-60 тыс. номеров. При таком построении ГТС капитальные затраты на линейные сооружения сокращаются за счет существенного уменьшения протяженности абонентских линий, имеющих низкий коэффициент использования и введения соединительных линий с высоким коэффициентом использования [21].

4.2.3.3 ГТС с узлами входящих сообщений

При большом числе районных АТС организация межстанционной связи по принципу «каждая с каждой» приводит к увеличению числа пучков соединительных линий, в которых понижается пропускная способность линий.

Одним из наиболее эффективных способов повышения использования межстанционных линий является применение на ГТС коммутационных узлов для концентрации нагрузки. При увеличении емкости свыше 50-60 тысяч номеров на ГТС используются узлы входящих сообщений (УВС) [21].

При таком построении сети территория города делится на узловых районы. Внутри узлового района РАТС связываются по принципу «каждая с каждой». Связь между РАТС разных узловых районов осуществляется через УВС (рис. 4.6).

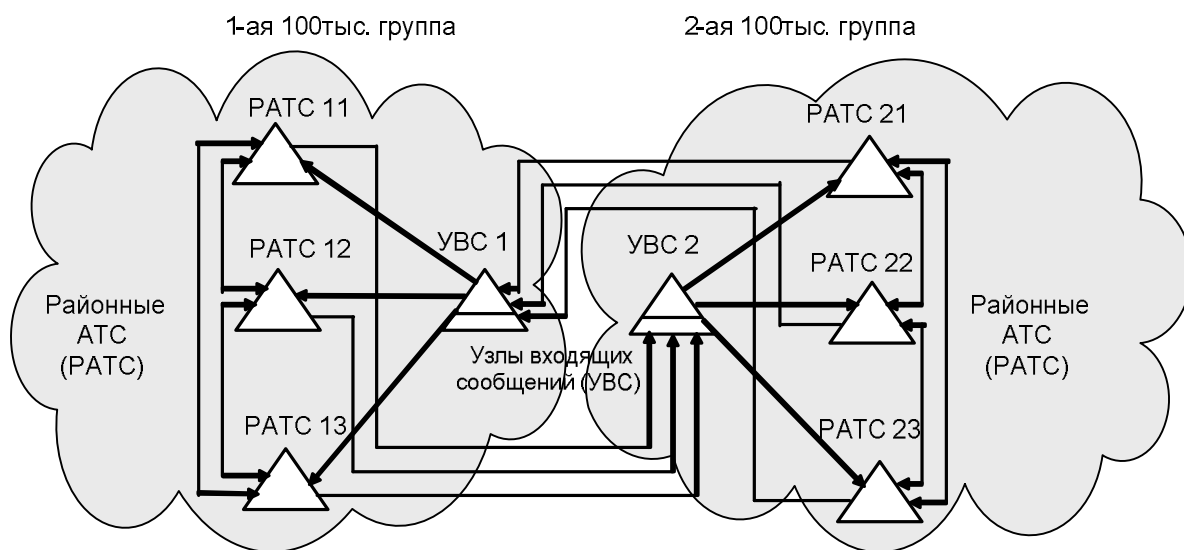


Рис. 4.6. ГТС с УВС

Нумерация в такой сети шестизначная:

И1	И2	Т С Д Е
код 100-тыс. гр. (код УВС)	код 10-тыс. гр. (номер РАТС в УВС)	номер АЛ
код РАТС на сети (код 10тыс. абонентской группы)		.

Максимальная емкость сети 800 000 номеров. Экономически целесообразная емкость 500-600 тыс. номеров [21].

4.2.3.4 ГТС с узлами исходящих сообщений

При емкости свыше 500-600 тыс. номеров даже при наличии на сети УВС количество пучков соединительных линий становится очень большим, а эффективность использования уменьшается.

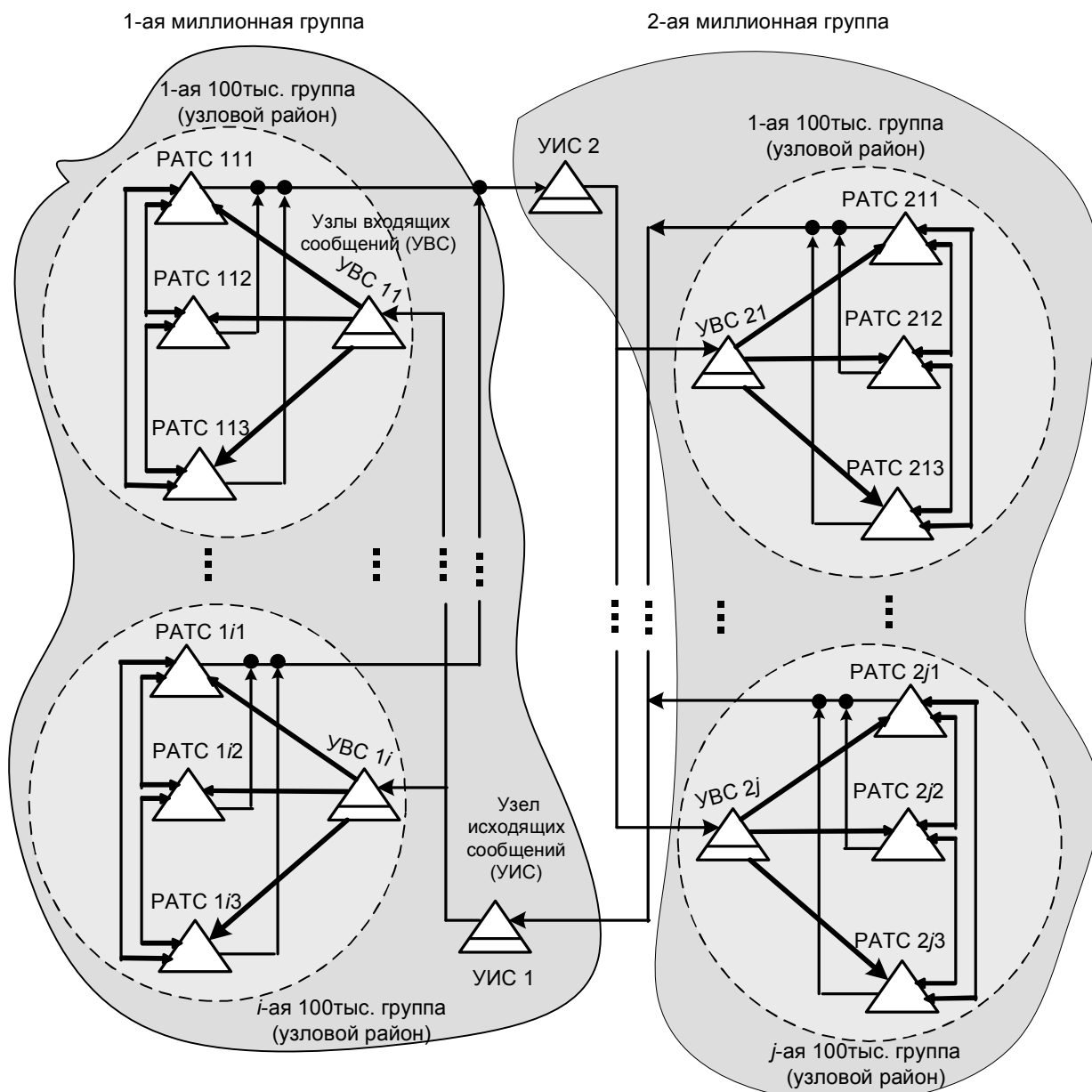
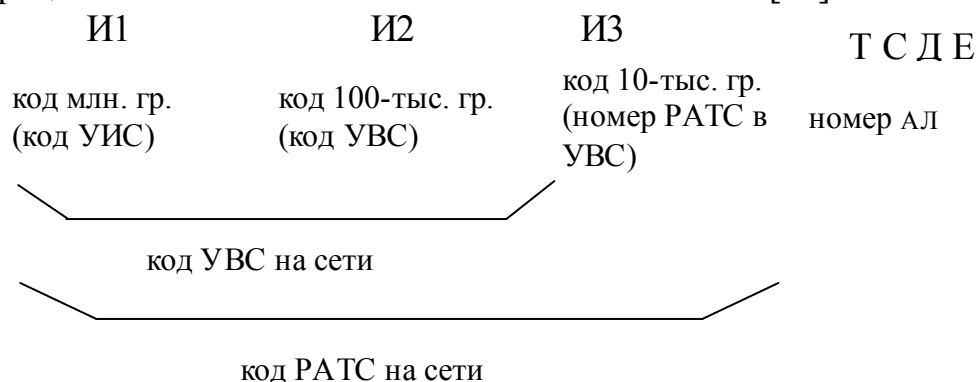


Рис. 4.7. ГТС с УИС и УВС

В этом случае сеть города разбивается на миллионные зоны. Может быть до восьми миллионных зон (так как 0 используется для соединения со спецслужбами, а 8 – для выхода на межгород и другие сети). Внутри, каждая миллионная зона делится на узловые районы емкостью до 100 тыс. номеров каждый (до 10 узловых районов). В каждом узловом районе располагается до десяти PATC с трехзначной нумерацией. Для установления соедине-

ний между РАТС разных узловых районов в каждом узловом районе вводят коммутационные узлы исходящих сообщений УИС, в которых объединяется исходящая нагрузка от других узловых районов, и распределяется по направлениям к УВС своего узлового района (максимально 10 УВС в узловом районе). Связь РАТС внутри узловых районов может осуществляться по принципу «каждая с каждой» или через УВС. Для связи с абонентами других узловых районов (своей и чужих миллионных зон) в каждом узловом районе имеются УИС, соединенные со всеми УВС миллионной зоны (рис. 4.7) [21, 50].

Нумерация в ГТС с УИС и УВС на сети семизначная [21]:



Максимальная емкость сети 8 000 000 номеров. Экономически целесообразная емкость 5-6 млн. номеров [21].

4.2.3.5 Особенности построения телефонных сетей крупных городов

Отдельной проблемой построения телефонных сетей является создание сетей крупных мегаполисов. Повсеместное внедрение цифровой коммутационной техники приводит к тому, что на узле коммутации могут сразу анализироваться несколько цифр абонентского номера (или все цифры).

Кроме того, появление новых систем передачи (в частности SDH), работающих на оптических кабелях и позволяющих проводить кроссовую коммутацию отдельных потоков, позволило создавать в мегаполисах мощные транспортные телефонные сети.

Например, при реконструкции Московской ГТС были построены 10 транспортных транзитных узлов (ТУ), которые соединены большими оптическими кольцами (рис. 4.8) [50].

Каждый ТУ напрямую соединен с двумя другими. В один ТУ включены несколько малых оптических колец, объединяющих АТС различных электромеханических систем или цифровые АТС. Соединение АТС в пределах зоны действия одного ТУ осуществляется через этот ТУ, а АТС, расположенных в зонах действия разных ТУ, – через несколько (максимально три) ТУ. При этом выход на АМТС и сети других операторов (сети мобильных операторов, сети провайдеров Интернета, интеллектуальные сети) осуществляется также через ТУ.

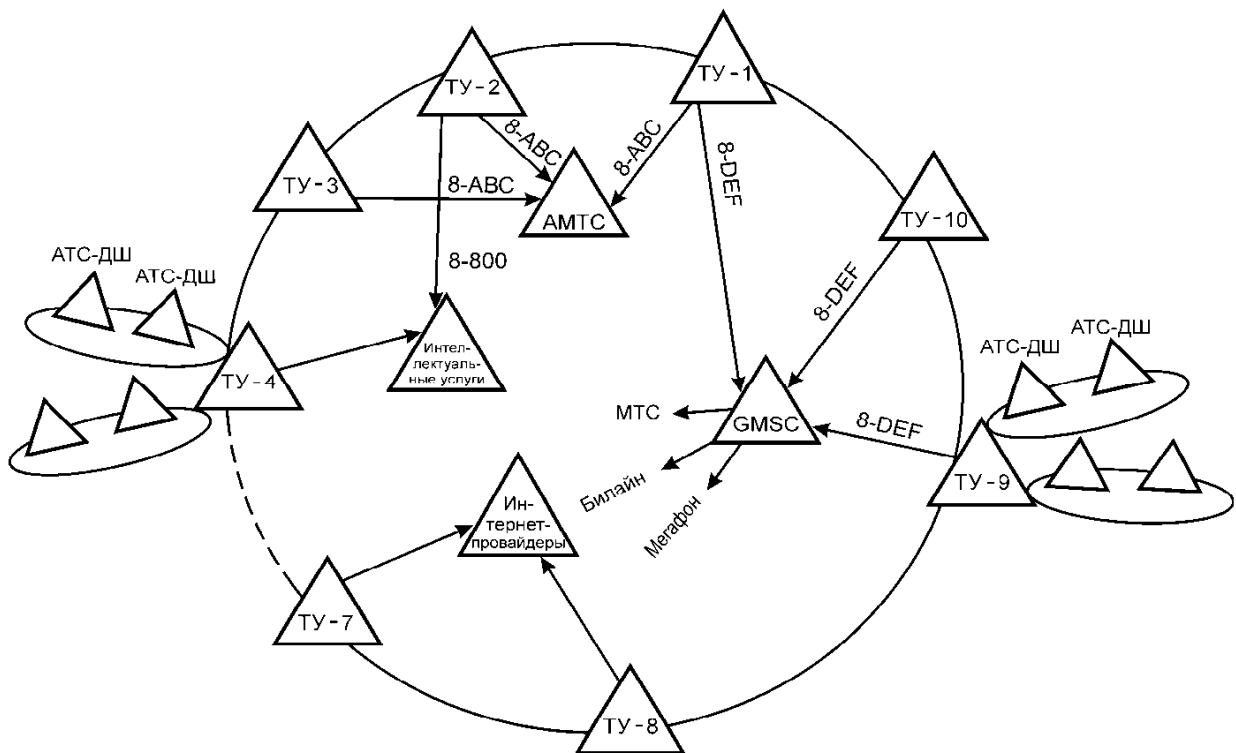


Рис. 4.8. Сеть ГТС г. Москвы [50]

Это позволяет объединять потоки и увеличивать надежность сети [50].

4.2.4 Построение сельских телефонных сетей

Различают следующие способы построения сельских телефонных сетей (СТС) [25, 50]:

- 1) *радиальный* (рис. 4.9,а);
- 2) *радиально-узловой* (рис. 4.9,б);
- 3) *комбинированный* (рис. 4.9,в).

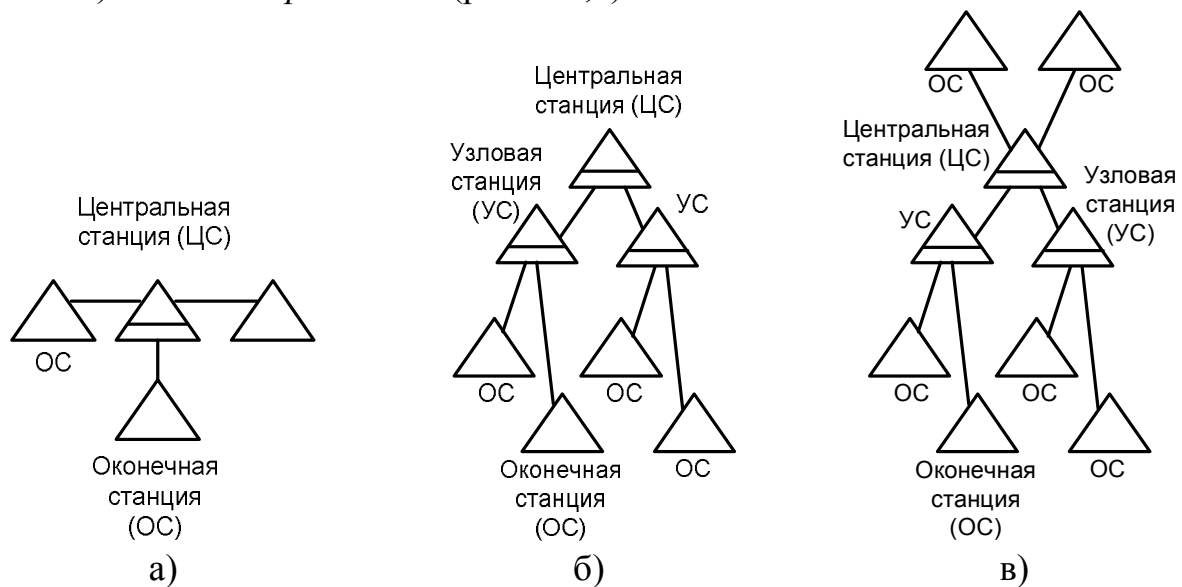


Рис. 4.9. Способы организации СТС [25]:

а – радиальный; б – радиально-узловой; в – комбинированный

Основой СТС является **центральная станция (ЦС)**, в которую включаются линии от вышестоящей автоматической междугородней телефонной станции (АМТС), соединительные линии от оконечных станций (ОС), а при радиально-узловом построении и от узловых станций (УС). Центральная станция устанавливается в районном центре и обычно имеет емкость до 1000-2000 номеров. **Узловые станции** концентрируют нагрузку от ОС и включаются в ЦС. **Оконечная станция** предназначена для подключения абонентов [25].

4.2.5 Внутрizonовые телефонные сети

Вся территория страны делится на зоны с единой системой нумерации. Как правило, территории телефонных зон совпадают с территориями областей и республик. Однако территории нескольких областей могут быть объединены в одну зону и, наоборот, одна область может быть разделена на две зоны. Крупные города с семизначной нумерацией выделяются в самостоятельные зоны [25].

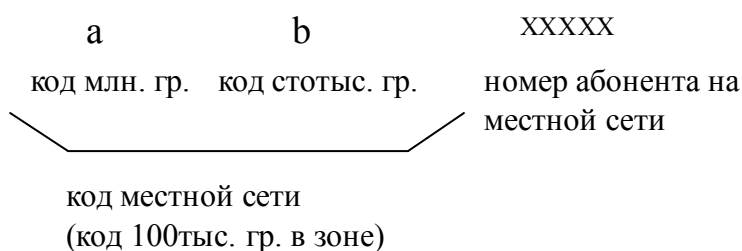
*Каждая внутрizonовая сеть включает в себя городские и сельские телефонные сети. Коммутационным центром зоны является **автоматическая междугородная телефонная станция (АМТС)**, через которую осуществляется выход на другие внутрizonовые сети, а также связь внутри зоны между местными станциями [25].*

Наиболее распространенным вариантом организации внутрizonовой сети является вариант с одной АМТС в зоне. В этом случае внутрizonовая сеть строится по радиальному принципу, где роль узла выполняет АМТС, которая также является оконечной станцией междугородной сети. В АМТС включаются центральные станции (ЦС) сельской сети и РАТС городской сети. РАТС соединяются с АМТС либо непосредственно, либо, через узлы городской сети (УИС и УВС).

Между местными сетями и АМТС имеются соединительные линии [25]:

- *исходящие* – **заказно-соединительные линии (ЗСЛ)** в направлении к АМТС;
- *входящие* – **соединительные линии междугородные (СЛМ)** от АМТС к местным сетям (на стороне городских АТС СЛМ заканчиваются на входах УВСМ).

Схема построения внутрizonовой телефонной сети показана на рис. 4.10 [25]. В пределах зоны нумерация семизначная [25]:



В качестве первой цифры **а** могут быть использованы любые цифры, кроме 0 (в дальнейшем 1) и 8 (в дальнейшем 0). В сотысячной группе номер пятизначный *x-xx-xx*. Так как число сотысячных групп в зоне нумерации не может превышать 80, то максимальная емкость внутрizonовой сети 8 млн. номеров [25].

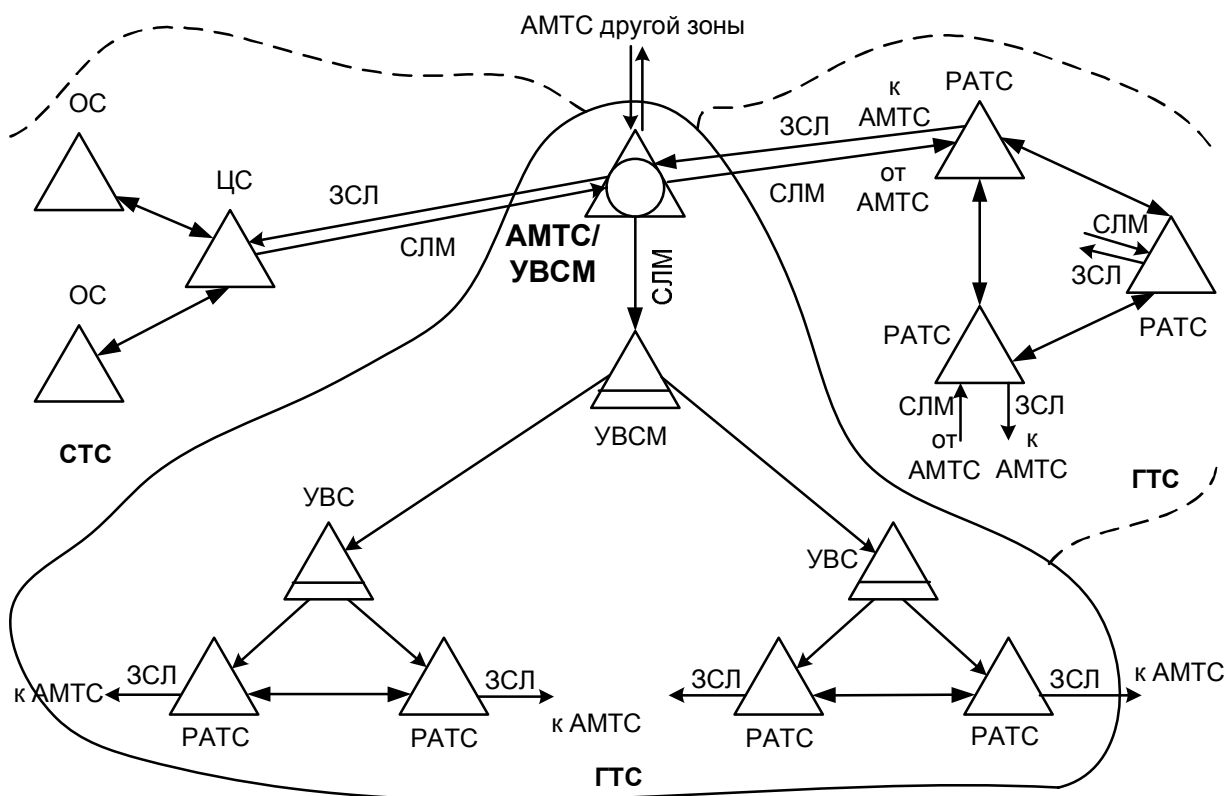


Рис. 4.10. Схема построения внутрizonовой телефонной сети

Порядок набора номера при внутрizonовой связи [25]:



4.2.6 Организация междугородной сети

Междугородная телефонная сеть предназначена для установления соединений между АМТС различных зонных сетей и включает АМТС зонных сетей, узлы автоматической коммутации первого класса (УАК 1) и второго класса (УАК 2), пучки телефонных каналов, связывающие станции и узлы между собой [25, 50].

АМТС являются оконечными станциями междугородной сети. На УАК устанавливаются только транзитные соединения [25].

Вся территория России разделена на зональные сети, имеющие семизначную нумерацию. На территории каждой зоны строится одна или несколько АМТС. Кроме областных центров пунктами размещения АМТС могут быть города, имеющие значительное телефонное тяготение к другим зональным сетям. Если на территории зоны имеется несколько АМТС, то они связываются между собой междугородными каналами по принципу «каждая с каждой».

Вся территория России разделена на восемь транзитных территорий, каждая из которых имеет УАК 1, расположенные в Москве, Санкт-Петербурге, Самаре, Ростове-на-Дону, Екатеринбурге, Новосибирске, Иркутске и Хабаровске (рис. 4.11) [50].

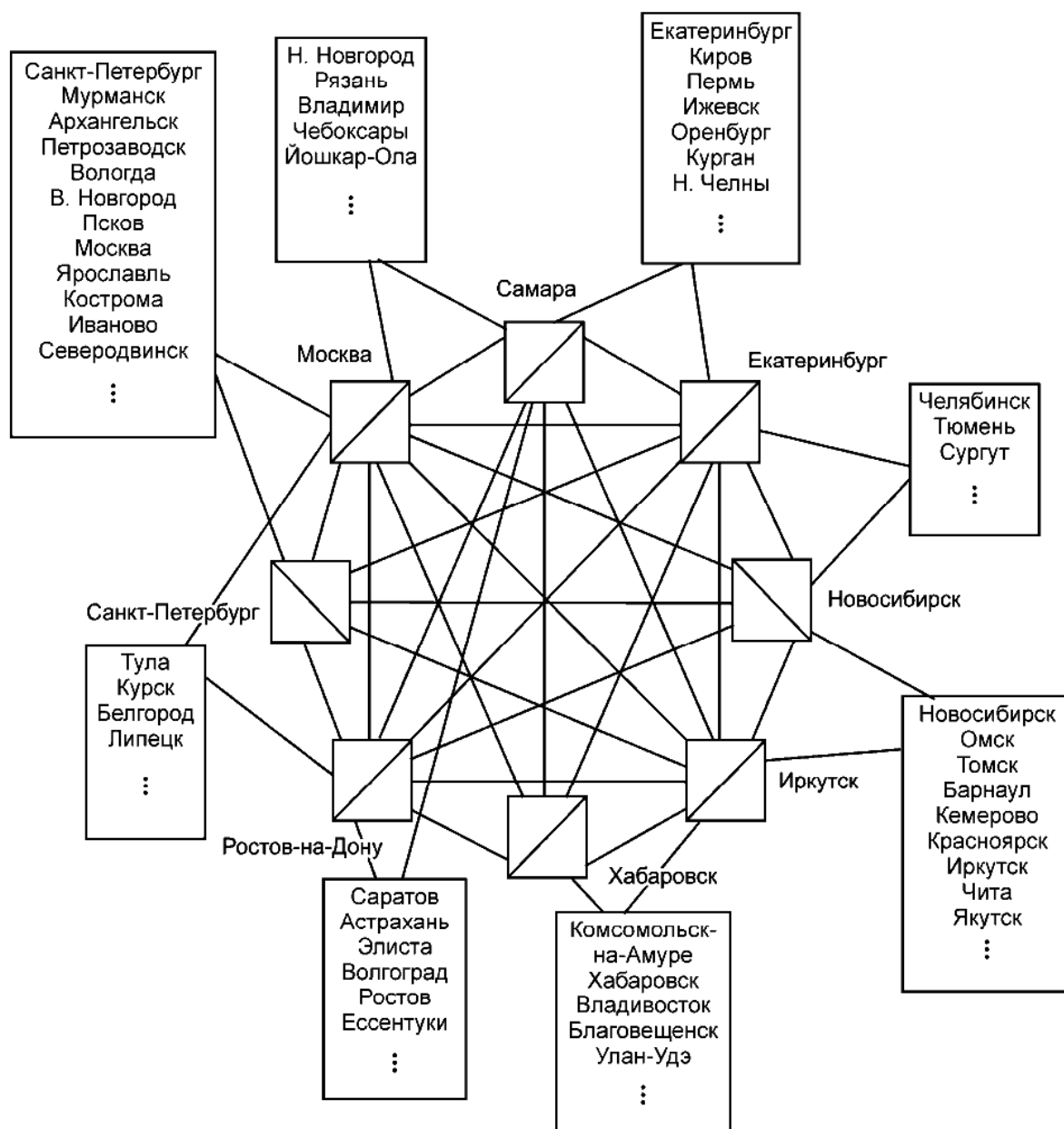


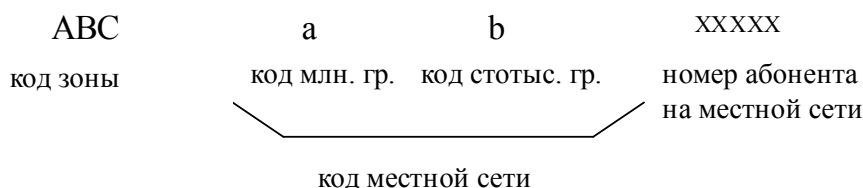
Рис. 4.11. Схема расположения УАК на телефонной сети России [50]

Все УАК 1 соединены между собой по принципу «каждый с каждым». Каждая АМТС, расположенная на транзитной территории, соединяется со

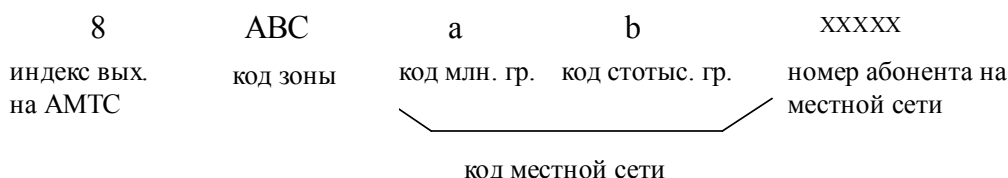
своим УАК 1 и еще одним УАК 1 междугородной сети либо напрямую, либо через УАК 2 пучками высокого качества. Узлы автоматической коммутации второго класса УАК 2 создаются при наличии технико-экономической целесообразности для замыкания нагрузки между группой АМТС одной транзитной территории и выхода к УАК 1 [25, 50].

Число УАК в соединительном тракте между двумя любыми АМТС не должно превышать четырех, т.е. в соединительном тракте на междугородной сети не быть более пяти коммутируемых участков. Самый длинный путь по числу коммутируемых участков (АМТС – УАК 2 – УАК 1 – УАК 1 – УАК 2 – АМТС) называется **путем последнего выбора** [25, 50].

Нумерация на междугородной сети десятизначная [25]:



Порядок набора номера при междугородной связи [25]:



4.2.7 Организация международной сети

Телефонная сеть общего пользования России является частью международной телефонной сети. *Международные телефонные сети согласно рекомендациям ITU-T строятся на базе центров автоматической коммутации трех классов: СТ-1, СТ-2, СТ-3. Все эти центры являются окончными международными станциями, а СТ-1 и СТ-2 выполняют и транзитные функции.* Центры коммутации СТ-1 построены в Москве, Нью-Йорке, Токио, Сиднее, Сингапуре и т. д. Зона действия СТ-2 объединяет, как правило, несколько стран, но может и совпадать с территорией страны или ее частью. Зона действия СТ-3, как правило, ограничена территорией одной страны [50].

Центры СТ-1 соединяются по принципу «каждый с каждым». Каждый центр СТ-1 соединяется со всеми СТ-2 своей зоны коммутации, а СТ-2, в свою очередь, связывается с СТ-3 своей зоны. При наличии достаточного телефонного тяготения между СТ любого класса организуются прямые пучки линий [50].

4.2.8 Перспективы развития ГТС

4.2.8.1 Стратегия перехода от аналоговых ГТС к цифровым

Преобразование аналоговых вторичных сетей в цифровые – актуальная задача для ТфОП России. *Возможны различные пути перехода от аналоговым сетям к цифровым. Для крупных сетей этот переход можно реализовать несколькими способами [21]:*

- замена всех аналоговых межстанционных линий цифровыми;
- замена всех аналоговых систем коммутации (АСК) цифровыми системами коммутации (ЦСК);
- создание цифровой сети с интеграцией обслуживания (ЦИО).

Другая стратегия перехода – внедрение «наложенной» цифровой сети, которая создается наряду с уже существующей аналоговой сетью. Такая стратегия позволяет минимизировать единовременные затраты, так как в момент ввода первых ЦСК возможно создание полностью цифрового участка сети, в пределах которого информация между абонентами может передаваться в цифровой форме. Кроме того, часть услуг цифровой сети смогут получать и абоненты аналоговой сети, благодаря специально организованному доступу к ресурсам наложенной сети. Варианты построения «наложенной» цифровой сети зависят от емкости и структуры существующей аналоговой сети [21].

При создании «наложенной» сети на аналоговой ГТС без узлов вновь вводимые АТС должны быть связаны со всеми РАТС данной ГТС цифровыми трактами с установкой оборудования аналогово-цифрового преобразования (АЦП) на стороне аналоговых АТС. При введении следующих станций необходимо решать вопрос рационального подключения данных станций к существующей ГТС. Возможны три основных способа подключения вновь вводимых РАТС [21, 50]:

- 1) организация прямых пучков соединительных линий между каждой цифровой и каждой аналоговой РАТС («каждая с каждой»);
- 2) использование ранее введенных в сеть цифровых РАТС в качестве транзитных станций для вновь вводимых станций. При этом связь вводимых РАТС с аналоговой ГТС будет осуществляться через транзитную станцию;
- 3) комбинированное решение, основанное на сочетании перечисленных ранее вариантов.

4.2.8.2 Структура цифровых ГТС

Цифровые АТС позволяют реализовать более экономичные структуры ГТС по сравнению с аналоговыми АТС. Основные особенности перспективных структур ГТС с цифровыми АТС (ЦСК, АТСЭ) следующие [21, 50]:

- широкое использование выносных концентраторов (часть аппаратно-программных средств ЦСК, приближенных к местам группо-

вания пользователей), что позволяет строить более гибкую сеть, сокращает протяженность абонентских линий и уменьшает затраты на управление и обслуживание;

- комбинированное использование оборудования АТС (РАТС, РАТС и УВС, УИВС, РАТС и УИВС, РАТС и АМТС и т. д.);
- возможность использования двухсторонних соединительных линий;
- применение обходных направлений;
- использование системы общеканальной системы сигнализации ОКС№7;
- предоставление абонентам значительного числа дополнительных видов обслуживания;
- создание на сети центров технической эксплуатации.

Структура цифровой сети может быть существенно упрощена по сравнению с аналоговой сетью. Это связано, прежде всего, с тем, что нет никаких жестких ограничений максимальной емкости ЦСК (количества абонентских и соединительных линий), какие существуют для аналоговых станций. Поэтому для построения цифровой сети заданной емкости требуется меньшее количество станций, чем для построения аналоговой сети.

Еще одно важное отличие цифровой сети от аналоговой – отсутствие ограничений на расстояние между станциями и узлами благодаря использованию систем передачи с ИКМ. Это позволяет строить цифровую ГТС как одноуровневую, т. е. без узлов. Станции такой сети могут быть связаны по принципу «каждая с каждой» ИКМ-трактами (рис. 4.12) [10, 21].

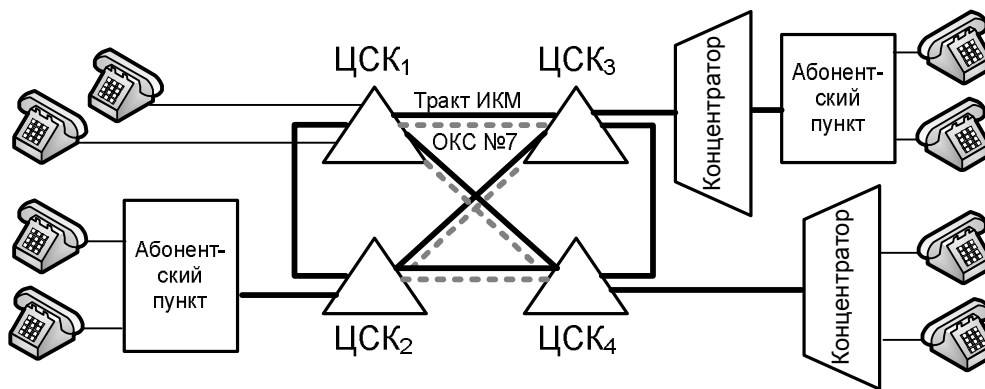


Рис. 4.12. Цифровая одноуровневая ГТС [21]

Станции могут использоваться как оконечные или как совмещенные (оконечные и транзитные). Для обмена сигнальными сообщениями при межстанционной связи в сети используется система общеканальной сигнализации ОКС №7. Данная система сигнализации является эффективным транспортным средством, передающим не только сигнальные сообщения пользователей, но и команды управления сетью и данные технической эксплуатации.

На цифровой ГТС широко используются концентраторы, так как это позволяет снизить затраты на абонентскую сеть (сеть доступа пользователей к цифровой сети) [21].

4.3 Организация телеграфной связи

4.3.1 Классификация телеграфных сетей

Общегосударственная телеграфная сеть, являющаяся вторичной сетью ЕСЭ, представляет собой низкоскоростную систему передачи буквенно-цифровой информации, объединяющую несколько коммутируемых сетей [20].

По масштабу охвата абонентов телеграфные сети классифицируют [20]:

- 1) телеграфная сеть общего пользования, предоставляющая услуги связи (передача телеграмм) населению, предприятиям, организациям через городские отделения связи или районные узлы связи;*
- 2) сеть абонентского телеграфирования, которая обслуживает учреждения с помощью оконечных телеграфных аппаратов, устанавливаемых непосредственно на их территории. Абонентский телеграфный аппарат (телетайп) представляет каждому абоненту возможность самостоятельно в удобное для него время связаться с другим абонентом сети для проведения переговоров или передачи телеграмм.*

Разновидностью абонентского телеграфа является система международного абонентского телеграфирования Телекс, которая объединяет абонентов более 100 стран мира. Существует и вторая сеть международного абонентского телеграфирования – Гентекс [20].

4.3.2 Принципы построения телеграфных сетей

*Телеграфные сети, предназначенные для передачи индивидуальных сообщений, имеют радиально-узловую структуру построения. При этом сеть состоит из **пунктов связи** и соединяющих их **каналов связи**. Пункты связи бывают оконечные и узловые [20].*

Телеграфные сети России имеют узловые пункты трех уровней [20]:

- районные узлы;*
- областные телеграфные узлы;*
- главные узлы зон.*

Все главные узлы сети связаны между собой по принципу «каждый с каждым». Особое место на телеграфной сети страны занимает Центральный телеграф города Москвы, который выполняет функции руководящего в оперативном отношении узла сети. Наиболее многочисленными пунктами сети являются оконечные пункты, в которых начинается и заканчивается процесс передачи каждого сообщения. Оконечные пункты связаны с узловыми абонентскими линиями связи. Связь между узловыми пунктами осущест-

вляется по телеграфным каналам, образуемым с помощью многоканальных систем передачи [20].

При радиально-узловом принципе построения сети все телеграммы в процессе передачи проходят узловые пункты. Промежуточных узлов на пути телеграмм может быть от одного до шести. Оконечные пункты, расположенные в одном районе, передают телеграфные сообщения через свой районный узел. Сообщения, передаваемые между окончными пунктами, расположенными на территории разных зон, проходят до шести промежуточных узлов.

На телеграфных сетях используются следующие способы передачи сообщений [20]:

1 *Способ коммутации каналов (КК)*. Он состоит из двух этапов. На первом этапе устанавливается прямая электрическая связь между окончными пунктами. Это делается обычными методами, применяемыми на телефонных сетях. Узловые пункты при этом выполняют электрическое соединение линейных цепей – коммутацию каналов. После того, как все промежуточные узловые пункты выполняют свои функции, к образовавшемуся составному (прямому) каналу подключается телеграфная аппаратура окончных пунктов. На втором этапе по образованной системе связи передаются телеграфные сообщения.

2 *Способ коммутацией сообщений (КС)*. В этом способе на всех узловых пунктах сети производится перебором телеграмм. Телеграмма, принятая от отправителя, передается из отделения связи на свой узловой пункт, где принимается и передается в следующий по трассе узел. То же самое происходит на всех остальных промежуточных узловых пунктах сети. Последний узел передает телеграмму в окончный пункт назначения, откуда она будет доставлена получателю.

3 *Смешанный способ передачи (КК+КС)*, когда используются одновременно оба способа передачи телеграфных сообщений, обладает достоинствами обоих способов.

Способ коммутации каналов используется на сети абонентского телеграфирования и в сети «Телекс», а смешанный способ передачи сообщений в настоящее время применяется на телеграфной сети общего пользования. Такая сеть получила название *сети прямых соединений*.

На магистральных и внутризоновых участках телеграфной сети сигналы передаются по каналам, получаемым путем вторичного разделения каналов ТЧ первичной сети ЕСЭ. Причем на внутризоновых участках сети используется каналообразующая аппаратура с ЧРК ТЧ с целью передачи 17 телеграфных сигналов и аппаратура с частотно-временным разделением на 44 сигнала [20].

На городских участках сети применяется каналообразующая аппаратура с ВРК ТЧ на 3, 6, 12 сигналов. В настоящее время в телеграфной сети быстрыми темпами внедряются автоматические станции коммутации сообщений.

Более оперативным видом документальной электросвязи является абонентский телеграф, благодаря тому, что оконечные телеграфные установки располагаются непосредственно у абонентов, а узлы абонентского телеграфирования работают по принципу коммутации каналов, обеспечивающему быстрое установление соединения между абонентами.

Схема абонентской телеграфной связи приведена на рис. 4.13 [20].

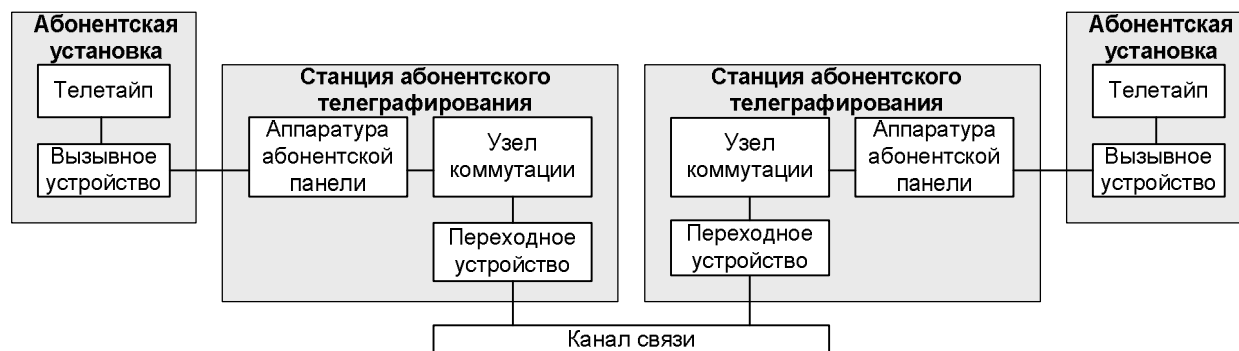


Рис. 4.13. Структурная схема абонентской телеграфной связи [20]

Оборудование оконечной установки сети абонентского телеграфирования аналогично оборудованию оконечного пункта телеграфной сети общего пользования. К абонентскому аппарату придается устройство автоответа, позволяющее принимать сообщения в случае отсутствия абонента.

Электрические сигналы между станциями абонентского телеграфирования передаются по дискретным каналам, которые образуются на основе типовых каналов ТЧ, при этом основная скорость передачи телеграфных сигналов составляет 50 бит/с, а максимальная скорость не превышает 200 бит/с [20].

В настоящее время происходит процесс перехода к электронно-механическим дисплейным телетайпам, построенным с применением микропроцессоров, запоминающих устройств. Это позволило создать автоматизированные сети абонентского телеграфирования. В обозримом будущем основные направления развития телеграфной сети заключаются в следующем [20]:

- 1 Для сокращения удельных затрат на транзит каждой телеграммы необходимо по мере снижения телеграфного трафика пересматривать структуру сети центров коммутации сообщений в целях ее оптимизации путем уменьшения количества центров и сокращения общего числа каналов между ними.

- 2 Объединение сетей абонентского телеграфирования и Телекс, позволяющее за счет использования уже существующих сетевых и абонентских средств развить службу Телекс, наиболее рентабельную из основных телеграфных служб.

- 3 Использование сетей передачи данных с коммутацией пакетов в качестве транспортной среды позволит, в первую очередь, на магистральных направлениях получить определенную экономию за счет снижения потреб-

ностей в арендуемых каналах, а также позволит в перспективе осуществлять телеграфный обмен без транзитных центров коммутации сообщений.

4.3.3 Телеграфные коды

Дискретные сообщения состоят из определенного количества (N) различных знаков. Для передачи на расстояние знаки сообщения преобразуются в электрические сигналы, на которые воздействуют электрические помехи. Это обстоятельство заставляет применить кодовый метод преобразования сообщения в сигнал. При этом каждый знак сообщения предварительно представляется комбинацией из двух элементов, условно обозначаемых «0» и «1». В результате этой операции, называемой кодированием, сообщения, представляющие собой определенную последовательность N различных знаков, превращаются в последовательность всего двух различных элементов (двоичных элементов).

Телеграфный код – N комбинаций необходимых для преобразования N знаков телеграфного сообщения [20].

В современных дискретных системах связи используются различные коды. Подавляющее большинство кодов являются двоичными.

Один из самых известных и старейших – код Морзе. Комбинации этого кода состояются из двух элементов, которые принято называть «точка» и «тире». Большинство современных телеграфных систем используют так называемые равномерные коды, комбинации которых содержат одинаковое количество двоичных элементов.

Для построения кода достаточно пронумеровать двоичными числами все N знаков сообщения. При этом для получения равномерности необходимо добавить к числам слева нули до получения n -элементных комбинаций. Построенные таким образом коды называются *простыми* [20].

Например, в системе Телекс используется двоичный международный телеграфный код N_2 (МКТ-2), который является пятиразрядным. С его помощью можно представить $n = 2^5 = 32$ знака. Этого недостаточно для представления всех букв, цифр, знаков препинания и некоторых специальных символов.

Поэтому возможности кода расширены введением двух дополнительных символов. Один из этих символов, которому соответствует кодовая комбинация 11111, называется буквенным регистром, а другой, которому соответствует комбинация 11011, – цифровым регистром.

Для передачи цифр, знаков препинания и некоторых других условных знаков используют те же кодовые комбинации, что и при передаче букв, но им предшествует передача дополнительной кодовой комбинации – цифрового регистра. По получении цифрового регистра приемник интерпретирует последующие кодовые комбинации как цифры. Для передачи букв после передачи цифр необходимо передавать буквенный регистр.

4.3.4 Оконечная телеграфная аппаратура

Передатчик телеграфной аппаратуры осуществляет преобразование сообщения в сигнал, а приемник – обратное преобразование сигнала в сообщение. Структурные схемы передатчика и приемника телеграфной аппаратуры представлены соответственно на рис. 4.14 и 4.15 [20]. Приемник и передатчик конструктивно объединяются в оконечный телеграфный аппарат.

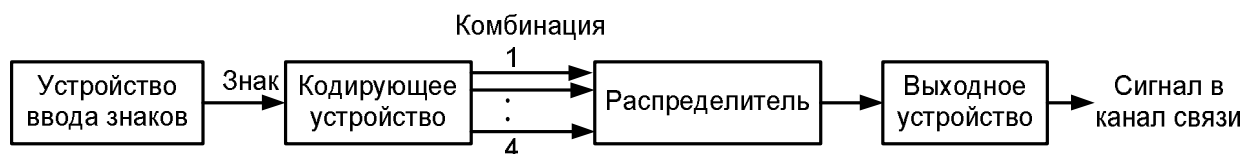


Рис. 4.14. Структурная схема передатчика телеграфной аппаратуры [20]

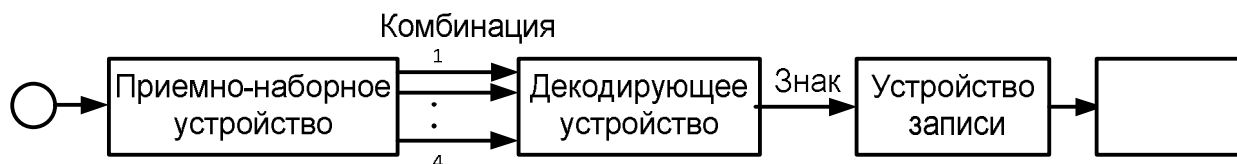


Рис. 4.15. Структурная схема приемника телеграфной аппаратуры [20]

Преобразование сообщения в сигнал происходит в два этапа [20].

- 1) *Кодирование*, в результате которого знаки сообщения превращаются в n -элементные кодовые комбинации. Первый этап преобразования выполняется кодирующим устройством, куда знаки подаются с помощью устройства ввода знаков.
- 2) *Преобразование комбинаций в сигнал и последовательная передача элементов сигнала (посылок) в канал связи*. Элементы комбинации одновременно подаются на распределитель, который поочередно и с определенной скоростью выдает двоичные элементы комбинации на выходное устройство для преобразования их в соответствующие посылки.

Обратное преобразование сигнала в сообщение выполняется приемником в три этапа [20].

- 1) *Последовательный прием и накопление элементов сигнала*. В результате образуется пространственная комбинация из n -двоичных элементов.
- 2) *Декодирование комбинации*, т.е. определение знака, соответствующего принятой комбинации.
- 3) *Запись знака на бумагу*.

4.3.5 Методы фазирования работы оконечной телеграфной аппаратуры

Передачик телеграфной аппаратуры формирует и передает сигнал, представляющий собой временную комбинацию электрических посылок определенной длительности, на приемник. Приемник последовательно принимает посылки, накапливает и составляет из них комбинации для дальнейшего преобразования в знаки.

Выполнение подобных функций требует согласованности работы передатчика и приемника по скорости, последовательности и фазе выполнения операций, т. е. синхронной и синфазной их работы [20].

Скорость телеграфирования и последовательность передачи посылок комбинации определяются распределителем передачи, а последовательность и скорость работы элементов приемника определяются распределителем приема. Следовательно, речь идет о синхронной и синфазной работе распределителей оконечных аппаратов.

По способу обеспечения синхронной и синфазной работы телеграфного оборудования различают [20]:

- *синхронную аппаратуру;*
- *стартстопную аппаратуру.*

В синхронной аппаратуре распределители передачи и приема работают непрерывно и циклично. Синхронность и синфазность работы распределителей синхронной аппаратуры поддерживаются с помощью специальных корректирующих сигналов, передаваемых по каналу от передатчика к приемнику вместе с информационным сигналом. Корректирующий сигнал несет информацию о скорости и фазе работы распределителя передачи, и за счет него происходит постоянная подстройка работы распределителя приема под распределитель передачи [20].

В стартстопной аппаратуре распределители также работают синхронно и синфазно. Они могут находиться в одном из двух состояний: «стоп» или «работа». В состоянии «стоп» передача отсутствует. В состоянии «работа» распределители работают с одинаковой скоростью. Скорость и фаза работы распределителей постоянно совпадают [20].

Основу главы 4 составляет материал работ [20, 21, 50], дополненный информацией из работ [48, 49, 51].

5 СЕТИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ТРАНСЛЯЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

5.1 Общие сведения о структуре и принципах планирования телевизионного вещания

5.1.1 Структура передающей сети телевизионного вещания

Сигналы телевизионных программ передаются абонентам в основном с помощью наземной телевизионной передающей сети, систем кабельного телевидения (СКТВ) и системы непосредственного телевизионного вещания, использующей связные искусственные спутники Земли, находящиеся на геостационарной орбите (ГСО), а также систем сотового телевидения и сети Интернет [20].

Наземная телевизионная передающая сеть состоит из телецентров, работающих совместно с радиотелевизионными передающими станциями (РТПС), телевизионных ретрансляторов и технических средств передачи ТВ сигналов на большие расстояния. Телецентры представляют собой комплексы радиотехнической аппаратуры и служб, необходимых для создания телевизионных программ. С телецентров сформированные телевизионные сигналы непосредственно передаются на РТПС [20].

Сеть телевизионного вещания Российской Федерации является одной из крупнейших в мире и охватывает до 98,8% населения (двумя программами – 96,4%, тремя – 65,2%, четырьмя и более – 31%). Эти показатели обеспечиваются комплексной сетью телевизионного вещания, включающей [20]:

- 334 радиотелевизионные передающие станции мощностью от 5 до 50 Вт, из них 294 могут передавать две и более программ;
- 7 тыс. ретрансляторов мощностью 1...1000 Вт (всего в стране эксплуатируется более 13 тыс. телевизионных передатчиков);
- около 300 000 км наземных, в основном радиорелейных, телевизионных каналов;
- 29 спутниковых телевизионных каналов на 14 ИСЗ;
- около 9 000 приемных телевизионных станций спутниковых систем коллективного типа.

Основное назначение телевизионных ретрансляторов является обеспечение равномерного покрытия густонаселенной территории телевизионным вещанием. Телевизионные ретрансляторы требуются, как правило, в двух случаях: во-первых, вне зоны уверенного приема основной мощности РТПС и, во-вторых, внутри зоны в местах, в которых по географическим причинам сигнал основной станции ослаблен и не обеспечивает удовлетворительного качества приема. Причем около 18 000 ретрансляторов имеют спутниковые приемные антенны.

Распределение сигналов телевизионных программ на большие расстояния по территории России осуществляется с помощью разветвленной сети

радиорелейных линий (РРЛ) и спутниковых систем связи. Причем наземная распределительная сеть в России включает в себя свыше 300 тысяч каналокилометров РРЛ.

Телевизионное вещание в России организовано по зональному принципу с поочередным повторением передачи центральных программ для каждой из пяти существующих зон со сдвигом во времени на два часа. Для организации телевизионного и звукового радиовещания с частотной модуляцией (ОВЧ ЧМ) выделены определенные полосы частот. С целью классификации выделенные для телевизионного вещания в стране полосы частот условно разбиты на пять частотных диапазонов, в которых может быть размещено 73 радиоканала [20]:

- I диапазон 48,5...66 МГц (радиоканалы 1 и 2);
- II диапазон 76...100 МГц (радиоканалы 3...5);
- III диапазон 174...230 МГц (радиоканалы 6...12);
- IV диапазон 470...582 МГц (радиоканалы 21...34);
- V диапазон 582...960 МГц (радиоканалы 35...82).

Радиоканалы первых трех частотных диапазонов соответствуют метровым волнам, а радиоканалы четвертого и пятого частотных диапазонов - дециметровым волнам.

Выбор нижней границы I диапазона определяется тем, что частотный диапазон примерно до 40 МГц практически полностью занят для целей радиовещания и радиосвязи и других радиослужб. Верхняя граница 5-го частотного диапазона ограничена длинами радиоволн, на которых начинают сказываться значительное их поглощение в атмосфере и влияние ее неоднородностей – дождя, тумана и т. д.

5.1.2 Планирование передающей телевизионной сети

Каждый радиоканал предназначается для передачи сигналов изображения и звукового сопровождения одной телевизионной программы. Ширина полосы частот радиоканала определяется используемым в РФ телевизионным стандартом, т. е. соответствует 8 МГц. В цифровом телевидении при использовании стандарта кодирования с информационным сжатием MPEG-2 по одному стандартному радиоканалу можно передавать до 8 телевизионных программ [20].

Исторически сама сеть телевизионного вещания в России и ее технические средства развивались в предопределении повсеместной трансляции трех-четырех программ центрального телевидения; существующие РТПС были построены в расчете именно на такую нагрузку. Подавляющее большинство типовых опор мощных РТПС в стране имеет высоту 180 м. Очевидно, что размещение большого числа передающих антенн на существующих опорах РТПС, является серьезной технической проблемой.

Частотные планы, в соответствии с которыми долгое время строилась передающая сеть наземного вещания, также были разработаны для обеспечения охвата двумя-тремя программами центрального вещания 98% населения

страны. Для реализации таких планов предназначались мощные (от 20 до 50 кВт) РТПС, которые строились на удалении нескольких десятков километров от областных центров и обеспечивали надлежащее качество приема и в самих областных центрах. В условиях уже сложившейся сети оказалось почти невозможно подыскать новые частотные каналы для передатчиков максимальной мощности подобных РТПС.

В лучшем случае удастся найти дополнительные частоты в диапазоне дециметровых волн для передатчиков мощностью 1...5 кВт. Но передатчики мощностью 1 кВт при высоте подвеса передающих антенн 125 м обеспечивают надлежащий уровень сигнала в зоне радиусом около 20 км. Следовательно, при их размещении на умеющихся областных РТПС в самих областных центрах уровень сигналов не будет достаточным для качественного приема телевизионных программ. По этой причине начата установка новых передатчиков непосредственно в центре некоторых городов европейской части России.

При определении значений основных параметров РТПС и выборе для нее частоты электромагнитная совместимость является основным критерием при выборе частот для организации вещания в каждом конкретном пункте.

Планирование передающей телевизионной сети заключается в определении места расположения РТПС и выборе их параметров (мощность передатчиков, высота подвеса антенн, частота излучения), чтобы обеспечивались удовлетворительные условия приема в заданной полосе без взаимных помех между телевизионными станциями. При этом следует иметь в виду, что телевизионные передающие станции и радиоретрансляторы большой мощности имеют радиус действия обычно 50...70 км, а ретрансляторы малой мощности излучают телевизионные сигналы в радиусе 10...20 км [20].

Наиболее экономичное планирование передающей телевизионной сети достигается в том случае, если телевизионные передающие станции размещаются по углам равностороннего треугольника (рис. 5.1). В этом случае каждый телевизионный передатчик, имеющий передающую антенну с круговой диаграммой направленности, обеспечивает возможность приема телевизионного сигнала на расстоянии $r < r_0$, где r_0 – средний радиус зоны прямой видимости.

Из рис. 5.1 видно, что для сплошного покрытия территории площадью S телевизионным вещанием с помощью нескольких телевизионных радиопередатчиков, имеющих одинаковый средний радиус зоны обслуживания r , расстояние между соседними телевизионными радиопередатчиками нужно выбирать из условия $r_n = \sqrt{3} r$. Число радиоканалов N_k , необходимых для обслуживания телевизионным вещанием всей территории площадью S составит $N_k = d^2 / 3r^2$ [20].

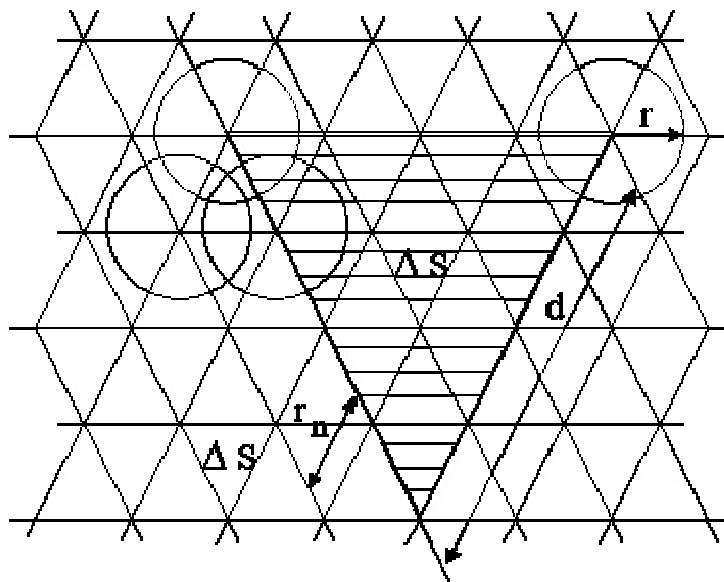


Рис. 5.1. Схема размещения телевизионных радиопередатчиков [20]

Таким образом, для уменьшения числа радиоканалов необходимых для охвата телевизионным вещанием заданной территории, надо уменьшить расстояние между передатчиками, работающими в одном радиоканале и увеличить радиус вещания каждой телевизионной станции.

5.2 Особенности передачи аналоговых телевизионных сигналов по радиорелейным линиям

Передача цифровых телевизионных сигналов по цифровым радиорелейным линиям, которые фактически являются мультисервисными, не отличаются от способов передачи других цифровых сигналов, например, данных. Однако в настоящее время для передачи на большие расстояния телевизионных сигналов достаточно широко еще используются аналоговые РРЛ.

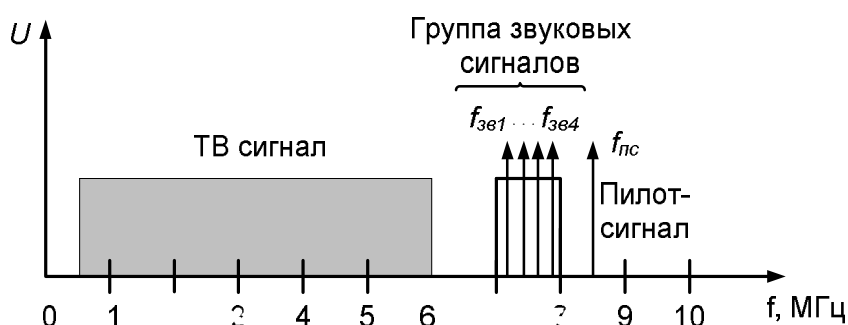


Рис. 5.2. Спектр частот сигналов в РРЛ типа «Курс» [20]

Наиболее распространен способ совместной передачи телевизионных и звуковых сигналов, базирующийся на их частотном уплотнении. Как правило, совместно с телевизионным сигналом предусматривается передача двух сигналов звукового сопровождения, например на двух языках, и двух

независимых сигналов звукового вещания. Звуковые сигналы передаются с помощью ЧМ поднесущих с девиацией частоты ± 150 кГц в диапазоне частот от 7 до 8 МГц (см. рис. 5.2). Для телеуправления резервированием аппаратуры и контроля ПРС в групповой сигнал телевизионного канала вводится пилот-сигнал на поднесущей частоте 8,5 МГц. На РРЛ используется ЧМ суммарного сигнала. Спектр шума в канале связи с ЧМ имеет форму, близкую к треугольной (рис. 5.3).

При этом в диапазоне частот сигналов цветности шумы достигают своего наибольшего значения и их мешающее действие на сигналы, несущие информацию о цветности, сильно возрастает. Поэтому для уменьшения влияния шумов на качество цветного изображения необходимо на передающем конце РРЛ связи увеличить размах сигналов цветности, а на приемном – соответственно уменьшить [20].

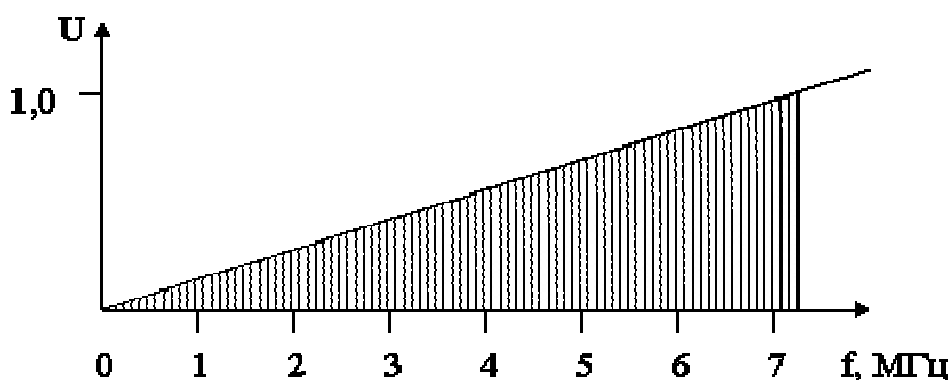


Рис. 5.3. Распределение тепловых шумов в канале связи с ЧМ [20]

Звуковые сигналы по РРЛ передаются с использованием двойной ЧМ. К достоинствам такого способа передачи следует отнести высокую помехоустойчивость звуковых сигналов и простоту схемного выполнения аппаратуры [20]. Нелинейность амплитудной характеристики телевизионного ствола РРЛ приводит к образованию высших гармоник и комбинационных составляющих спектров телевизионного сигнала и частотно-модулированных звуковых поднесущих.

Наиболее опасными являются комбинационные помехи от низкочастотных составляющих спектров телевизионного сигнала, главным образом от гармоник кадровой частоты. Эти помехи попадают в спектр частотно-модулированных звуковых сигналов и являются причиной переходных помех из канала изображения в звуковые каналы.

Значительная доля переходных помех в каналах звука образуется и от сигнала цветности, особенно при передаче сигналов, соответствующих желтым, зеленым и голубым цветам в телевизионном изображении. Из-за нелинейных искажений возникают импульсные переходные помехи в звуковых каналах в моменты времени, когда передаются эти сигналы (низкочастотная помеха типа «рокот»). Использование режекторных фильтров для подавления

сигналов цветовой синхронизации на 6 дБ уменьшает переходные помехи в каналах звука примерно на 6...15 дБ в зависимости от состояния РРЛ. При этом качество цветного телевизионного изображения остается неизменным [20].

5.3 Системы кабельного телевидения

5.3.1 Принципы построения систем кабельного телевидения

Системы кабельного телевидения (СКТВ) - системы приема и распределения значительного числа сигналов высококачественных телевизионных программ большому числу абонентов по кабельным линиям связи. В условиях многолучевого распространения радиоволн (в больших городах с разноэтажными зданиями, горных, холмистых районах) использование СКТВ является целесообразным техническим решением, позволяющим обеспечить высококачественный прием телевизионных программ.

Построение СКТВ ведется на базе трех основных структур [20]:

- 1) *древовидная;*
- 2) *радиальная;*
- 3) *кольцевая.*

Древовидная схема распределительной сети СКТВ, обеспечивающая экономное расходование кабеля, по своей структуре напоминает крону дерева.

Радиальная схема построения распределительной сети СКТВ предусматривает прокладку кабеля от головной станции (ГС) к каждому абоненту, по которому организуется передача телевизионных сигналов (схема подключения «звезда»). По конфигурации распределительная сеть СКТВ радиального типа аналогична телефонной сети, поэтому появляется возможность их объединения. Это позволяет организовать единую универсальную сеть двусторонней широкополосной связи с абонентами.

Для организации двустороннего обмена между абонентами может применяться **кольцевая схема** распределения телевизионных сигналов. В этом случае магистральный кабель прокладывается по кольцевой трассе, т. е. вход и выход кабеля заводится на ГС. При этом один и тот же магистральный кабель может использоваться для организации двусторонней связи. Основным недостатком СКТВ кольцевого типа заключается в невозможности одновременной передачи по магистральному кабелю достаточно большого количества различных телевизионных сигналов.

Конкретное техническое решение СКТВ во многом определяется типом используемых кабельных линий связи. В распределительных сетях современных СКТВ в основном применяются коаксиальные кабели. Однако в разрабатываемых СКТВ планируется широкое использование волоконно-оптических линий связи. Предполагается развитие комбинированных СКТВ в которых в качестве магистральных кабелей используются ВОЛС, а домовая распределительная сеть выполняется на коаксиальном кабеле.

В действующих СКТВ в основном применяется аналоговый способ передачи телевизионных сигналов, так как при длине распределительной сети в пределах нескольких десятков километров обеспечивается достаточная помехоустойчивость систем благодаря достаточно высокой помехозащищенности как коаксиального кабеля, так и ВОЛС.

Однако во вновь создаваемых СКТВ все чаще используется цифровой способ передачи телевизионных сигналов.

5.3.2 Способы построения систем кабельного телевидения на коаксиальном кабеле

5.3.2.1 Функциональная схема СКТВ на коаксиальном кабеле

Большинство действующих СКТВ имеет, как правило, древовидную схему распределительной сети. Для примера функциональная схема кабельной интерактивной телевизионной системы мультимедийного типа с древовидной распределительной сетью приведена на рис. 5.4 [20].

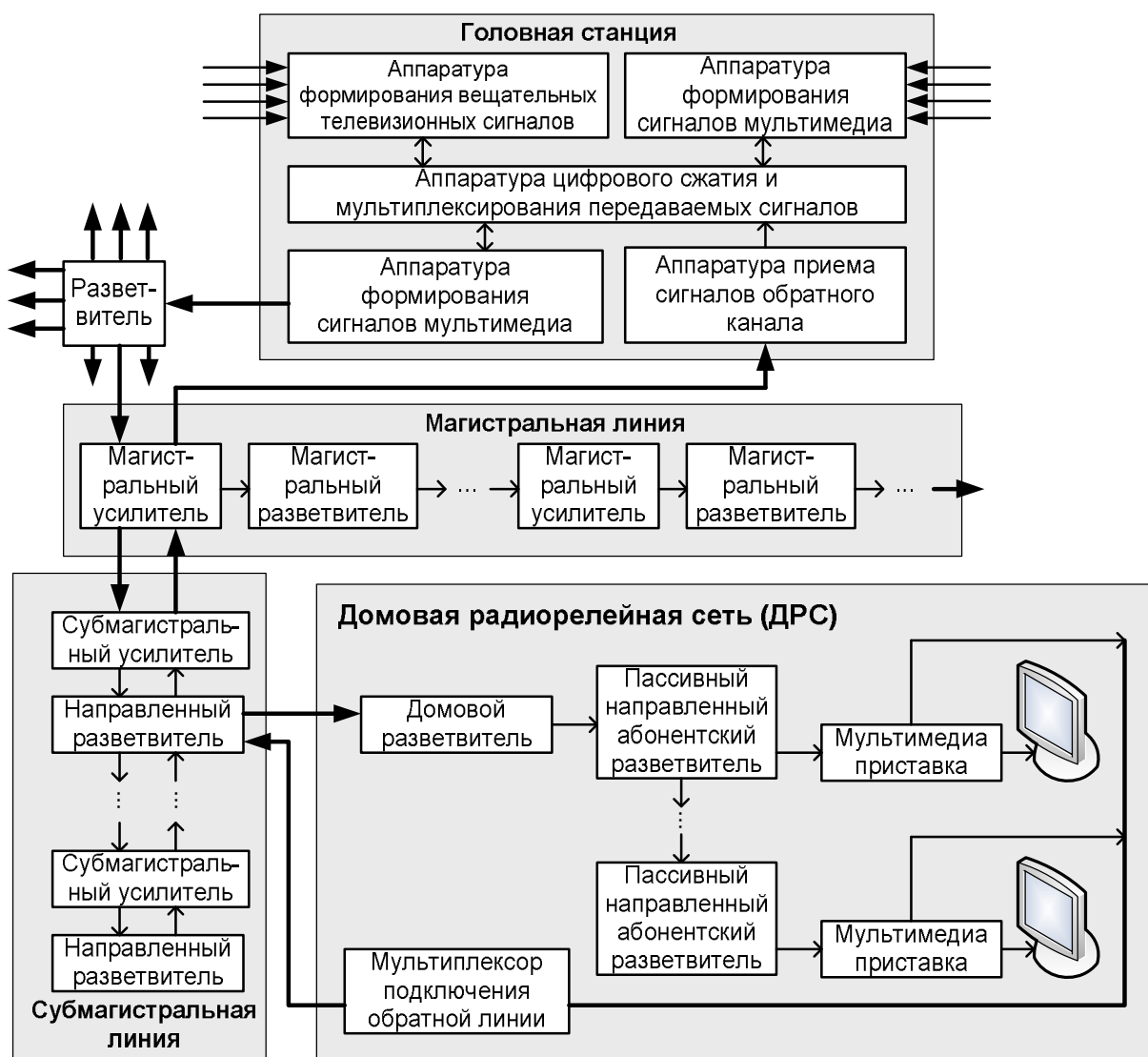


Рис. 5.4. Функциональная схема СКТВ мультимедийного типа с древовидной распределительной сетью и обратными каналами [20]

В состав головной станции (ГС), представляющей собой центральное оборудование системы, входят:

- аппаратура формирования вещательных телевизионных сигналов;
- аппаратура формирования сигналов мультимедиа;
- аппаратура цифрового сжатия и мультиплексирования передаваемых сигналов;
- процессор сигналов телевидения и мультимедиа.

На устройство формирования телевизионных сигналов поступает совокупность сигналов программ спутникового телевидения, сигналы программ эфирного телевидения, а также сигналы от локальных телевизионных студий, обслуживающих местные СКТВ.

На устройство формирования сигналов мультимедиа поступают информация из банка данных компьютерной сети, информация из специализированной видео-библиотеки, сигналы с факс-модемов телефонной и сотовой сети, сигналы специальных видеопрограмм для дистанционного образования, сигналы звуковых программ. На ГС осуществляется формирование непосредственно передаваемых для абонентов сигналов телевидения и мультимедиа.

С помощью разветвителя от ГС отходят несколько магистральных линий, состоящих из однотипных кабельных участков, магистральных усилителей, магистральных ответвителей. От магистральных линий отходят субмагистральные линии, содержащие однотипные кабельные участки, субмагистральные усилители, направленные ответвители. Наконец, от субмагистральных линий ответвляются кабели домовой радиорелейной сети (ДРС), содержащей домовые усилители и пассивные направленные абонентские разветвители, с помощью которых осуществляется подключение абонентских терминалов, содержащих мультимедиа-приставку и абонентский телевизор.

Ввод «обратных» сигналов от абонентов в коаксиальный кабель осуществляется с помощью мультиплексоров обратной линии ДРС, которые устанавливаются в местах подключения ДРС к субмагистральному кабелю, а также субмагистрального кабеля к магистральному. Совокупность данных мультиплексоров обеспечивает схему множественного доступа с временным разделением для «обратных» сигналов абонентов. В данном случае в ГС для приема «обратных» сигналов имеется специальное приемное устройство, обеспечивающее обработку информации от абонентов, поступающей по магистральным линиям распределительной системы [20].

Для передачи «обратных» сигналов можно применять квадратурную амплитудную модуляцию типа 64-QAM, позволяющую достичь эффективности использования спектра частот порядка 4,5 бит/с/Гц. При этом максимальная суммарная скорость передачи обратной информации от всех абонентов СКТВ может составлять 180 Мбит/с, однако для передачи широкополосных сигналов пропускная способность «обратных» каналов является недостаточной [20].

5.3.2.2 Частотный план сетей кабельного телевидения

Частотный план кабельных телевизионных сетей нормируется в ГОСТ 28324-89. В целом, прямой канал СКТВ находится в диапазоне частот 47...862 МГц, по нему передается входящий трафик в направлении к абонентам. Полоса пропускания прямого канала делится на две части [20]:

- полоса частот для вещательного телевидения (47...606 МГц), в которой услуги, не требующие непосредственной обратной связи с абонентом, предоставляются всем без исключения абонентам;
- полоса частот для интерактивных услуг (606...862 МГц) предназначена для телекоммуникационных интерактивных услуг, требующих обратной связи с абонентом.

Обратный канал древовидных СКТВ лежит в области 5...40 МГц, по нему передается исходящий трафик от абонентов. Наличие обратного канала необходимо для организации интерактивного кабельного телевидения. Именно по нему абоненты обращаются к головной станции и через головную станцию друг к другу [20].

За счет использования данного канала абоненты СКТВ смогут дополнительно получить доступ к различным базам данных для обмена цифровой информацией. Возможно подключение абонентов и к различным разветвленным системам сигнализации: пожарной, охранной, экстренного вызова медицинской помощи и т. д. Для распределения радиосигналов вещательных телевизионных программ в кабельных распределительных сетях современных СКТВ допускается, наряду с радиоканалами в 1...3 диапазонах частот, дополнительное использование частотных диапазонов 110...174 и 230...300 МГц.

В данных полосах частот, не применяемых для эфирного телевизионного вещания, предусмотрена организация 16 специальных радиоканалов для распределения телевизионных сигналов со следующим частотным распределением: СК–1 110...118 МГц; СК–2 118...126 МГц; СК–3 126...134 МГц; СК–4 134...142 МГц; СК–5 142...150 МГц; СК–6 150...158 МГц; СК–7 158...166 МГц; СК–8 166...174 МГц; СК–11 230...246 МГц; СК–12 238...246 МГц; СК–13 246...254 МГц; СК–14 254...262 МГц; СК–15 262...270 МГц; СК–16 270...278 МГц; СК–17 278...286 МГц; СК–18 286...294 МГц. Для приема ТВ сигналов, передаваемых в специальных радиоканалах, перед входами стандартных телевизоров необходима установка частотных преобразователей, т. е. конверторов [20].

В действующих СКТВ максимально возможное число организуемых телевизионных радиоканалов соответствует 20 при полосе пропускания распределительной сети от 40 до 230 МГц, 28 – при полосе частот 40...294 МГц. Однако на практике из-за ограничений на возможность совместного усиления и передачи телевизионных сигналов ввиду недостаточной избирательности телевизоров по соседним каналам максимально возможное количество используемых радиоканалов снижается более чем в 2 раза, т. е. приходится чередовать «рабочие» и «нерабочие» каналы [20].

В последние годы в ряде стран эксплуатируются СКТВ, позволяющие распределять телевизионные сигналы не только в диапазоне метровых волн, но и в диапазоне дециметровых волн (ДЦВ). Это поколение аппаратуры СКТВ использует в распределительной сети рабочие частоты в интервале 5...600 МГц (с учетом обратного канала) [20].

5.3.3 Особенности систем кабельного телевидения на основе волоконно-оптического кабеля

5.3.3.1 Способы построения волоконно-оптических СКТВ

По распределительной сети СКТВ, выполненной с использованием ВОЛС, телевизионные сигналы могут передаваться за счет использования частотного уплотнения.

Частотное уплотнение ВОЛС возможно двумя способами [20]:

- 1) с помощью набора несущих частот с модуляцией каждой несущей частоты своим телевизионным сигналом;
- 2) посредством формирования полного многоканального сигнала с частотно-уплотненными каналами на относительно низких частотах с последующим переносом уже сформированного сигнала на оптическую несущую.

Однако первый способ в настоящее время в оптическом диапазоне практически не может быть реализован из-за отсутствия необходимого набора оптических генераторов и фильтров разделения каналов; для реализации второго способа требуются широкополосные ВОЛС на одномодовых оптических волокнах (ОВ).

Чрезвычайно малые размеры поперечного сечения и масса ОВ делают выгодным использование пространственного уплотнения телевизионных сигналов (телевизионному сигналу каждой программы отводится свое ОВ в ВОЛС).

Целесообразность применения этого метода объясняется еще и тем, что требуемая ширина полосы частот каждого из каналов, организованных на одиночном ОВ, относительно невелика (порядка 6...8 МГц) и ее легко реализовать не только на градиентных, но даже на ступенчатых волокнах. В данном случае по каждому ОВ рассматриваемой ВОЛС СКТВ предполагается передавать аналоговый телевизионный сигнал, сигнал звукового сопровождения ЧМ поднесущей, расположенной за пределами видеоспектра, и служебный цифровой сигнал (для передачи данных) на второй поднесущей, расположенной еще выше по шкале частот.

При использовании принципа пространственного уплотнения суммарный сигнал, включающий в себя телевизионный, звуковой и служебный сигналы, модулирует оптическую несущую, которая может быть одинаковой для всех ОВ кабеля. В будущем при переходе на ОВ с лучшими показателями по затуханию и широкополосности для уменьшения количества ОВ в ВОЛС при передаче телевизионных сигналов большого числа различных программ ста-

нет целесообразным формирование для каждого ОВ многоканального сигнала с частотно-уплотненными телевизионными сигналами нескольких программ [20].

На ГС от приемных антенн или по специальным линиям связи поступают телевизионные сигналы различных программ, а также телевизионные сигналы от абонентов. Кроме того, ряд программ может формироваться непосредственно самой ГС, например, с помощью видеомагнитофона, телекинодатчика, телевизионного синтезатора знаков.

Магистральные и субмагистральные ВОЛС должны соединить несколько десятков ОВ, которые используются в основном для передачи телевизионной информации от ГС к абонентам, однако часть волокон предназначается для передачи видеоинформации от абонентов к ГС. Видеокоммутаторы служат для подключения абонентского оборудования к соответствующему ОВ субмагистральной ВОЛС с целью выбора требуемой телевизионной программы.

ЭВМ видеокоммутатора связана как с ЭВМ ГС, так и с клавиатурными и оконечными управляющими устройствами, находящимися непосредственно у абонентов, и станциями для подачи команд на выбор телевизионных программ. ЭВМ управляет подачей абоненту телевизионного сигнала выбранной программы по команде, поступающей от абонента, а также передачей видеоинформации, формируемой у абонентов, в ГС. От видеокоммутатора через блок оптических соединений отходят абонентские линии, содержащие два ОВ. По одному ОВ передается телевизионный сигнал выбранной программы, по другому – телевизионная информация от абонентов в видеокоммутаторы [20].

Недостатками такой схемы построения СКТВ на ВОЛС являются необходимость использования электронных коммутаторов для подключения абонентских отводов к тому ОВ, по которому передается телевизионный сигнал выбранной программы, а также техническая сложность осуществления большого количества разветвлений и отводов телевизионных сигналов от ОВ.

5.3.3.2 Особенности модуляции и демодуляции ТВ-сигналов, передаваемых по ВОЛС

В современных ВОСП телевизионные сигналы могут передаваться как в цифровой, так и в аналоговой форме. Цифровой способ передачи требует аналого-цифрового и цифроаналогового преобразований и значительно более широкой полосы пропускания (более 100 МГц на один телевизионный сигнал). В настоящее время цифровой способ практически может быть применен только на магистральных линиях распределительной сети.

Непосредственная модуляция мощности оптического излучения или модуляции интенсивности представляет собой наиболее простой в реализации способ передачи при использовании полупроводниковых оптических излучателей. Однако при передаче телевизионных сигналов по ВОЛС методом

непосредственной модуляции оптической несущей по интенсивности трудно обеспечить низкий уровень нелинейных искажений (менее 2%) телевизионного сигнала при большом (более 50 дБ) отношении сигнал–шум, которое, в первую очередь, зависит от глубины модуляции. С ростом глубины модуляции возрастают и нелинейные искажения [20].

Способом модуляции, обеспечивающим эффективное использование частотного спектра, является амплитудная модуляция с частично подавленной боковой полосой (АМ-ЧПБ). При таком способе модуляции сигналы представлены в виде, в котором они обрабатываются абонентскими телевизорами без каких-либо дополнительных устройств.

ЧМ несущей с последующей модуляцией мощности оптического излучения обеспечивает повышение отношения сигнал – шум по сравнению с АМ, но требует более сложной аппаратуры (ЧМ модуляторов и демодуляторов). При этом снижаются требования к линейности модуляционной характеристики, благодаря чему может допускаться большая глубина модуляции, чем при АМ, а, следовательно, увеличиваться предельная дальность передачи. Системы с ЧМ телевизионных сигналов в основном применяются на магистральных линиях.

В распределительных сетях СКТВ системы передачи с ЧМ телевизионных сигналов использовать нецелесообразно из-за их сложности. В этом случае абонентские телевизоры дополнительно оборудуются специальными селекторами ЧМ сигналов, осуществляющими демодуляцию, т. е. преобразование ЧМ телевизионных сигналов в АМ сигналы. Частотный разнос между передаваемыми телевизионными сигналами составляет 40 МГц. Многоканальные системы передачи телевизионных сигналов с ЧМ также не являются перспективными для СКТВ на ВОЛС, так как им присущи практически те же недостатки, что и системам с АМ [20].

Более перспективно в СКТВ применять сложные виды модуляции с использованием импульсного режима работы оптических излучателей, при котором допускается большая глубина модуляции. Поэтому представляет интерес использование в СКТВ помехоустойчивых аналого-импульсных методов модуляции, к числу которых, в первую очередь, относятся широтно-импульсная модуляция (ШИМ), частотно-импульсная модуляция (ЧИМ).

Особенно перспективным является применение ЧИМ, приближающейся по своим параметрам к ЧМ, тем более что данный переход достаточно просто технически реализуется. ЧИМ позволяет использовать наиболее дешевые элементы волоконно-оптической техники, устройства цифровой техники и обеспечивает качество передачи, мало уступающее цифровым методам, но превосходит их по простоте и стоимости. В будущем системы передачи с ЧИМ полностью перейдут на применение цифровой техники [20].

В настоящее время цифровой способ применяется на супермагистральных волоконно-оптических линиях, связывающих, например, две ГС различных СКТВ или ГС с местным телецентром. Примером цифровой волоконно-оптической системы передачи для СКТВ является аппаратура «Телебит-4», предназначенная для передачи со скоростью 486 Мбит/с по ОВ на длине волн

1,3 мкм четырех телевизионных сигналов с использованием восьмиразрядного композитного кодирования сигналов системы SECAM-III с частотой дискретизации 13,5 МГц и девяти стереосигналов звукового сопровождения с использованием четырнадцатиразрядного кодирования с частотой дискретизации 48 кГц.

Для улучшения качественных характеристик СКТВ предусмотрено использование десятиразрядного композитного кодирования видеосигнала с частотой дискретизации до 20 МГц и шестнадцатиразрядного кодирования звуковых сигналов с частотой дискретизации 96 кГц [20].

5.3.4 Цифровые сети интерактивного кабельного телевидения

5.3.4.1 Особенности передачи цифровых сигналов по сетям кабельного телевидения

Волоконно-оптическая технология позволяет создавать интерактивные широкополосные сети, с передачей информации в полностью цифровом виде. В правильно спроектированной кабельной сети отношение сигнал-шум должно быть не ниже 43 дБ. При этом полоса частот каналов кабельной сети составляет 8 МГц, что обуславливает применение для цифровой передачи многопозиционной модуляции, например, такой, как QAM. Более высокое отношение сигнал-шум снижает вероятность ошибок и позволяет обойтись одной ступенью помехоустойчивого кодирования. Однако для исключения пакетных ошибок в процессе канального кодирования используется перемежение.

Структурная схема кодера стандарта DVB-C, используемого в цифровых кабельных сетях, показана на рис. 5.5 [20].

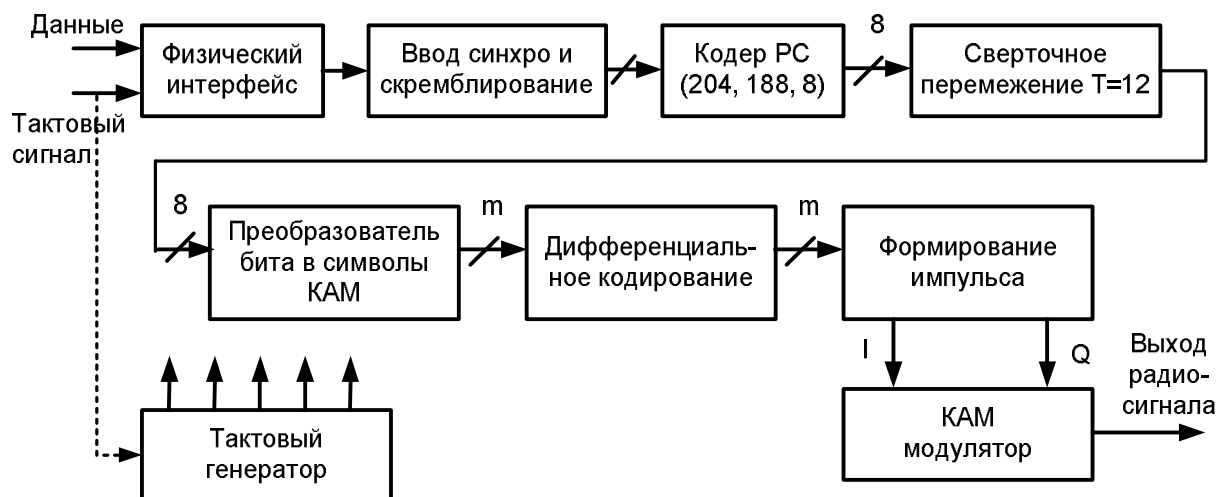


Рис. 5.5. Структурная схема кодера стандарта DVB-C [20]

Источником входного сигнала, как и в других кодерах семейства DVB, служит транспортный поток MPEG-2 с пакетами размером 188 байтов. В скремблере пакеты организуются в группы по 8, синхробайт каждого первого пакета из группы инвертируется и служит в дальнейшем для цикловой

синхронизации. Скремблирование, как и в стандарте DVB-S, осуществляется сложением по модулю 2 с псевдослучайной последовательностью (ПСП), порождаемой многочленом $g(x)=x^{15}+x^{14}+1$. На период следования каждого синхробайта скремблирование прерывается.

Учитывая относительно высокое отношение сигнал-шум, внутреннее кодирование не используется, а в качестве вида модуляции принята квадратурная амплитудная модуляция, от QAM-16 до QAM-256. Дополнительное повышение помехоустойчивости достигается относительным кодированием двух старших битов каждого байта с выхода перемежителя [20].

5.3.4.2 Функциональная схема цифровой мультисервисной сети кабельного телевидения

Обобщенная схема цифровой мультисервисной сети кабельного телевидения приведена на рис. 5.6 [20].



Рис. 5.6. Функциональная схема цифровой мультисервисной сети кабельного телевидения интерактивного типа [20]

Головная станция осуществляет прием как аналоговых, так и цифровых эфирных телевизионных сигналов, конвертирование в соответствии с частотным планом, преобразование аналоговых сигналов в цифровые стандарта DVB-C и передачу цифровых телевизионных сигналов в распределительную кабельную сеть. В дополнение к этому одна из спутниковых антенн обеспечивает прием цифровых телевизионных программ в стандарте DVB-S.

Для реализации интерактивного режима в состав головной станции входит аппаратура доступа, содержащая оптоэлектронный преобразователь, стационарный кабельный модем (СКМ), кабельный контроллер [20].

Распределительная кабельная сеть с обратным каналом обеспечивает передачу цифровых телевизионных программ и данных по прямому каналу (в диапазоне 47,5...862 МГц) и передачу цифровых сигналов по обратному каналу (в диапазоне 5...30 МГц) [20].

Абонентские места оборудованы аналоговыми телевизионными приемниками с приставками для приема цифровых телевизионных программ в стандарте DVB-C. Чтобы иметь возможность работать в интерактивном режиме, в состав абонентских мест включен абонентский кабельный модем (АКМ) и персональный компьютер (ПК), оснащенный дополнительными программно-аппаратными средствами в зависимости от вида предоставляемых абоненту информационных услуг.

Кроме доставки абонентам эфирных и спутниковых цифровых телевизионных программ в стандарте DVB-C, рассматриваемая мультисервисная сеть обеспечивает высокоскоростной выход в сеть Интернет с предоставлением доступа к соответствующим услугам связи.

5.4 Сотовые системы телевидения

Для организации многопрограммного телевидения перспективным направлением считается целесообразной замена традиционного наземного способа передачи телевизионных сигналов, в том числе и цифровых, микроволновой распределительной телевизионной системой с низким уровнем излучения электромагнитных волн. На практике используются различные варианты микроволновых распределительных телевизионных систем [20]:

- MMDS – Multichannel Microwave Distribution System – многоканальная микроволновая система распределения;
- LMDS – Local Multipoint Distribution System – локальная многоточечная система распределения;
- MVDS – Multipoint Video Distribution System – многоточечная система распределения телевизионных программ.

Часто подобные системы называются сотовыми системами телевидения (системы Cellular Vision). Разница в названиях данных систем весьма условна, поскольку рекомендации для них разрабатывались в разных странах.

С внедрением цифровых методов передачи и организацией обратных каналов в системах MMDS, LMDS и MVDS появилась возможность предоставления полного набора телекоммуникационных услуг широкополосного радиодоступа абонентам. Причем архитектура подобных распределительных систем может быть двух типов [20]:

- «точка-точка»;
- «звезда», т. е. «точка – много точек».

Основные достоинства радиосистем широкополосного доступа заключаются в следующем [20]:

- высокое качество сигналов и практически полное отсутствие «мертвых» зон за счет выбора размеров соты (ячейки) в пределах от 1 до 6 км;
- возможность для абонентов выбора большого числа сигналов различных телекоммуникационных служб, в том числе телевизионных программ;
- высокая надежность сети при рассредоточенных ретрансляторах;
- обеспечение экологически безопасных для населения уровней электромагнитных излучений радиопередатчиков;
- сравнительная дешевизна абонентской установки за счет использования комнатной малогабаритной антенны с линейными размерами 15...25 см;
- высокое качество сигналов из-за сравнительно низкого уровня помех в выделенных для этих систем диапазонах частот (2,5...2,7 ГГц; 25...45 ГГц);
- независимость условий приема от телевизионных стандартов NTSC, PAL, SECAM, за счет оцифровки сигналов;
- относительно низкая стоимость развертывания радиосистем широкополосного доступа в условиях больших городов по сравнению с монтажом и эксплуатацией гибридных оптико-коаксиальных систем кабельного телевидения.

Частным случаем радиосистем широкополосного доступа (сотовых систем телевидения) является система MMDS, которая представляет собой широкополосный передающий комплекс, осуществляющий трансляцию передаваемой на его вход информации в полосе частот шириной 200 МГц. Она аналогична радиорелейной линии, но отличается тем, что предназначена для охвата телекоммуникационными услугами больших территорий.

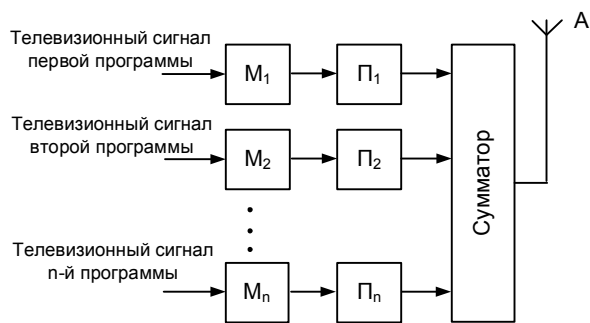
В России для систем MMDS выделена полоса частот 2,5...2,7 ГГц при условии использования амплитудной модуляции. В состав передающего комплекса входит один или несколько радиопередатчиков, сумматоры, линии связи, одна или несколько передающих антенн [20].

В практике проектирования и монтажа систем MMDS используются два варианта построения структурных схем [20]:

- одноканальный;
- многоканальный.

В одноканальном варианте для передачи n телевизионных программ применяются n передающих устройств, включающих модулятор и собственно радиопередатчик, а суммирование мощностей разных передатчиков осуществляется непосредственно в антенне (рис. 5.7) [20].

В многоканальном варианте передаваемые n телевизионных сигналов различных программ сначала поступают на свои модуляторы, далее из них формируется групповой сигнал, который модулирует широкополосный радиопередатчик, работающий на общую антенну (рис. 5.8) [20].



М – модулятор; П – передатчик; А – антенна

Рис. 5.7. Функциональная схема системы MMDS при использовании одноканальных радиопередатчиков

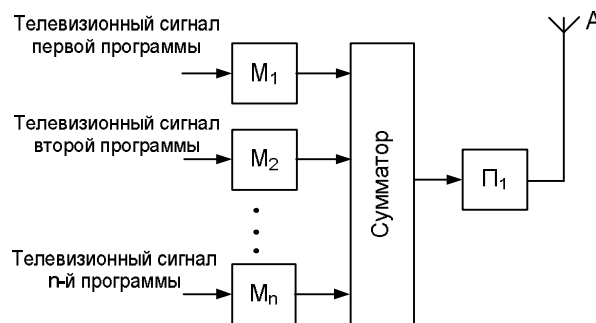


Рис. 5.8. Функциональная схема системы MMDS при использовании многоканальных радиопередатчиков

Многоканальные передатчики целесообразно использовать в небольших городах и поселках городского типа, где радиус зоны покрытия не превышает 6 км. По сравнению с передатчиками традиционного наземного телевидения мощность передатчиков MMDS значительно ниже. Их типовые значения – не более 100 Вт в области частот 2,5 ГГц. Возможен как индивидуальный прием сигнала в пределах прямой видимости с помощью малогабаритных приемных антенн, совмещенных с конвертором, который переносит принимаемый групповой сигнал в область более низких частот, так и через антенные устройства SMATV (Satellite Master Antenna TV – телевизионная система коллективного пользования) [20].

К сотовым системам телевидения относится перспективная система LMDS, работающая в полосе частот более 23 ГГц, т. е. на почти миллиметровых волнах, и использующая помехоустойчивый вид модуляции QPSK. Система сотового телевидения LMDS работает по следующему принципу: в пределах зоны охвата устанавливается сеть радиопередатчиков (базовых станций – БС) с радиусом действия около 5...6 км. Приемное устройство использует плоскую небольшую антенну, устанавливаемую как в помещении, так и вне его. В системе LMDS абонент получает сигналы сразу с нескольких спутников.

Специальные устройства, установленные на БС, улавливают сигналы различных программ с разных ИСЗ и ретранслируют их абонентам. Такая система обеспечивает возможность абонентам принимать в среднем до 100 телевизионных программ, причем отпадает необходимость иметь дешифратор (как в случае с обычной спутниковой системой) – к телезрителям телевизионные сигналы с различных спутников поступают уже в расшифрованном виде. Система LMDS удобна еще и тем, что может работать в интерактивном режиме и включать в себя целый набор телекоммуникационных услуг [20].

Сотовые системы телевидения MVDS работают в полосе частот 40,5...42,5 ГГц и используют радиопередатчики мощностью около 1 Вт. В такой системе один радиопередатчик с ненаправленной антенной или группа передатчиков с антеннами секторной направленности, имеющими большой коэффициент усиления, составляют БС. Радиопередатчик БС передает

в эфир сигнал с несколькими несущими в диапазоне частот миллиметровых волн. Излучаемый сигнал имеет ширину спектра 1...2 ГГц и содержит информацию большого числа региональных программ, а также принимаемых со связных ИСЗ. Многоканальный сигнал может поступать на вход радиопередатчика уже скомпонованным на специальной региональной станции, либо непосредственно формироваться на БС с помощью соответствующих мультиплексоров [20].

С помощью системы MVDS в полосе частот 2 ГГц можно организовать от 96 до 128 аналоговых телевизионных каналов с предоставлением интерактивных услуг (или в несколько раз больше цифровых), причем каждый из них будет занимать полосу частот от 29,5 до 39 МГц.

Однако максимального значения число частотных каналов достигает лишь при работе одиночной БС. При наличии в сети множества сот применяются БС с четырехсекторными антеннами. Частотное планирование сети осуществляется благодаря использованию различных радиочастот или поляризации излучаемого сигнала в каждом секторе. Фиксирование абонентской антенны в такой системе позволяет использовать сигналы с различной поляризацией. В результате выполнения указанных условий, исключающих влияние соседних БС друг на друга, возможное число транслируемых программ уменьшается в 4 раза. Современные системы такого типа обеспечивают передачу радиосигналов на экологически безопасных уровнях мощности – 100...300 мВт на один канал [20].

Следует отметить, что подобные системы хорошо работают именно в городах, где СВЧ-сигнал доходит до абонентов, не находящихся в зоне прямой видимости, после многократного отражения от стен домов.

Абонентское оборудование сотовых систем телевидения представляют собой традиционный спутниковый тюнер, работающий в диапазоне частот 950...2050 МГц. Антенна выполняется вместе с СВЧ-приемником, осуществляющим первое преобразование частоты с целью ее понижения, в едином блоке, представляющим собой легкое компактное устройство диаметром около 150 (в диапазоне 40 ГГц) или 250 мм (в диапазоне 23 ГГц).

5.5 Принципы организации звукового и телевизионного вещания через телекоммуникационные сети

В последнее время наблюдается значительный интерес к технологии потокового, т. е. непрерывного, аудио и видео вещания через телекоммуникационные сети (в том чи через глобальную сеть Интернет).

В основе всех технологий потокового вещания в прямом эфире лежит следующий принцип: станция оцифровки, либо кодирующее устройство осуществляют захват видео и звуковых сигналов и затем кодируют эти сигналы в медиа-поток с заранее заданными параметрами. Современные технологии обеспечивают всестороннюю «чистку» звуковых и видеоданных, за счет шумоподавления, удаления артефактов, преобразования чересстрочной телевизионной развертки в прогрессивную и коррекцию цвета. Далее

сформированные цифровые потоки передаются на серверы, ретранслирующие их абонентам в сети [20].

Аппаратуру для кодирования звука и видео в потоковые форматы можно условно разделить на две группы [20]:

1. Программные кодеры. Захватывают видео с помощью камеры, и дальнейшая «упаковка» видеоданных выполняется программным путем, с отправкой сформированного потока на сервер.
2. Программно-аппаратные комплексы кодирования. Как правило, подобные системы имеют расширенные возможности по обработке видео и звука, за счет высокого быстродействия аппаратной части, но и высокую стоимость.

Важной особенностью аппаратных кодеров является возможность формирования нескольких информационных потоков видеоданных с различным соотношением сторон и качеством (в первую очередь, четкостью) воспроизводимых изображений.

Таким образом, можно сразу подготовить потоковый контент, рассчитанный на каналы связи с различной пропускной способностью и в нескольких форматах передачи (например: Microsoft Windows Media, Real Networks, Real Video, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, или Apple's Quick Time) [20].

Существуют два принципа потоковой передачи аудио и видео в телекоммуникационных сетях Интернет [20]:

- 1) Unicast (одноадресная передача данных);
- 2) Multicast (многоадресная передача данных).

В режиме Unicast вещательный сервер генерирует для каждого клиента отдельный поток аудио и видеоданных, а ПК пользователя периодически отправляет на сервер подтверждение о доставке пакетов данных. Таким образом, требуемые мощность сервера и полоса пропускания канала связи прямо пропорциональны количеству клиентов в сети. В способе Unicast сервер практически может обслуживать только очень ограниченное число пользователей. Такой способ используется, в основном, в системах «видео по запросу». Она удобна для работы отдельных пользователей с видео и аудиоархивами и для распространения вещания на абонентов, подключенных по низкоскоростным коммутируемым линиям связи.

В режиме Multicast (передача от одной точки на многие точки) сервер генерирует один поток данных, к которому могут подключаться по сети различные группы (локальные сети) клиентов. В данном случае мощность сервера и занимаемая полоса пропускания канала не зависят от количества клиентов. Для реализации режима IP-Multicast имеет значение тот факт, что мультиплексирование потока данных производится не на сервере у источника данных, а матричными коммутаторами в точках разветвления IP-сетей. Необходимый ресурс сервера и магистральной сети при этом могут быть значительно меньше. При передаче по способу IP-Multicast для сервера безразлично, принимают ли данные один или миллион приемных устройств, сервер

однократно передает пакеты данных по Multicast-адресу, а сеть распределяет и мультиплексирует их [20].

Подобно классическому вещанию при реализации режима Multicast клиентами принимается только узко ограниченное число звуковых или видеопрограмм и нельзя получить требуемую информацию индивидуально в желаемое время. На практике технология многоадресной передачи данных широко применяется для новостийного вещания, в дистанционном образовании, в корпоративных сетях, в структурах государственного управления. Передача мультимедийного потока данных способом IP-Multicast из одной точки на многие точки создает систему связи, схожую со схемой традиционного телевизионного вещания. Для российского сегмента Интернета, где ощущается дефицит высокоскоростных соединений сетевых узлов, сдерживающий широкое использование вещательных технологий, применение режима Multicast особенно актуально.

В последнее время практическое применение получил новый способ передачи потоков мультимедийных данных в IP-сетях типа Multicast. Данный способ основан на разбиении каждой вещательной программы на ограниченные по длительности части, которые пространственно распределяются между различными серверами. В приемном устройстве в процессе обработки вещаемого потока отдельные части составляют в единое целое. Каждая вещательная программа при этом передается с нескольких серверов, которые приемное устройство воспринимает как единый «виртуальный» передатчик за счет разделения вещательной программы на временные отрезки. В этом случае достоинство Unicast-передачи (ее индивидуальность) сочетается с эффективностью использования полосы частот в способе Multicast. При этом индивидуальное содержание программ может передаваться значительно большему числу приемных устройств в отсутствие широкой полосы частот [20].

Основу главы 5 составляет материал работы [20].

6 СЕТИ И СИСТЕМЫ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

6.1 Понятие сетей абонентского доступа

Одной из самых проблемных и динамично развивающейся частей современных сетей связи является доступ пользователей и абонентов к узлам связи транспортных сетей для предоставления телекоммуникационных услуг. При этом наблюдаются следующие тенденции развития доступа:

- использование существующей инфраструктуры низкочастотных медных линий для предоставления доступа к узкополосным и широкополосным услугам средствами модемов цифровых абонентских линий xDSL (Digital Subscriber Line) в разновидностях симметричных, асимметричных и высокоскоростных линий (HDSL, ADSL, VDSL), в которых могут передаваться сигналы на скоростях от десятков кбит/с до десятков Мбит/с (64 кбит/с – 50 Мбит/с) на относительно небольших расстояниях от десятков и сотен метров до нескольких километров;
- использование технологий: «волокну в дом», «волокну в распределительный шкаф», «волокну в офис» и т. д., обозначаемых FTTh (Fiber To The Home, ...), например, пассивной оптической сети PON (Passive Optical Network), основанных на сети волоконно-оптических линий, для организации доступа к любым видам услуг;
- использование технологий радиодоступа RLL (Radio Local Loop) для фиксированного и мобильного, узкополосного и широкополосного доступа с разделением радиочастотных ресурсов по спектру частот, по времени, кодовым разделением, пакетной передачей; пример последнего – технология WiMAX.

Плоскость пользовательских услуг отражает все известные и востребованные услуги электросвязи, к которым относятся:

- телефония с коммутацией каналов и IP-телефония;
- видеосвязь, видеоконференции;
- Интернет, электронная почта;
- звуковое вещание;
- цифровое телевидение;
- и т. д.

Для реализации услуг необходимы различные терминалы для пользователей. Это и обычные телефонные аппараты, теле- и радиоприемники, терминалы сетевых подключений цифровых сетей с интеграцией услуг (ЦСИУ) или служб (ЦСИС) – ISDN (Integrated Services Digital Network), персональные компьютеры и т. д.

В связи с качественными изменениями, происходящими в развитии современных телекоммуникационных сетей (ТКС), и в частности с созданием мультисервисных сетей, осуществляется внедрение современных технологий и на абонентских сетях доступа. Новые концептуальные подходы к их по-

строению приводят к тому, что понятие «абонентская линия» уже не отражает самой сути элемента сети электросвязи между терминалом пользователя и коммутационной станцией. Поэтому появился новый, принятый уже в международных стандартах и рекомендациях термин «*Access Network*» – «*сеть доступа*». В отечественных концепциях ТКС чаще используется словосочетание «*сеть абонентского доступа*» (САД), что дает более четкое представление о соответствующем фрагменте телекоммуникационной системы. На рис. 6.1 показан фрагмент телекоммуникационной сети с выделенными типовыми элементами САД [24, 25].

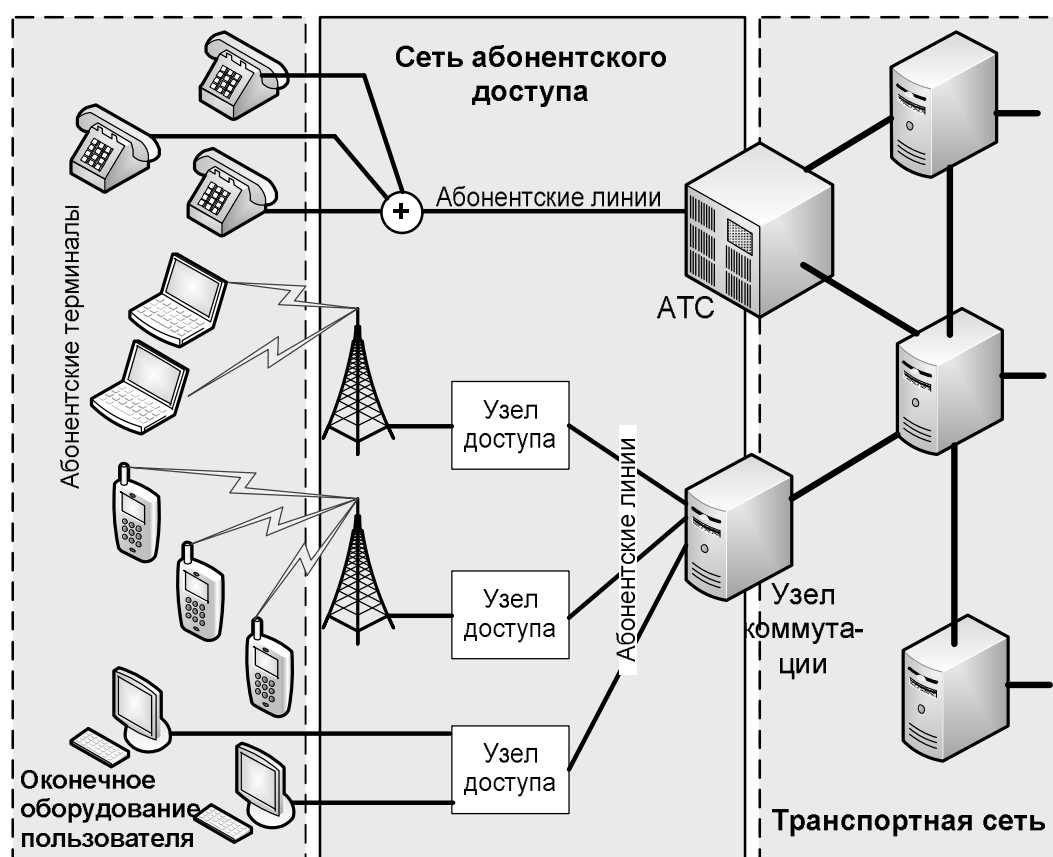


Рис. 6.1. Типовая структура и состав сетей абонентского доступа [24, 25]

Абонентская сеть в простейшем случае состоит из трех основных элементов:

- абонентского (пользовательского) терминала (АТ);
- абонентской (пользовательской) линии (АЛ);
- узла коммутации (УК).

В общем случае под сетями пользовательского (абонентского) доступа понимается совокупность линий, конечных и промежуточных узлов, включаемых в коммутационное оборудование транспортной сети непосредственно или через выносной модуль (концентратор, мультиплексор) [24, 25].

Структурно САД располагается между оборудованием, помещающимся непосредственно в месте расположения абонентов (пользователей), и транспортной сетью. Границей между САД и терминальным оборудованием мо-

жет быть распределительная коробка или розетка, к которой подключается АТ. Граница между САД и транспортной сетью проходит в месте установки УК, в абонентские комплекты которого входят подключаемые АЛ [24].

На рис. 6.2 представлена модель САД, основанная на новых подходах к ее построению. В соответствии с этой моделью, САД состоит из двух узловых элементов. Первый представляет собой совокупность подсетей АЛ, образующих сеть АЛ, а второй – непосредственно подсеть доступа (именуемую еще базовой сетью, распределительной сетью или сетью переноса).

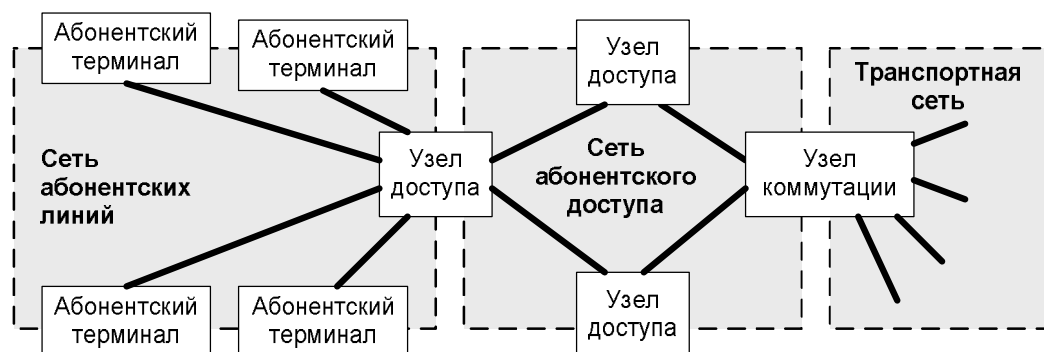


Рис. 6.2. Модель сети абонентского доступа

Каждая подсеть АЛ обеспечивает подключение абонентов (пользователей) к узлу доступа (УД) или УК непосредственно или через мультиплексор [6, 24].

6.2 Проблема «последней мили»

Проблему абонентского доступа к услугам телекоммуникационной сети на участке «абонентский терминал – узел доступа» с тем же качеством, что и непосредственно в телекоммуникационной сети, принято называть проблемой «последней мили» [6, 24].

Сети абонентского доступа с малой пропускной способностью (низкой скоростью передачи информации и соответственно с узкой полосой пропускания – «узким горлышком бутылки») в настоящее время перестали обеспечивать растущие потребности пользователей. Поэтому во многих странах мира построение высокоскоростных, т. е. широкополосных, сетей доступа стало приоритетным направлением их развития.

Различные концептуальные решения по этому направлению разрабатывались в международных организациях. Так, например, в отчете МСЭ-Т за 2001 год **широкополосный доступ (ШПД)** определяется как *возможность передачи с достаточной полосой пропускания, позволяющей предоставлять услуги голосовой связи, передачи данных и видео в одном потоке*. Более точные требования к полосе пропускания определяются используемыми абонентом приложениями: такими как электронная почта, просмотр Web-страниц, загрузка аудио- и видеоклипов, игры on-line (infotainment – информация и развлечения), видеоконференции, интерактивное телевидение, доступ к дискуссионным группам и базам данных и т. п.

Исследователями и разработчиками международных организаций и промышленных компаний в последние годы формировались различные концептуальные положения по решению проблемы «последней мили». Эти положения базируются на ряде технологий, физической основой для которых способны стать как проводные, так и радиосреды передачи [6, 24].

Специальные технологии абонентского доступа прежде всего нацелены на образование цифровых каналов на основе доступной физической среды, разновидности которой можно разделить на две группы [6, 24]:

1 Физические среды проводного доступа [6, 24]:

- оптическое волокно;*
- коаксиальный медный кабель;*
- витая пара (тоже медный кабель).*

2 Физические среды беспроводного доступа [6, 24]:

- оптические электромагнитные волны;*
- радиоволны (тоже электромагнитные);*
- звуковые (акустические) волны (неэлектромагнитные).*

Перспективные концепции построения САД ориентируются, в основном, на физические среды, позволяющие передавать высокоскоростные потоки информации, то есть, прежде всего – на оптоволокно.

6.2.1 Направления решения проблемы «последней мили»

Главной движущей силой развития технологий абонентского доступа становятся новые информационные потребности абонентов (пользователей) в услугах электросвязи. При этом с одной стороны (со стороны сети) появились службы, готовые удовлетворить данные потребности (в основном, в виде соединений с заданным качеством отдельных абонентов и в виде предоставления доступа к общим информационным ресурсам), а с другой стороны (со стороны абонентов) остались преимущественно старые физические линии доступа, не способные реализовать новые потребности.

Выделяют три направления удовлетворения новых информационных потребностей пользователей за счет развития технологий абонентского доступа [6, 24]:

- 1) увеличение скорости передачи и предоставление новых услуг тем абонентам, которые уже имели доступ к сети, и в тех точках доступа, которые уже существовали ранее;*
- 2) подключение новых абонентов в тех местах, где прежде не было точек подключения, с предоставлением полного набора современных услуг;*
- 3) подключение подвижных абонентов и предоставление им сервисов, соизмеримых по качеству с услугами, которые предоставляются фиксированным абонентам.*

Если первые два направления не исключают «персональную мобильность абонентов», перемещающихся между фиксированными точками доступа (подключения), то третье направление призвано обеспечить «мобильность

терминалов». В целом же от сети абонентского доступа требуется гарантировать персональный доступ к любым информационным и телекоммуникационным услугам любым абонентам – независимо от их местонахождения, то есть обеспечить персональную глобальную связь по принципу «всегда и везде».

В настоящее время наметились четыре наиболее характерных пути решения проблемы «последней мили» [6, 24].

1 Строительство ВОЛС на абонентском участке. Строительство волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) на участке «последней мили» имеет ряд очевидных достоинств и соответствует перспективным концепциям. Стоимость оптического кабеля (ОК) неуклонно снижается, причем оптические АЛ служат достаточно долго и не требуют особого внимания. Однако для прокладки кабеля необходимы трудовые и временные затраты специально подготовленных работников, а также недешевое окончное оборудование приема/передачи и мультиплексирования, что увеличивает стоимость АЛ.

2 Прокладка медно-кабельных абонентских линий. Это традиционное решение имеет ряд положительных моментов: простое проектирование, наличие опытного персонала по строительству и эксплуатации, приемлемая стоимость. Основные недостатки: дорогое обслуживание и ограниченная – по сравнению с ВОЛС – пропускная способность при тех же трудовых и временных затратах на строительные работы. В последнее время отмечается еще один «специфический» недостаток – привлекательность медных кабелей для сборщиков металлолома.

3 Уплотнение существующих (медно-кабельных) абонентских линий. Идея уплотнения АЛ родилась давно. Аналоговое оборудование высокочастотного уплотнения широко используется в телекоммуникационных сетях до сих пор. Однако своим подлинным развитием данное решение обязано появлению цифровых абонентских линий ЦАЛ (DSL – Digital Subscriber Loop или Line). Технологии xDSL (где x является обобщенным символом различных аббревиатур, соответствующих различным вариантам DSL) позволили организовать высокоскоростную цифровую передачу по существующим АЛ.

Технологии DSL открыли новые возможности для предоставления коммуникационных услуг, так как полоса пропускания абонентского шлейфа теперь не ограничивается 4 кГц, как это было в традиционной аналоговой телефонии. Расширить полосу пропускания оказалось реальным с помощью специальных линейных кодов и техники цифровых сигнальных процессоров. Технологии DSL используют различные схемы линейного кодирования: CAP, 2B1Q, PAM и др. Линейное кодирование – это алгоритм преобразования сигнала, предназначенный для надежной помехоустойчивости передачи данных по медному проводу. Например, новая технология линейного кодирования Trellis Coded – PAM (TC-PAM), лежащая в основе нового перспективного стандарта SHDSL, уменьшает мощность сигнала, увеличивает дальность передачи и позволяет кодировать больше данных внутри частотного спектра [6, 24–26].

Допустимая длина ЦАЛ, как правило, составляет не более 5-6 км (в случае диаметра жилы кабеля 0,4-0,5 мм). Используя регенераторы, несложно увеличить допустимую длину ЦАЛ. «Допустимой» обычно считается длина, при которой вероятность ошибки на бит не превышает 10^{-7} . Существуют и более строгие международные и российские ведомственные нормативы, разработанные для цифровых первичных сетей, которые часто применяют для оценки пригодности ЦАЛ.

Дополнительным резервом построения САД на базе существующих проводных «абонентских линий» служат [6, 24]:

- проводная разводка радиоточек;
- линии электропередач (например, известны технологии X.10 и DPL – Digital Power line, которая позволяет передавать данные по электропроводке со скоростью до 1 Мбит/с и др.);
- сети кабельного телевидения (во многих городах уже применяются для доступа в Интернет).

4 Использование технологий беспроводного абонентского доступа.

В последнее время значительно возрос интерес к технологиям беспроводного абонентского доступа, именуемым WLL-технологиями (Wireless Local Loop). Более распространенные технологии радиодоступа (в отличие от технологий оптического беспроводного доступа) сокращенно называют RLL (Radio Local Loop) [6, 24].

Технологии беспроводного абонентского доступа имеют бесспорное преимущество перед проводными решениями [6, 24]:

- применение в местах отсутствия кабельной инфраструктуры, а также в труднодоступных и малонаселенных районах;
- быстрое развертывание и ввод в эксплуатацию;
- организация доступа в любом месте (в пределах зон покрытия);
- поддержание связи при движении абонентов.

Главные недостатки WLL – ограниченная пропускная способность и относительно высокая стоимость в расчете на одного абонента, а также традиционные для радиосвязи проблемы «открытости» к внешним воздействиям.

В настоящее время существует огромное множество WLL-технологий, которые условно разделяются на две большие группы [6, 20]:

- *фиксированной связи;*
- *подвижной связи.*

Традиционно аббревиатуру WLL применяют в узком смысле для обозначения первой группы технологий – фиксированного беспроводного абонентского доступа. Технологии же подвижной, или иначе мобильной, связи обычно рассматривают как самостоятельную группу технологий, среди которых принято различать технологии сотовой, транкинговой, пейджинговой и спутниковой связи. Очевидно, что подвижную связь всегда можно использовать как фиксированную. Обратное же не всегда приемлемо. С другой стороны, фиксированная связь позволяет обеспечить предоставление широкополосных услуг с качеством, соизмеримым с качеством услуг, предоставляемых

проводными технологиями, что пока не в состоянии позволить себе подвижная связь.

6.2.2 Технологии решения проблемы «последней мили»

Технологии обеспечения доступа к транспортным сетям можно разделить на три категории, в зависимости от того, какая физическая среда используется для передачи данных [6, 27]:

- витая пара телефонных проводов;
- оптоволоконные кабели (к этой категории также следует отнести системы, в которых вместе с оптоволоконными кабелями используются также и коаксиальные кабели);
- беспроводные системы (например, системы сотовой, радиорелейной или спутниковой связи).

Рассмотрим эти категории более подробно.

1 Беспроводные системы доступа. Развитие беспроводных систем доступа идет в двух основных направлениях [6, 27]:

- системы персональной сотовой связи, которые позволяют обеспечить доступ мобильных пользователей (рис. 6.3);
- наземные радиорелейные системы на СВЧ;
- спутниковые системы (рис. 6.4).



Рис. 6.3. Доступ в транспортную сеть может быть организован посредством существующей системы сотовой связи

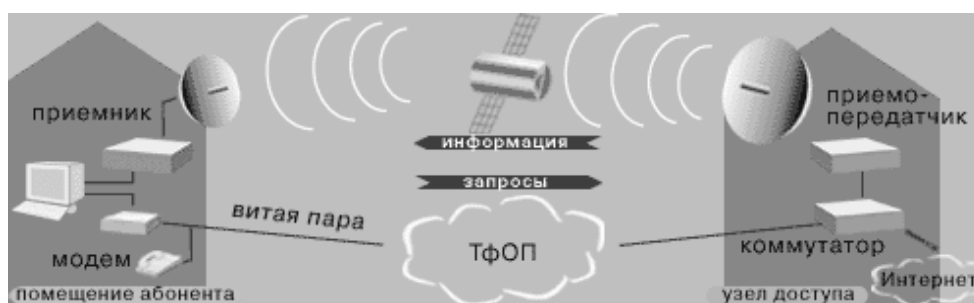


Рис. 6.4. Спутниковая система связи с асимметричным каналом связи

2 Системы доступа, основанные на новых и уже существующих оптоволоконных и коаксиальных кабелях [6, 27]:

- оптоволоконные системы передачи (см. рис. 6.5);
- сети кабельного телевидения (см. рис. 6.6);
- телефонные сети связи на витой медной паре (см. рис. 6.7).



Рис. 6.5. Гибридная система кабельного телевидения, построенная на комбинации оптоволоконных и коаксиальных кабелей

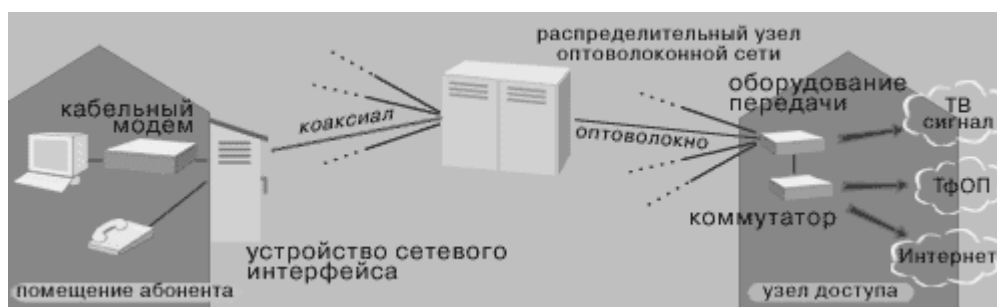


Рис. 6.6. Система кабельного телевидения, позволяющая организовать высокоскоростную передачу данных в обоих направлениях

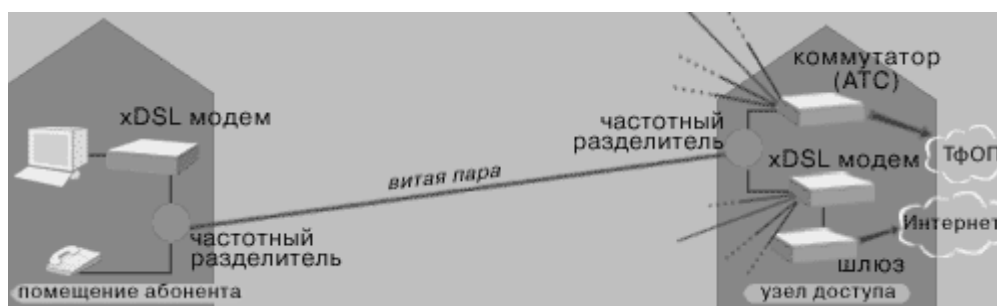


Рис. 6.7. Организация доступа по существующим телефонным проводам по технологии xDSL

6.3 Классификация и краткая характеристика технологий проводного абонентского доступа

В соответствии с работой [6, 28] технологии проводного абонентского доступа можно разбить на пять основных групп по критерию среды передачи и категориям пользователей (рис. 6.8).

1. **LAN (Local Area Network)** – технологии предоставления корпоративным пользователям услуг доступа к ресурсам локальных вычислительных сетей и использующих в качестве среды передачи структурированные кабельные системы категорий 3, 4 и 5, коаксиальный кабель и оптоволоконный кабель.
2. **DSL (Digital Subscriber Line)** – технологии предоставления пользователям ТфОП услуг мультимедиа и использующих в качестве среды передачи существующую инфраструктуру ТфОП.
3. **Кабельное телевидение (КТВ)** – технологии предоставления пользователям сетей КТВ мультимедийных услуг (за счет организации обратного канала) и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный и коаксиальный кабели.
4. **Optical Access Networks (OAN)** – технологии предоставления пользователям широкополосных услуг, линии доступа к мультимедийным услугам и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный кабель.
5. **Сети коллективного доступа (СКД)** – гибридные технологии для организации сетей доступа в многоквартирных домах; в качестве среды передачи используется существующая в домах инфраструктура ТфОП, радиотрансляционных сетей и сетей электропитания.

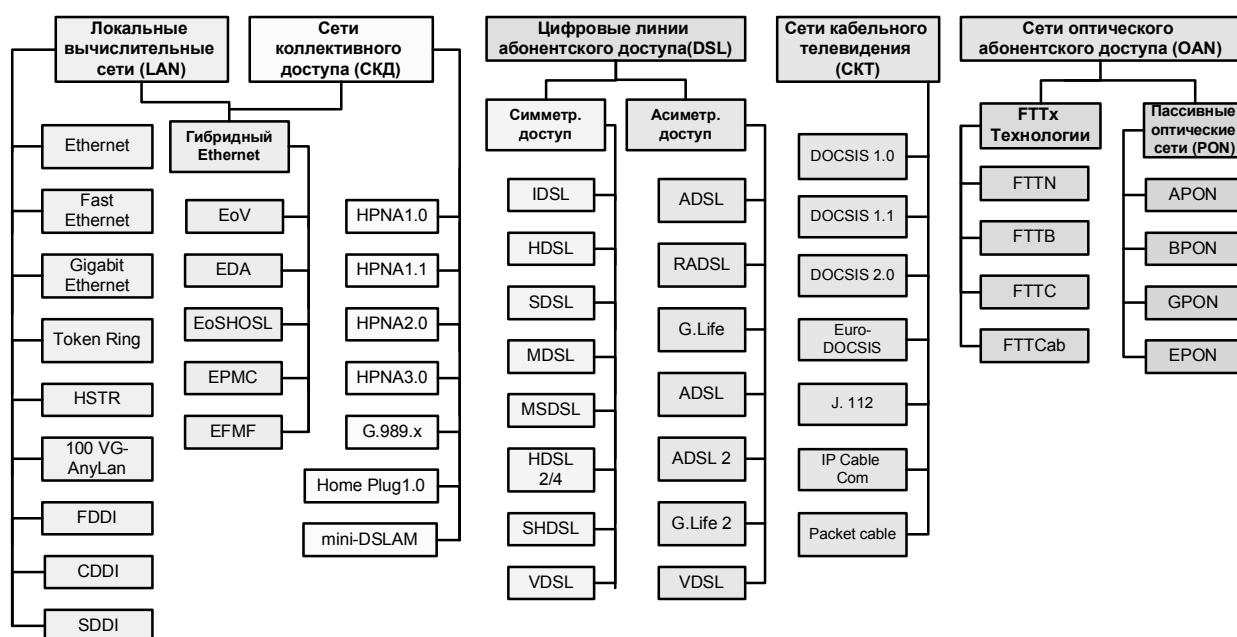


Рис. 6.8. Классификация технологий проводного доступа [6, 28]

6.3.1 Технологии локальных сетей

В группе LAN более 90% всех сетей построены с использованием технологии Ethernet, она обеспечивает пользователям корпоративных сетей скорости передачи информации от 10 Мбит/с до 1 Гбит/с. Широкое распространение сетей Ethernet при организации LAN, в первую очередь, связано с низкой стоимостью, легкостью управления и простотой используемого оборудования. Разрабатывавшаяся в конце 70-х гг. прошлого столетия ис-

ключительно для передачи данных *технология Ethernet обеспечивает сейчас поддержку широкого набора услуг, включая передачу речи и видео с требуемым качеством обслуживания QoS (IEEE 802.1p), а также организацию VLAN (IEEE 802.1Q).*

Для построения LAN так же был разработан и ряд других технологий, которые однако не получили такого распространения как Ethernet [6, 28]:

- *маркерная бесколлизонная кольцевая технология Token Ring (IEEE 802.5)* со скоростью передачи до 16 Мбит/с и ее высокоскоростная версия HSTR – High-Speed Token Ring (100 Мбит/с и 1 Гбит/с);
- *технология 100VG-AnyLAN (IEEE 802.12)* была разработана для совместного использования в одной сети Ethernet и Token Ring;
- *технология FDDI (Fiber Distributed Data Interface)*, которая в силу высокой стоимости технология не применяется при построении LAN, однако, обладая высокой отказоустойчивостью и скоростью передачи (100 Мбит/с), она используется для построения городских кольцевых магистралей с диаметром кольца до 100 км.

В технологиях доступа в последнее время наметилась интеграция технологии Ethernet с различными технологиями DSL (гибридный Ethernet). Наиболее известным вариантом такой интеграции является технология EoV. При скорости передачи порядка 10 Мбит/с сеть Ethernet может располагаться на расстоянии до 1,5 км от узла доступа, а при скоростях 3-4 Мбит/с это расстояние возрастает до 3-4 км. Стандарт на EoV разрабатывается в двух вариантах [6, 28, 29]:

- *EFMC (EFM Copper)*, имеющий характеристики обслуживания, аналогичные EoV;
- *EFMF (EFM Fiber)*, обеспечивающий скорость передачи от 100 Мбит/с до 1 Гбит/с на расстояние в несколько десятков километров до узла доступа.

Известны также следующие решения [6]:

- Ethernet с использованием ADSL компании Ericsson (EDA – Ethernet DSL Access) со скоростями передачи 8/2,8 Мбит/с и дальностью до 4 км;
- Ethernet с использованием SHDSL компании Shmid telecom со скоростью передачи 2,3 Мбит/с и дальностью до 5 км.

Необходимо отметить, что в настоящее время в данной группе все большее распространение получают беспроводные сети доступа к глобальной сети, организованные по стандартам WiFi, WiMAX, а также доступ через сети мобильных операторов сотовой связи по стандартам 3.5G и 4G.

6.3.2 Технологии сетей коллективного доступа

Для организации относительно недорогого доступа в Интернет жителей многоквартирных домов разработаны технологии сетей коллективного доступа (СКД) [6, 28]:

- Home PNA (HPNA);
- Power Line Communication (PLC).

Сеть доступа развертывается на существующей в доме кабельной инфраструктуре (витая медная пара, проводка радиотрансляционных сетей, электрическая проводка), а концентратор трафика может подключаться к узлу служб с использованием различных систем передачи (кабельных, радио и др.).

Для домашних сетей подходит оборудование гибридных Ethernet или mini-DSLAM при использовании в качестве концентратора трафика мультиплексоров DSL [6, 28].

Стандарты HPNA появились в результате деятельности альянса Home Phoneline Networking Alliance, созданного в 1996 году для разработки технологии, которая на основе существующей в домах кабельной сети должна была обеспечить относительно недорогой доступ в Интернет. Технология HPNA стандартизована в ITU-T (рекомендации G.989.1 и G.989.2). Стандарт HPNA 1.0 создан в 1998 году. Для передачи сигналов используется полоса частот 4...10 МГц, поэтому системы HPNA не оказывают влияния на телефонные и другие системы, работающие по тому же кабелю.

Системы доступа HPNA 1.0 обеспечивают коллективный доступ к каналу с пропускной способностью 1 Мбит/с на расстояние до 150 м. В качестве метода доступа к среде передачи применяется CSMA/CD. Для передачи информации используется модуляция DMT. Типовая топология сети – «звезда». Ядро сети - коммутатор HPNA, порты которого подключаются к соответствующей абонентской линии. Максимальное количество абонентов в сети – 32. В стандарте HPNA 1.1 дальность действия оборудования увеличена до 300 м.

В сетях стандарта HPNA 2.0, появившегося в 2000 г., пропускная способность коллективного канала увеличена до 10 Мбит/с при дальности действия системы до 350 м. Типовая топология сети – «шина». Работа такой сети не требует применения коммутаторов и других активных устройств.

В настоящее время ведется разработка нового стандарта HPNA 3.0, по которому пропускная способность домашней сети должна достигнуть 100 Мбит/с [6, 28].

Разработкой стандартов технологии PLC (Power Line Communications), реализуемой на базе инфраструктуры сетей электропитания, занимаются различные международные организации, такие как PLC Forum, Powerline World и Home Plug Powerline Alliance. Последняя из них приняла в 2001 году единый стандарт HomePlug 1.0 specification, в котором определены скорости передачи данных до 14 Мбит/с, методы доступа к среде передачи CSMA/CD

или CSMA/CA и модуляции OFDM. Стандартизация PLC-технологии ведется также и в ETSI (стандарты: TS 101 867, TS 101 896, TR 102 049) [6, 28].

6.3.3 Технологии симметричного DSL-доступа

Технологии симметричного DSL-доступа используются при предоставлении услуг объединения LAN, организации выносов, подключении оборудования пользователя к транспортным сетям по симметричным медным линиям. К этой группе относятся технологии: HDSL, SDSL, MDSL, MSDSL, SHDSL, HDSL2/4 и VDSL [6, 28].

Симметричные технологии xDSL различают по числу пар используемых проводов. При этом часть «родословное дерево» xDSL для симметричных технологий представлена на рис. 6.9 [6, 28, 29].

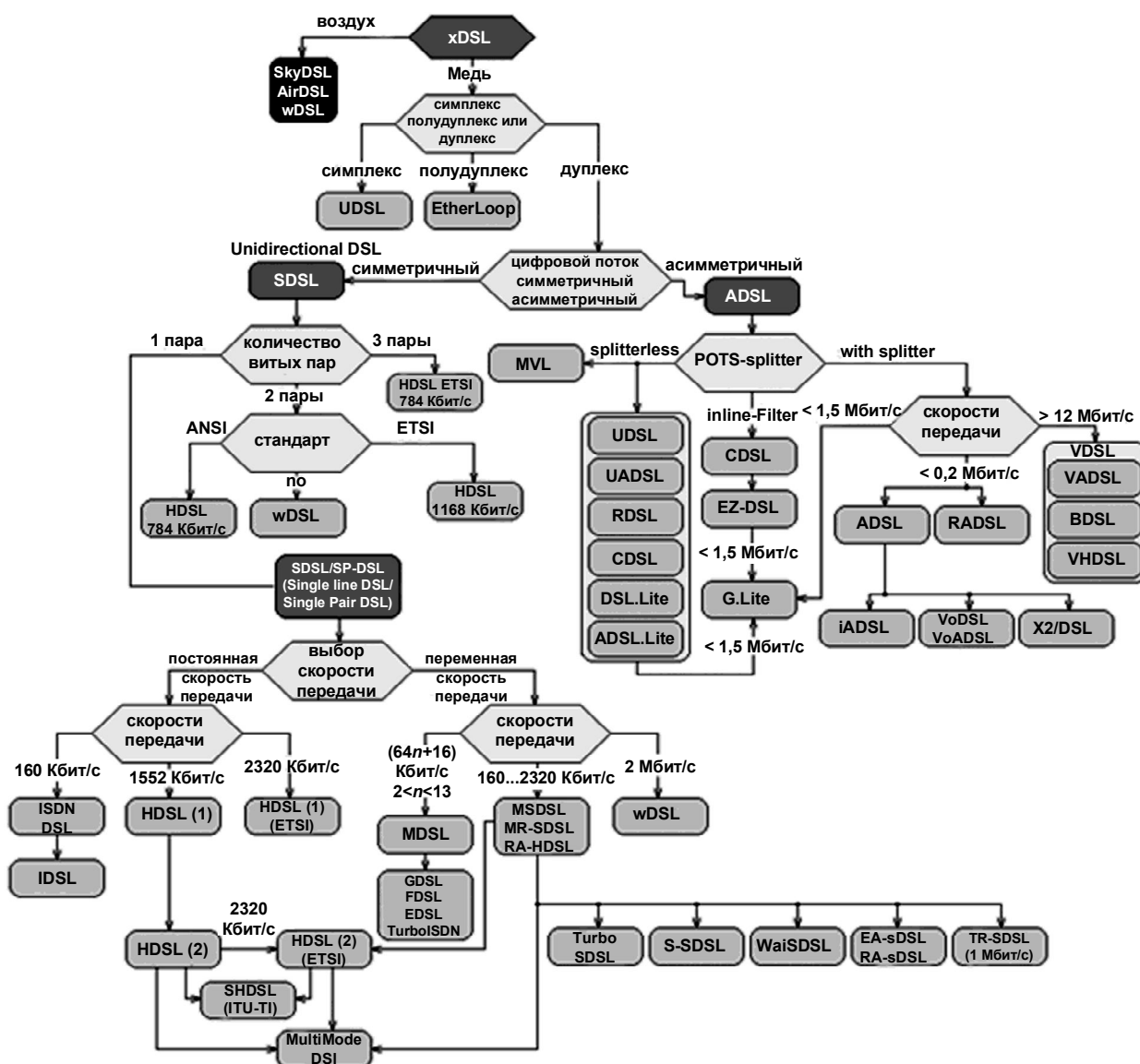


Рис. 6.9. «Родословное дерево» xDSL с разделением по средствам и направлению передачи [6, 28, 29]

Сначала появился вариант HDSL для двух пар, нормированный в ANSI, который использует кодирование 2B1Q. Затем прошла стандартизация HDSL для трех, двух и одной пар в ETSI с использованием 2B1Q или CAP. Часто употребляются обозначения HDSL2 и SDSL2, причем технология HDSL2 рассчитана исключительно на передачу T1, а SDSL2 поддерживает скорости от 384 кбит/с до 2,304 Мбит/с (с шагом 64 кбит/с).

Зачастую полная скорость (544 или 2,304 Мбит/с) не требуется или необходимая дальность при этих скоростях не достигается. Поэтому появились новые системы, заполняющие «зазоры в скоростях»: сначала это были системы MDSL, работающие со скоростью от 160 до 784 кбит/с, позднее – системы MSDSL, обеспечивающие скорость передачи 160-320 кбит/с. MDSL представляет собой множество подсистем MSDSL, которые не были нормированы, а используемая технология соответствует HDSL.

Технологии SDSL2 предназначались в основном для делового сектора. Но возможности комбинированной передачи речи и данных, повышенная потребность частного сектора в скорости передачи и хороших технических характеристиках (таких, как спектральная совместимость, аварийное питание и т. д.) могут в будущем привести к тому, что SDSL2 заменят ISDN в частном секторе и тем самым создадут серьезную конкуренцию асимметричным службам xDSL.

Системы SHDSL способны работать по одной или по двум витым парам со скоростью передачи соответственно от 192 до 2312 кбит/с с шагом 8 кбит/с и от 384 до 4624 кбит/с с шагом 16 кбит/с (рис. 6.10, 6.11).

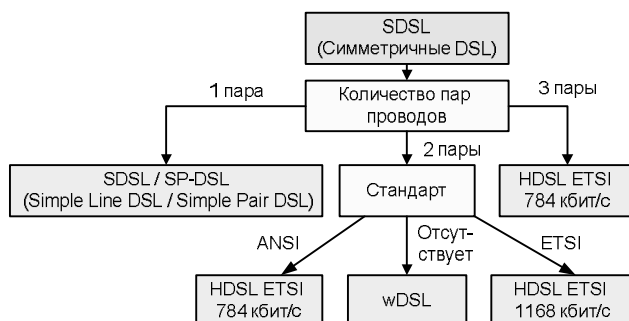


Рис. 6.10. Классификация симметричных xDSL-технологий по числу пар используемых проводов [6]

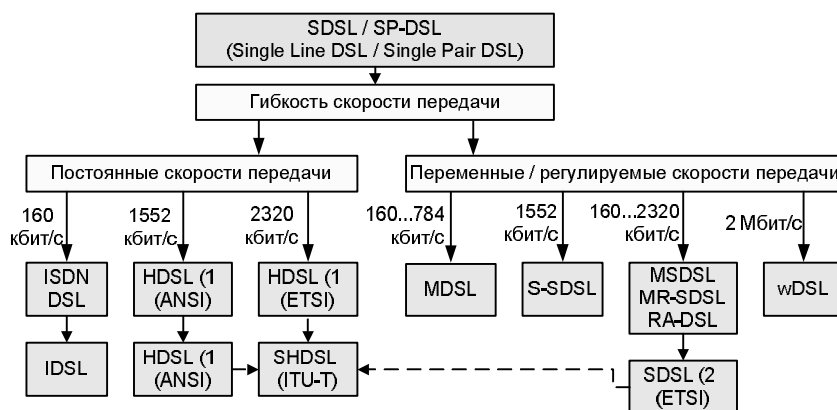


Рис. 6.11. Симметричные технологии xDSL для одной пары [6]

В линии может быть установлено до 8 регенераторов (Рек. G.991.2 ITU-T). Длина линии при максимальной скорости достигает 20-30 км в зависимости от диаметра провода. Технология HDSL2/4 является аналогом SHDSL для потока T1 и стандартизирована в ANSI T1.TRQ.06-2001.

6.3.4 Технологии асимметричного DSL-доступа

Если первоначально развитие симметричных технологий xDSL в основном было ориентировано на потребности делового сектора, то асимметричные технологии xDSL (ADSL) предназначались для частного сектора. Такой подход определяет существенную разницу в требованиях к ним. В частном секторе было необходимо, чтобы уже существующая телефонная служба (ТфОП или BRI-ISDN) продолжала работать и при переходе на ADSL.

Классификация асимметричных xDSL-технологий приведена на рис. 6.12.

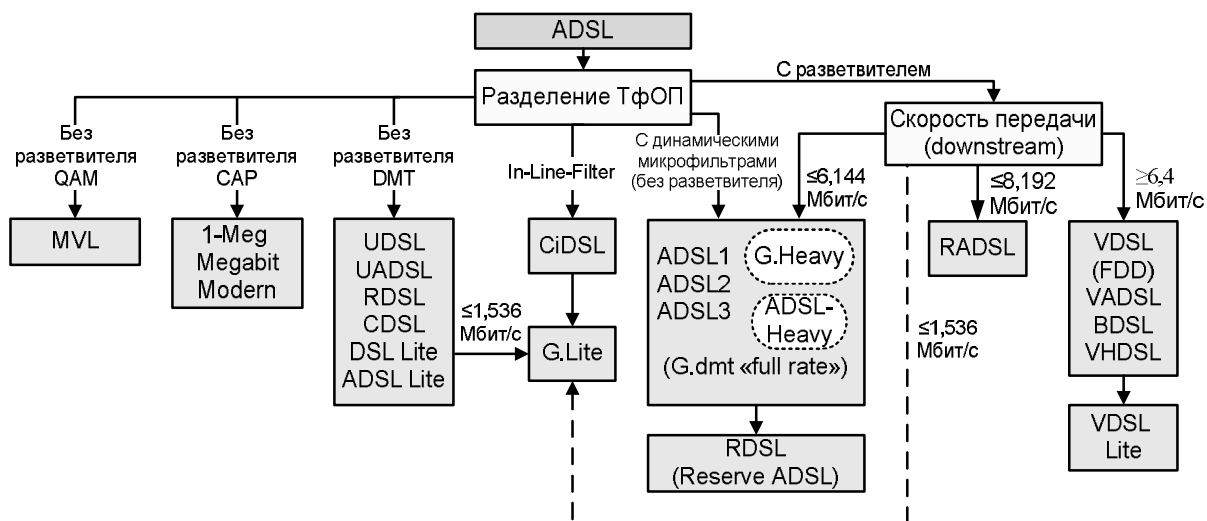


Рис. 6.12. Классификация асимметричных xDSL-технологий [6]

ADSL (так называемая Full-rate ADSL) первоначально требовала наличия разветвителя. Технология обеспечивала максимальную скорость передачи в прямом направлении – 6,144 Мбит/с, а в обратном – 0,640 Мбит/с. Разделение осуществляется с помощью эхокомпенсации или методом частотного разделения. Разветвители необходимы как со стороны АТС, так и со стороны абонентов. В ADSL после долгой конкуренции CAP (амплитудно-фазовая модуляция) и DMTV (дискретная мультитоновая технология) последний вид модуляции получил наибольшее распространение.

Первые линии ADSL предполагали работу только на постоянных скоростях. Между тем современные решения ADSL могут регулировать скорость передачи в зависимости от качества линии. Из-за адаптивности скорости передачи эту технологию иногда называют RADSL (Rate Adaptive DSL). Она базируется на CAP и включена ANSI в спецификацию TR-59. Различают

ADSL over POTS и ADSL over ISDN. В зависимости от вида применения используются различные диапазоны частот.

Первые версии ADSL имели следующие отношения скоростей передачи в прямом и обратном направлениях [6]:

- ADSL1: 1,5 Мбит/с-16 кбит/с;
- ADSL2: 3 Мбит/с-16 кбит/с;
- ADSL3: 6 Мбит/с-64 кбит/с.

Очень высокие скорости передачи в прямом и обратном направлениях достигаются с помощью VDSL. Ранее для VDSL использовались также обозначения VADSL, BDSL (Broadband DSL) или VHDSL (Very High bitrate DSL). Стандартизация VDSL пока не закончена и не решено, какая из технологий будет выбрана: упомянутая выше технология, основанная на TDD, или технология на основе FDD. В настоящее время нормирование этих технологий не может быть полностью завершено, так как ни у одной из них нет особых преимуществ по сравнению с другой.

Внедрение ADSL на практике показало, что установка разветвителей связана с большими затратами, поэтому были начаты поиски технологий ADSL без разветвителя. Целым рядом фирм были предложены различные варианты, исходя из уменьшения скорости передачи в обоих направлениях по сравнению с ADSL (например, MVL – Multiple virtual Line DSL, CDSL – Consumer DSL, CiDSL – Consumer installable DSL). Удалось реализовать без разветвителя и «full rate ADSL». Технологии ADSL, не требующие разветвителя, были нормированы в МСЭ (G.992.1) и получили название G.Lite (а также ADSL.Lite или DSL.Lite). VDSL.Lite – технология, которая должна занять нишу между ADSL и VDSL.

Одним из самых популярных в последнее время является термин – VoDSL (Voice over DSL), что буквально означает передачу речевых сигналов по цифровым линиям сети абонентского доступа. В целом данное обозначение подходит почти ко всем высокоскоростным технологиям xDSL. Отдельно выделяют VoSDSL и VoADSL, особенностью которых является сочетание сжатия речевых сигналов и ATM.

Положительный опыт производства и использования DSL-оборудования в сетях абонентского доступа привел к появлению аналогичных систем для цифровизации существующих магистральных медно-кабельных линий, которые пока еще слишком дорого заменять на волокно. Поэтому хотя технологии xDSL и рассматриваются как временная замена оптоволоконных абонентских линий, они еще долго будут востребованы в сетях абонентского доступа, включая сети специального назначения.

6.3.5 Технологии кабельных телевизионных сетей

Использование сетей кабельного телевидения (КТВ) для построения интерактивных сетей доступа к мультимедийным услугам стало возможным с появлением в 1997 году стандарта DOCSIS (Data over Cable Service Interface Specification), разработанного по инициативе организации операторов ка-

бельных сетей Северной Америки MCNS (Multimedia Network System Partners Ltd.). Для построения гибридных (HFC – Hybrid Fiber Coaxial) сетей КТВ сегодня имеется пять стандартов [6]:

- три американских (DOCSIS 1.0, DOCSIS 1.1 и DOCSIS 2.0);
- один европейский (Euro-DOCSIS);
- один международный (Рек. J.112 ITU-T), объединяющий требования американских и европейского стандартов.

Дальнейшее развитие европейского (IPCableCom) и американского (PacketCable) вариантов спецификаций на HFC-сети продолжается в части создания дополнительных возможностей и внедрения новых услуг.

Для организации прямого канала в сетях КТВ США применяется полоса частот 6 МГц (Рек. J.83.B. ITU-T) в диапазоне частот 88-860 МГц. При использовании модуляции 256QAM скорость передачи данных в прямом канале достигает 42 Мбит/с. В Европе для этих целей занимается полоса частот 8 МГц (Рек. J.83.A ITU-T) в диапазоне частот 108-862 МГц, а скорость передачи составляет 52 Мбит/с [6].

Отличие европейских и американских сетей КТВ не ограничивается только указанными характеристиками. Они разнятся также методами сигнализации и организации интерфейса V5, методами обеспечения безопасности и т.д. В целом эти различия и определили появление двух стандартов на обратный канал в интерактивных сетях КТВ [6, 28, 31]:

- DOCSIS;
- EuroDOCSIS.

Рассмотрим различные реализации данных стандартов.

DOCSIS 1.0. Этот стандарт был создан для сетей КТВ США. Он определяет физический и MAC-уровни, уровень управления для кабельных модемов и головных станций, принципы обеспечения сетевой безопасности и качества обслуживания. Для организации обратного канала используется диапазон 5...42 МГц. Метод доступа к обратному каналу – TDMA, методы модуляции – QPSK и QAM-16, скорость передачи – до 1 Мбит/с. Для защиты информации используется стандарт цифрового шифрования DES с длиной ключа 40 бит. Модель обеспечения качества обслуживания основана на классах обслуживания QoS. Прямой канал с полосой частот 6 МГц (Рек. J.83.B ITU-T) может быть организован в диапазоне частот 88...860 МГц. Методы модуляции в прямом канале – QAM-64 и QAM-256, скорости передачи соответственно 30,34 и 42,88 Мбит/с.

DOCSIS 1.1. Вторая версия стандарта была создана в 1999 г. В ней была увеличена скорость передачи в обратном канале до 5 Мбит/с, улучшена эффективность использования пропускной способности обратного канала за счет введения механизмов фрагментации пакетов и подавления заголовков, повышена сетевая безопасность благодаря введению аутентификации кабельных модемов.

DOCSIS 2.0. В третьей версии стандарта, опубликованной в 2002 г., пропускная способность обратного канала увеличена до 30,72 Мбит/с при ширине полосы частот до 6,4 МГц. В качестве метода доступа к обратному

каналу используются варианты Advanced TDMA (A-TDMA) или Synchronous CDMA (S-CDMA). В обратном канале дополнительно используются методы модуляции QAM-8, QAM-32, QAM-64, а также QAM-128 с решетчатым кодированием.

Euro-DOCSIS. Эта спецификация представляет собой вариант американского стандарта DOCSIS, адаптированного к европейским кабельным сетям. Для организации обратного канала выделен диапазон 5...65 МГц, для прямого канала – 108...862 МГц. Полоса частот в прямом канале – 8 МГц (Рекомендации J.83.A ITU-T). Методы модуляции в прямом канале – QAM-64 и QAM-256, скорости передачи соответственно около 37 Мбит/с и 52 Мбит/с.

Рек. J.112. В 1998 году версия DOCSIS 1.0 была принята ITU-T в качестве международного стандарта J.112. Расширения этого стандарта изложены в опубликованных позднее приложениях A, B и C.

Разработки европейской спецификации технологии интерактивных HFC-сетей ведется в настоящее время под общим названием IPcableCom. В США подобная разработка проводится в лаборатории CableLabs в рамках проекта PacketCable. Совершенствование этих технологий идет по пути создания дополнительных возможностей и внедрения новых услуг. Основные отличия спецификации связаны с особенностями построения телекоммуникационных сетей в Европе и США.

6.3.6 Технологии доступа на волоконно-оптических линиях

В настоящее время для предоставления пользователям широкополосных услуг используются обычно смешанные медно-оптические сети доступа. В настоящее время существует несколько основных концепций разворачивания сети доступа смешанного типа с использованием волоконно-оптических линий связи [6, 28]:

- **технология HFC (Hybrid Fiber Coaxial)** предполагает доведение оптики до точки концентрации, при этом распределительная абонентская сеть строится на основе коаксиальных кабелей. Данная архитектура не получила широкого распространения и используется обычно лишь операторами кабельного телевидения;
- **концепция FTTx** и ее различные варианты;
- **технология пассивных оптических сетей (PON).**

Варианты доступа FTTH и FTTB не так широко распространены как системы DSL доступа. Связано это в основном с тем, что их реализация требует от оператора значительно больших инвестиций, чем построение DSL-инфраструктуры, поскольку для предоставления абоненту высокоскоростного канала (до нескольких Гбит/с) необходимо во много раз увеличить пропускную способность опорных сетей, протянуть оптоволокно до абонента, разработать немало новых приложений и, самое главное, убедить абонента заплатить за это деньги. Поэтому многие операторы до сих пор стараются использовать имеющуюся медно-кабельную инфраструктуру.

Таким образом, вложения в инфраструктуру ВОЛС являются эффективными и долговременными, а внедрение технологий FTTx становится оправданным и весьма перспективным направлением, в том числе и в России [6].

В связи с актуальностью применения технологий FTTx и PON их технические параметры и особенности реализации далее рассматриваются более подробно.

Таблица 6.2. **Классификация систем доступа к высокоскоростным сетям** [6]

ТфОП	ISDN	LAN	DSL	КТВ	ОАН	СКД
– телефон; – факс; – модем ПД; – выделенная линия.	– ISDN-BRA; – ISDN-PRA.	– Ethernet; – Fast Ethernet; – Gigabit Ethernet; – Token Ring; – HSTR; – FDDI; – CDDI; – SDDI; – EoV.	Симметр. доступ – IDSL; – HDSL; – SDSL; – SHDSL; – MDSL; – MSDSL; – VDSL.	– DOCSIS 1.0; – DOCSIS 1.1; – DOCSIS 2.0; – Euro-DOCSIS ; – J.112 ; – IP-Cable-Com; – Packet-Cable.	– FTTx ; – FTTH; – FTTB; – FTTC; – FTTCab.	– HPNA 1.x ; – HPNA 2.0 ; – HPNA 3.0 ; – PLC ; – EFM.
			Асимметр. доступ – ADSL; – RADSL; – G.Lite; – ADSL2; – ADSL2+; – VDSL.		– PON ; – APON ; – EPON ; – BPON ; – GPON.	

Общая классификация систем доступа к высокоскоростным сетям приведена в таблице 6.2.

6.4 Анализ технологий доступа в сетях связи России

По оценкам различных экспертов основными наиболее распространенными технологиями сетей доступа являются:

- технология PON;
- технология FTTH (как правило, на основе семейства технологий xPON);
- технология ADSL 2+.

Технология PON по экономическим показателям более приспособлена к «ковровому» покрытию, чем к точечным инсталляциям. При помощи технологии GPON стало возможным обеспечить доступ в Интернет на скорости до 50 Гбит/с и более. Протяженность оптоволоконного кабеля от сетевого узла до потребителя может достигать 20 км. При этом ведутся разработки, которые позволяют увеличить расстояние до 60 км. Технология основывается на перспективном стандарте G.984.4, который постоянно совершенствуется для добавления новых сервисов и интерфейсов в систему PON.

Технология активных оптических сетей FTTB является основным конкурентом пассивных сетей FTTH сегодня и в среднесрочной перспективе. Данная технология на сегодняшний момент удовлетворяет потребности пользователей и широко используется как в России, так и за рубежом. Технология FTTB в совокупности с Fast Ethernet обеспечивает оптимальное соотношение по качеству, пропускной способности и затратам на строительство сети, и в отличие от технологии PON более выгодна при точечных подключениях.

Технология ADSL 2+, согласно мнению экспертов, является доминирующей технологией построения широкополосных сетей доступа для традиционных операторов в России. Технология была разработана для расширения возможностей технологии ADSL, утвержденной ITU в 1999 году. На данный момент сети, построенные на ADSL 2+, развернуты во многих странах мира, однако, технология постепенно устаревает и в ближайшее время уже не сможет удовлетворять растущие потребности абонентов по скорости передачи информации. Основными преимуществами данной технологии являются низкая стоимость развертывания сети, в том числе низкая стоимость абонентских устройств (в среднем по миру – \$40), а также возможность устанавливать абонентские устройства по мере получения заявок абонентов.

В мире не существует технологии ШПД, однозначно признанной наиболее эффективной. Традиционные операторы во многих странах до сих пор эксплуатируют медные сети доступа с технологией асинхронной передачи данных семейства ADSL.

Среди оптических сетей доступа предпочтения по технологиям в разных странах могут диаметрально отличаться. Среди стран мира наибольшее проникновение технологии FTTH зафиксировано в ОАЭ – 55%. Далее следуют Япония и Южная Корея – 26% и 16% соответственно. Россия заметно отстает по данному показателю – проникновение составляет примерно 0,5%.

Таблица 6.3. Различия в выборе архитектуры PON

Регион	Используемая архитектура
Северная Америка	BPON, EPON, GPON
Япония	EPON
Европа	GPON
Россия	GPON

Технология FTTH доминирует в ОАЭ, Норвегии, Словении, Латвии, Дании, Португалии, Нидерландах, Малайзии, Италии, Канаде и Румынии. Технология FTTB доминирует в Южной Корее, Гонконге, Тайване, России, Болгарии, Эстонии, Китае, Финляндии, Чехии, Франции, Украине и Турции. В остальных странах FTTB и FTTH делят рынок приблизительно пополам.

В мире нет единого мнения о лучшем стандарте семейства xPON. В США встречаются как минимум три варианта пассивных оптических сетей. Европа и Япония ориентируются на единые, но различные архитектуры (см. табл. 6.3).

Все российские операторы, использующие пассивные оптические сети доступа, остановили свой выбор на GPON (стандарт G.984.4).

Доля xPON на рынке российского фиксированного ШПД на 2008 год была крайне мала: 0,5% от всех ШПД-подключений. В технологической структуре развития российского рынка доля технологии FTTB и PON будут увеличиваться в среднем на 4% в год, и планируется, что к 2015 году их доля составит около 65% от всех ШПД-подключений в России.

Первым российским оператором, начавшим строительство и развитие оптоволоконных сетей до квартир потенциальных пользователей на базе технологии GPON, является Ростелеком.

Ростелеком в краткосрочной и среднесрочной перспективах остается основным потребителем технологии xPON. Планы по широкомасштабному внедрению сетей доступа xPON имеют как минимум четыре макрорегиональных филиала (Центр, Северо-Запад, Урал и Сибирь). Три макрорегиональных филиала (Волга, Юг и Дальний Восток) определенных планов по этой технологии не публиковали.

Материал раздела 6 подготовлен на основе работы [6] и за счет обобщения работ [24-33].

7 ТЕХНОЛОГИИ ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ АБОНЕНТСКИХ ЛИНИЙ DSL

7.1 Обзор технологии цифровой абонентской линии DSL

В последние годы **сети доступа (СД)** являются наиболее динамичным сегментом телекоммуникационной отрасли. Они непосредственно связаны с предоставлением операторских услуг абонентам, поэтому СД хорошо окупаются даже в условиях неблагоприятной экономической ситуации. Поэтому можно с уверенностью сказать, что СД находятся в фазе развития, что делает их технически и финансово привлекательными.

Традиционно абонентские кабельные сети состояли из двух видов [33]:

- телефонные сети на медных НЧ кабелях;
- распределительные коаксиальные сети кабельного или эфирного телевидения.

Хотя телефония и сейчас остается наиболее востребованной услугой, значительно вырос спрос на услуги доступа к транспортным сетям (не только среди офисных центров, но и среди домашних пользователей). В последнее время популярна концепция «тройной услуги» которая предусматривает предоставление через одну сеть услуг: телефонии, передачи данных и видеотрансляции. Кроме того, повышение спроса на широкополосный доступ определяется развитием новых технологий [33]:

- видео по запросу (VOD);
- потоковое видео, видеоконференции;
- интерактивные игры;
- передача голоса в компьютерных сетях (VoIP);
- телевидение высокой четкости (HDTV);
- и др.

Сеть, состоящая из пар витых медных проводов, которая изначально предназначалась только для обеспечения телефонной связи между различными абонентами (рис. 7.1), постепенно превращается в сеть широкополосных каналов, способных поддерживать высокоскоростную передачу данных и другие широкополосные телекоммуникационные службы.

Разработанная для аналоговых телефонных линий технология (аналоговые модемы, предназначенные для передачи по телефонным линиям) имеет очень ограниченную скорость передачи данных – до 56 Кбит/с. Но, благодаря использованию на абонентской кабельной сети современных технологий, разработанных специально для витых пар проводов, те же самые линии, которые ранее использовались для традиционной телефонной связи и передачи данных со скоростью до 56 Кбит/с, могут поддерживать эффективную высокоскоростную передачу данных, при этом сохраняя возможность одновременного использования абонентской линии и для традиционной телефонной связи.

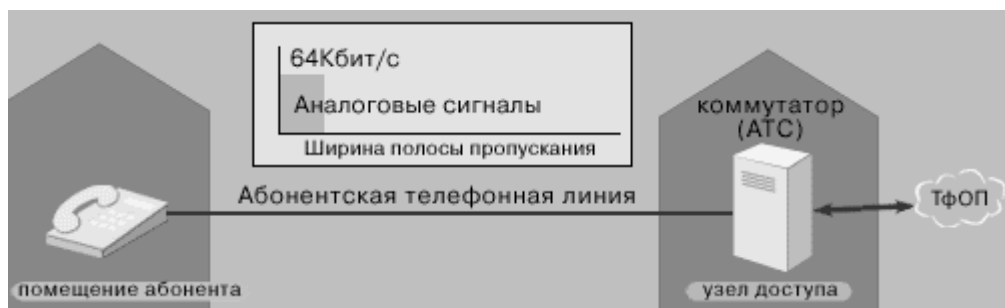


Рис. 7.1. Использование полосы пропускания канала в телефонии

Новую ступень развития удалось преодолеть благодаря использованию технологий DSL (рис. 7.2) [34].

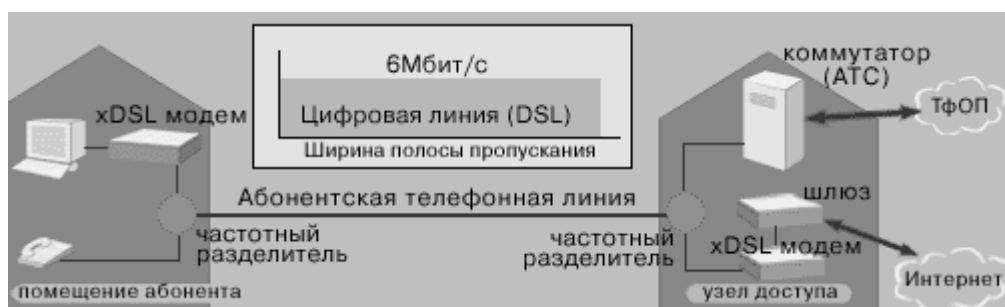


Рис. 7.2. Использование полосы пропускания канала при организации DSL

Для конечных пользователей технологии DSL обеспечивают высокоскоростное и надежное соединение между сетями или с сетью Интернет, а телефонные компании получают возможность исключить потоки данных из своего коммутационного оборудования, оставляя его исключительно для традиционной телефонной связи.

Обеспечение высокоскоростной передачи данных по медной двухпроводной абонентской телефонной линии достигается установкой оборудования DSL на абонентском конце линии и на «конечной остановке» магистральной сети высокоскоростной передачи данных, которая должна находиться на телефонной станции, которой подключена данная абонентская линия. Если на абонентской линии с использованием технологии DSL организована высокоскоростная передача данных, информация передается в виде цифровых сигналов в полосе гораздо более высоких частот, чем та, которая обычно используется для традиционной аналоговой телефонной связи. Это позволяет значительно расширить коммуникационные возможности существующих витых пар телефонных проводов [34].

Использование технологий DSL на абонентской телефонной линии позволило превратить абонентскую кабельную сеть в часть сети высокоскоростной передачи данных [34]. Кроме обеспечения высокоскоростной передачи данных, технологии DSL являются эффективным средством организации многоканальных служб телефонной связи. С помощью технологии VoDSL (голос по DSL) можно объединить большое количество каналов телефонной

(голосовой) связи и передать их по одной абонентской линии, на которой установлено оборудование DSL [34]. Все технологии DSL (ISDN, HDSL, SDSL, ADSL, VDSL и SHDSL) разработаны для обеспечения высокоскоростной передачи данных по телефонным линиям, изначально предназначенным для осуществления голосовой связи в спектре частот 300 Гц-3,4 кГц.

Развитие технологий цифровой обработки сигнала (DSP) в сочетании с новейшими алгоритмами и технологиями кодирования позволили поднять информационную емкость сетей доступа до 55 Мбит/с. Ширина используемой полосы частот увеличилась на два порядка за последнее десятилетие: от приблизительно 100 кГц для узкополосной ISDN до более чем 10 МГц для VDSL (см. рис. 7.3, 7.4) [34].

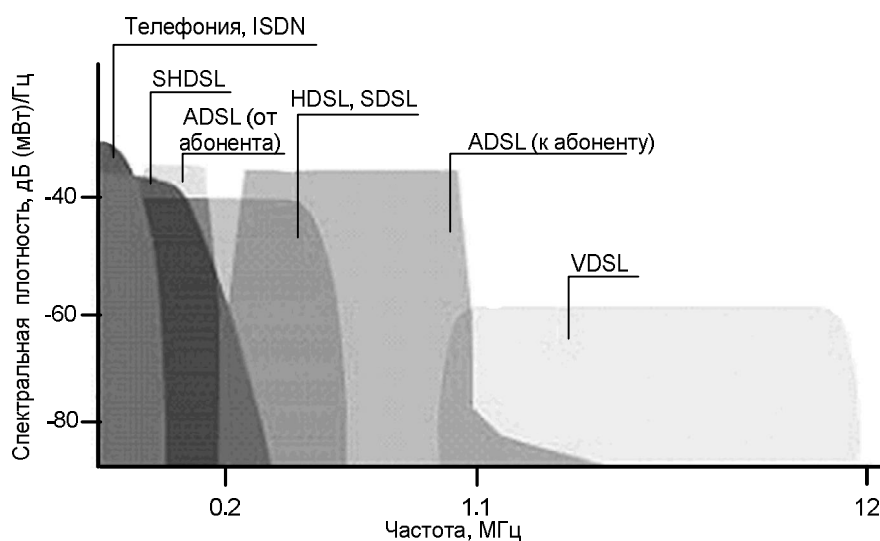


Рис. 7.3. xDSL-технологии и занимаемые ими частоты (по данным компании ZyXEL)

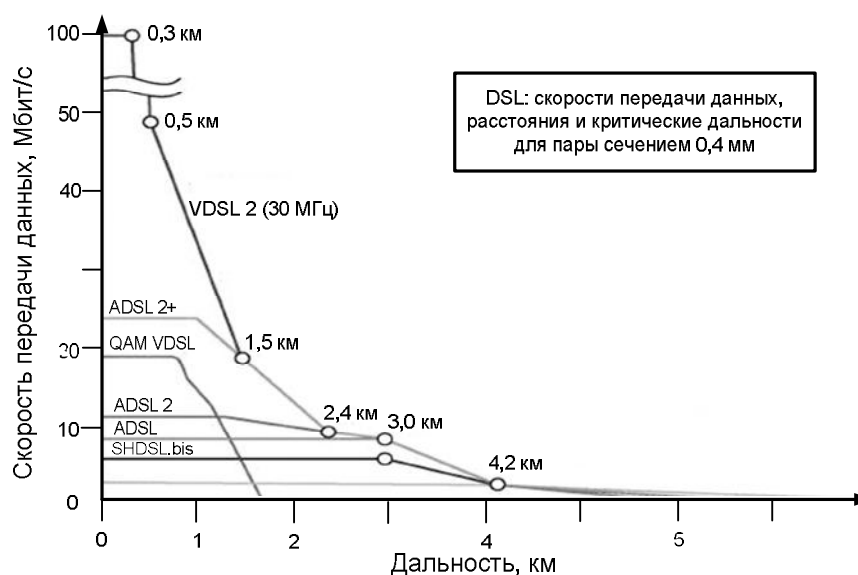


Рис. 7.4. Зависимость скорости передачи данных от расстояния для пары сечением 0,4 мм (по данным компании ZyXEL)

Пополняемое семейство технологий DSL (Digital Subscriber Line, цифровая абонентская линия) является достаточно новым и позволяет эффективно использовать полосу пропускания медных телефонных линий. Благодаря многообразию xDSL пользователь может выбрать для себя подходящий вариант по скорости приема/передачи данных – от 32 Кбит/с до более чем 50 Мбит/с. И в первую очередь выбор будет основываться на типе и количестве имеющихся у пользователя пар, их качестве и протяженности. При этом следует определиться с необходимостью одновременного использования и аналоговой телефонной связи, и цифровой высокоскоростной передачи данных по одним и тем же линиям, соединяющим телефонные станции с абонентами [36].

На данный момент все многообразие протоколов DSL можно разделить на два класса [36]:

- симметричные;*
- несимметричные.*

Первые, как правило, требуются крупным компаниям для налаживания равноправного обмена. Например, SHDSL-оборудование изначально нацелено на решение задач, требующих высокой надежности передачи данных с гарантированным качеством обслуживания. Передачи симметричных потоков данных в обе стороны необходимы, при многоканальном голосовом обмене и для видеоконференц-связи.

Вторые отражают суть работы с IT-технологиями мелких компаний, филиалов, удаленных офисов и частных пользователей – большая часть трафика загружается из глобальных сетей, а от клиента зачастую исходят лишь запросы на получение информации и отсылаются квитанции-подтверждения. Поэтому вполне закономерно, что по числу подключенных клиентов ADSL стала наиболее востребованной и массовой технологией широкополосного удаленного доступа в мире [36].

В настоящее время наибольшее распространение в мировой практике получили следующие разновидности технологии xDSL:

- ADSL – ассиметричная цифровая абонентская линия;
- HDSL – скоростная цифровая абонентская линия;
- MDSL – среднескоростная цифровая абонентская линия;
- VDSL – высокоскоростная цифровая абонентская линия;
- RA-HDSL – цифровая абонентская линия со ступенчатой регулировкой скорости;
- SDSL – симметричная абонентская линия, работающая по одной паре;
- SHDSL – симметричная высокоскоростная абонентская линия, работающая по одной паре;
- IDSL – цифровая абонентская линия для одной пары проводов, используемой для передачи сигналов ISDN.

Подробные технические характеристики отдельных технологий DSL, а также их типовое применение приведены в таблицах 7.1-7.4 ниже.

Таблица 7.1. Сравнительные возможности наиболее значимых xDSL

Критерий	G.SHDSL	ADSL	ADSL2	ADSL2+	ADSL2++	VDSL
Число пар в линии	До 4	1	1	1	1	до 2
Длина линии сечением 0,4 мм, км	до 6 без регенерации, до n×6 с регенерацией	5	5	5	5	до 1,2 по 1 паре до 2 по 2 парам
Максимальная скорость (к абоненту/от абонента), Мбит/с	2,3 по 1 паре 4,6 по 2 парам	8/1	12/1	24/2	48/3	18/16 (QAM) 50/30 (DMT)
Работа «поверх» телефонной линии	нет	да	да	да	да	да
Регенерация	Только для цифровых потоков	нет	нет	нет	нет	нет
Возможность работы модема «друг на друга»	да	нет	нет	нет	нет	да

Таблица 7.2. Сравнение технологий xDSL

Технология DSL	Тип передачи Максимальная скорость (прием/передача)	Мах расстояние	Кол-во телефонных пар	Основное применение
ADSL	Асимметричный 24 Мбит/с / 3,5 Мбит/с	5,5 км	1	Доступ в Интернет, голос, видео, HDTV (ADSL2+)
IDSL	Симметричный 144 кбит/с	5,5 км	1	Передача данных
HDSL	Симметричный 1,544...2,048 Мбит/с	4,5 км	1,2	Объединение сетей, услуги E1
SDSL	Симметричный 2 Мбит/с	3 км	1	Объединение сетей, услуги E1
VDSL	Асимметричный 62 Мбит/с / 26 Мбит/с	1,3 км на мах. скорости	1	Объединение сетей, HDTV
SHDSL	Симметричный 2,32 Мбит/с	до 7,5 км	1	Объединение сетей
UADSL	Асимметричный 1,5 Мбит/с / 384 кбит/с	3,5 км на мах. скорости	1	Доступ в Интернет, голос, видео
RADSL	Асимметричный 8 Мбит/с / 640 кбит/с	3-5 км в зависимости от диаметра провода	--	--
MDSL	Диапазон может быть в любой пропорции разделен между нисходящим и восходящим трафиком 768 кбит/с	3-5 км в зависимости от диаметра провода	--	--
Ether Loop	Симметричный до 1,5 Мбит/с	--	--	--

Таблица 7.3. Подробные технические характеристики популярных технологий DSL в зависимости от дальности расположения абонентов

		ADSL	ADSL2	ADSL2+	SHDSL ¹	VDSL2
Симметрия по скорости передачи		Нет	Нет	Нет	Да	Да/нет
Макс. скорость передачи ^{5,7}	Нисходящий поток	8 Мбит/с	11 Мбит/с 10 Мбит/с	25 Мбит/с 23 Мбит/с	5,7 Мбит/с	100 Мбит/с
	Восходящий поток	1 Мбит/с	1 Мбит/с 3 Мбит/с	1 Мбит/с 3 Мбит/с	5,7 Мбит/с	100 Мбит/с
	На дистанции	1,5 км	1,5 км	1,0 км	3,0 км	0,3 км
Макс. Дистанция ^{5,6}		5-6 км	7-8 км ⁷	5-6 км	> 10 км	< 3 км ⁵
Скорость передачи для дистанции 1 км ^{5,7}	Нисходящий поток	8 Мбит/с	7 Мбит/с	14 Мбит/с	4 Мбит/с	25 Мбит/с
	Восходящий поток	1 Мбит/с	2 Мбит/с	2 Мбит/с	4 Мбит/с	5 Мбит/с
Скорость передачи для дистанции 3 км ^{5,7}	Нисходящий поток	1,6 Мбит/с	1,4 Мбит/с	1,7 Мбит/с	1 Мбит/с	1,7 Мбит/с
	Восходящий поток	0,5 Мбит/с	0,7 Мбит/с	0,5 Мбит/с	1 Мбит/с	1 Мбит/с
Скорость передачи для дистанции 8 км ^{5,7}	Нисходящий поток	-	-	-	1 Мбит/с	-
	Восходящий поток	-	-	-	1 Мбит/с	-
Регенератор		Нет	Нет	Нет	Да	нет
Объединение PNU		1	1	1	1/2/3/4	1
Голосовой интерфейс		POTS/ ISDN	POTS/ ISDN	POTS/ ISDN	Внутриполосный (in-band)	POTS/ ISDN
Стандарты		ITU G992.1, T1.413, ETSI TS 101388	ITU G992.3, G.bis	ITU G992.5	ITU G991.2, T1.413, ETSI TS 101524	ITU G993.2

¹Поддерживает SHDSL.bis;

²макс. восходящий поток;

³PSD макс. дистанции;

⁴Более этой дистанции инициализация критична;

⁵канал без шума;

⁶шум: 12 selfNEXT disturber для VDSL, FSAN B – для других;

⁷все результаты основаны на симуляции для PE04 медных проводов.

Перечисленные технологии используются для организации как симметричных так и асимметричных связей. Данный перечень не исчерпывается приведенным выше списком, в который вошли только перспективные, по

мнению авторов, технологии. Самые распространенные из них более подробно рассматриваются ниже.

Таблица 7.4. Типовое применение популярных стандартов DSL

Приложение	ISDL Цифровая абонент- ская линия ISDN (дуплекс 128 Кбит/с)	SDSL/HDSL (дуплекс до 2 Мбит/с)	ADSL (до 8 Мбит/с от сети и до 800 Кбит/с к сети)	VDSL
Доступ к удаленной LAN	+	+	+	
Доступ к интернет	+	+	+	
Размещение информации на узле Web		+		
Видеоконференция		+		
Видео по требованию			+	+
Пакеты программ офиса бизнеса	+	+		
Пакеты программ малого офиса (много пользовате- лей)		+	+	
Пакеты программ домаш- него офиса (один пользо- ватель)	+	+	+	
Сеть с полным набором услуг				+

Опыт внедрения в России и за рубежом показал, что их применение позволяет уменьшить затраты на организацию абонентского доступа к высокоскоростным услугам сети примерно вдвое по сравнению с вариантом использования оптического кабеля. Выбор конкретной технологии зависит от характера абонентской сети, типа передаваемой информации и экономической целесообразности ее применения.

Резюмируя, можно сформулировать некоторые рекомендации по применению описанных выше технологий. В целом можно отметить, что xDSL-технологии эффективны для решения телекоммуникационных задач на этапах развития проектов начального уровня [23]:

- как «удлинитель» Ethernet — организациям и компаниям с территориально ограниченной сетевой инфраструктурой (учебные, научно-исследовательские центры, складские комплексы, аэропорты, заводы, супермаркеты и т. д.), планирующим быстрое объединение разнесенных подразделений в единую сеть;
- операторам связи, предоставляющим доступ в транспортные сети по выделенным линиям и желающим увеличить скорость подключения абонентов на существующих линиях;

- когда требуется оперативно и недорого объединить в локальную сеть несколько удаленных подразделений, один из которых расположен в непосредственной близости от телефонной станции или между ними уже имеется телефонная проводка, а дополнительное кабелирование технически или экономически затруднительно.

Технология SHDSL эффективна в следующих случаях [23]:

- когда требуется быстрое и надежное объединение разнесенных подразделений, расположенных на относительно большом расстоянии (до 7–8 км), в единую сеть;
- когда необходимо обеспечить симметричное дуплексное соединение с гарантированной полосой пропускания и высокими параметрами скорости и дальности передачи данных по витой паре; при наличии другого SHDSL-оборудования взаимная совместимость SHDSL-устройств с оборудованием разных производителей позволяет совместно использовать как модульные концентраторы, так и отдельные пары модемов, соответствующие этому стандарту;
- в критически важных приложениях – в системах управления производством, в ведомственных сетях передачи данных благодаря дальности и надежности связи;
- в любых случаях при условии, что можно «пожертвовать» линией аналоговой телефонной связи, так как SHDSL не оставляет возможности сохранить обычную телефонную связь на линии одновременно с передачей данных.

Технологии ADSL эффективны в следующих случаях [23]:

- для интернет-провайдеров, предоставляющих массовый доступ в Интернет, поскольку базой для внедрения ADSL-сервисов является существующая инфраструктура распределительной телефонной сети, а также на предприятиях при концентрации пользователей в зонах обслуживания местной АТС;
- когда требуется быстро и дешево подключить несколько территориально разнесенных пользователей в единую сеть узлов, расположенных на относительно небольшом расстоянии (до 4–5 км), при этом, однако, на центральном узле необходимо использовать многопортовые концентраторы;
- при дефиците кабельной емкости на магистральных и распределительных кабелях и необходимости сохранить обычную телефонную связь на используемых линиях.

Технология VDSL эффективна в следующих случаях [23]:

- операторам связи и интернет-провайдерам наряду с ADSL – и SHDSL-решениями на небольших удалениях (до 1,5 км) от точек присутствия с целью предоставления услуг нового качества в рамках имеющегося бюджета;
- для интеграции существующих Ethernet-сетей со строящейся телефонной сетью, например в отелях, офисах, складских комплексах;

- для предоставления интегрированных услуг передачи данных и телефонии в бизнес-центрах, гостиничных комплексах, коттеджных поселках с возможностью сохранить обычную телефонную связь на используемых линиях;
- в многоквартирных жилых домах, когда требуется оперативно и надежно предоставить доступ в Интернет и есть доступ к домовой телефонной проводке;
- при сверхвысоких требованиях к пропускной способности канала передачи данных, дефиците кабельной емкости на магистральных и аспределительных телефонных кабелях и необходимости сохранить обычную телефонную связь на используемых медных линиях.

7.2 Технологии цифровых абонентских линии DSL и их функциональные особенности

DSL представляет собой набор различных технологий, позволяющих организовать цифровую абонентскую линию. Для того чтобы понять данные технологии и определить области их практического применения, следует понять, чем эти технологии различаются. Прежде всего, всегда следует держать в уме соотношение между расстоянием, на которое передается сигнал, и скоростью передачи данных, а также разницу в скоростях передачи «нисходящего» (от сети к пользователю) и «восходящего» (от пользователя в сеть) потока данных.

7.2.1 Цифровая абонентская линия ISDN

Сокращение DSL (Digital Subscriber Line – Цифровая абонентская линия) изначально использовалось по отношению к ISDN-BA (доступ базового уровня к цифровой сети связи с интеграцией услуг) [35].

В большинстве своем модемы ISDN-BA используют технологию компенсации эхо-сигналов, которая позволяет организовать полностью дуплексную передачу на скорости 160 Кбит/с по одной ненагруженной паре телефонных проводов. Трансиверы ISDN-BA, в которых используется технология эхоподавления, позволяют использовать полосу частот приблизительно от 10 до 100 кГц, а пик спектральной плотности мощности систем DSL, базирующихся на 2B1Q, находится в районе 40 кГц с первым спектральным нулем на частоте 80 кГц. 4-уровневый линейный код PAM (амплитудно-импульсная модуляция, прямая, немодулированная передача), известный как 2B1Q, был разработан компанией BT Laboratories. ETSI (Европейский институт телекоммуникационных стандартов) адаптировал этот код для Европы и также в качестве альтернативы разработал линейный код 4B3T (MMS43), в основном используемый в Германии [35].

Системы ISDN-BA выгодно отличаются тем, что могут использоваться на длинных телефонных линиях, и большая часть абонентских линий допускает использование данных систем. Данная технология уже используется

в течение значительного времени, и за последние годы было достигнуто значительное улучшение рабочих характеристик трансиверов [35].

Передача данных по линии DSL обычно осуществляется по двум каналам «В» (каналам передачи информации) со скоростью 64 Кбит/с по каждому, плюс по каналу «D» (служебному каналу), по которому со скоростью 16 Кбит/с передаются сигналы управления и служебная информация, иногда он может использоваться для пакетной передачи данных (рис. 7.5). Это обеспечивает пользователю возможность доступа со скоростью 128 Кбит/с (плюс передача служебной информации – итого 144 Кбит/с). Дополнительный служебный канал в 16 Кбит/с предоставляется для встроенного служебного канала, который предназначен для обмена информацией (например, статистики работы линии передачи данных) между LT (линейным окончанием) и NT (сетевым окончанием). Обычно встроенный эксплуатационный канал недоступен конечному пользователю [35].

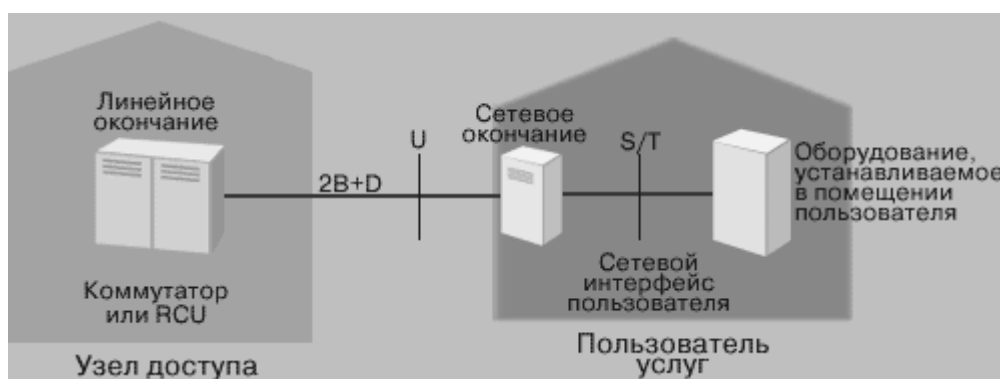


Рис. 7.5. Концепция ISDN-BA базового уровня (DSL)

По всему миру было установлено несколько миллионов линий ISDN-BA. Потребность в линиях ISDN значительно увеличилась, так как значительно выросла потребность в высокоскоростном доступе в сеть Интернет [35].

Технология IDSL обеспечивает полностью дуплексную передачу данных на скорости до 144 кбит/с. В отличие от ADSL возможности IDSL ограничиваются только передачей данных.

Несмотря на то, что IDSL, также как и ISDN, использует модуляцию 2B1Q, между ними имеется ряд отличий. В отличие от ISDN линия IDSL является некоммутируемой линией, не приводящей к увеличению нагрузки на коммутационное оборудование провайдера. Также линия IDSL является «постоянно включенной» (как и любая линия, организованная с использованием технологии DSL), в то время как ISDN требует установки соединения [37].

7.2.2 Асимметричная цифровая абонентская линия ADSL

Технология ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая абонентская линия) также была разработана в Северной Америке в середине 1990-х годов. Она была разработана для предоставления таких услуг, которые требуют асимметричной передачи данных, например, видео по запросу, когда требуется передавать большой поток данных в сторону поль-

зователя, а в сторону сети от пользователя передается гораздо меньший объем данных [35].

Такая асимметрия, в сочетании с состоянием «постоянно установленного соединения» (когда исключается необходимость каждый раз набирать телефонный номер и ждать установки соединения), делает технологию ADSL идеальной для организации доступа в сеть Интернет, доступа к локальным сетям (ЛВС) и т. п. При организации таких соединений пользователи обычно получают гораздо больший объем информации, чем передают.

Технология ADSL обеспечивает скорость «нисходящего» потока данных в пределах от 1,5 до 8 Мбит/с и скорость «восходящего» потока данных от 640 Кбит/с до 1,5 Мбит/с. ADSL позволяет передавать данные со скоростью 1,54 Мбит/с на расстояние до 5,5 км по одной витой паре проводов. Скорость передачи порядка 6-8 Мбит/с может быть достигнута при передаче данных на расстояние не более 3,5 км по проводам диаметром 0,5 мм [37, 38].

Для ADSL требовалось очень высокое качество передачи (коэффициент битовых ошибок BER не менее 1×10^{-9}), потому что была нужна технология передачи потоков видеоданных с кодировкой MPEG, характеризующейся очень высоким битрейтом и низкой избыточностью, когда даже единичные ошибки оказывают значительное влияние на качество изображения. Это потребовало использования технологий чередования данных и FEC (упреждающая коррекция ошибок), которые никогда не рассматривались по отношению к ISDN-BA или HDSL. Ценой за это послужило увеличение времени ожидания. Именно поэтому ранние системы ADSL имели задержку в 20 мс по сравнению с ISDN-BA или HDSL, которые не превышали предел в 1,25 мс [35].

Кроме того, что технология ADSL обеспечивает крайне асимметричную передачу данных, она также отличается от ISDN-BA/HDSL тем, что позволяет использовать ту же самую пару проводов для традиционной телефонной связи. Для этого используются специальные устройства разделения сигналов (сплиттеры) – рис. 7.6 [35].

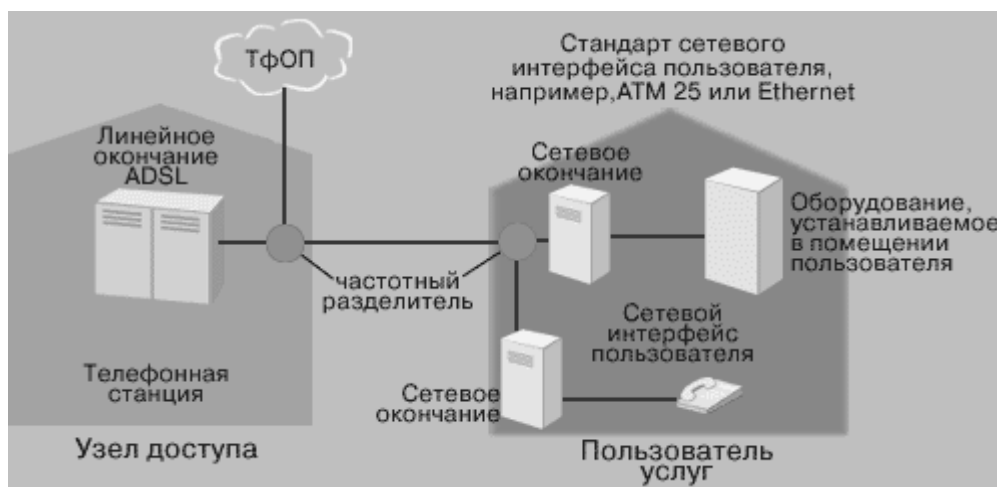


Рис. 7.6. Концепция асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL)

ADSL использует технологию FDD (частотное разделение для обеспечения дуплексной связи), которая позволяет выделить одну полосу частот для восходящего потока данных (направление от пользователя к станции), а другую полосу частот — для нисходящего потока данных (от станции к пользователю) – рис. 7.7 [35].

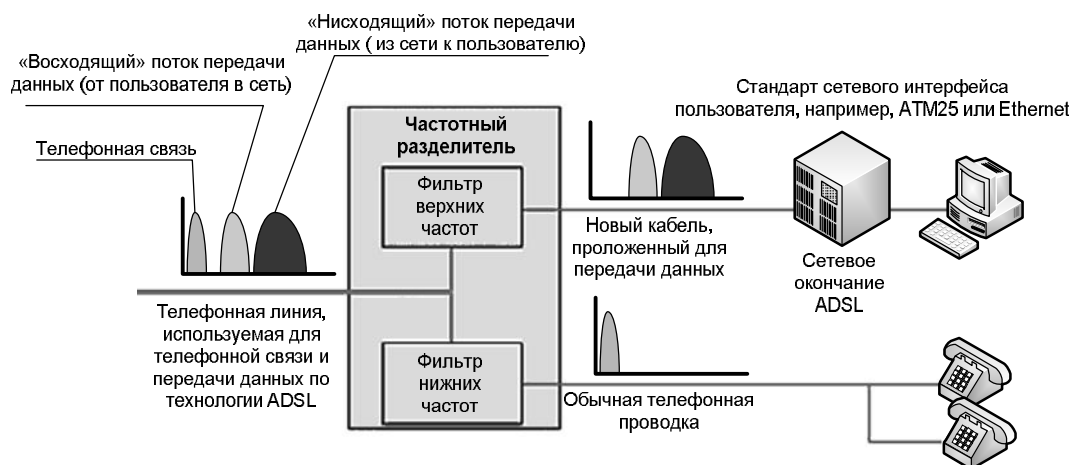


Рис. 7.7. Пример ADSL с частотным уплотнением и сплиттером

Технология FDD позволяет расширить используемую полосу частот приблизительно до 1 МГц. В некоторых вариантах ADSL используется технология подавления эхо-сигналов, что позволяет еще лучше использовать доступный спектр частот, перекрывая часть диапазона, занятого нисходящим потоком данных, передачей данных в восходящем направлении.

Одно из главных преимуществ технологии ADSL по сравнению с аналоговыми модемами и протоколами ISDN HDSL и SHDSL – то, что поддержка голоса никак не отражается на параллельной передаче данных по двум быстрым каналам. Это связано с тем, что ADSL основана на принципах разделения частот, благодаря чему голосовой канал надежно отделяется от двух других каналов передачи данных [36].

Оборудование ADSL, размещенное на АТС, и абонентский ADSL-модем, подключаемые к обоим концам телефонной линии, образуют три группы каналов (три поддиапазона) передачи данных и телефонии [36]:

- *высокоскоростную из сети в компьютер (скорость – от 32 Кбит/с до 8 Мбит/с);*
- *скоростную от компьютера в сеть (скорость – от 32 Кбит/с до 1 Мбит/с);*
- *простой канал телефонной связи, по которому передаются обычные телефонные разговоры.*

Технология OFDM для ADSL-DMT (Discrete Multi Tone)

В рамках скоростных каналов для передачи данных используется устойчивая к узкополосным помехам и шумам технология DMT, в соответствии с

которой вся свободная от телефонии полоса (от 26 кГц до 1,1 МГц для базовой технологии и до 2,2 МГц для ADSL2+) делится на элементарные каналы шириной немногим более 4 кГц, и разные несущие одновременно переносят различные части передаваемых данных. Величина максимально достижимой скорости передачи/приема данных при этом, повторимся, зависит от длины и качества телефонной линии [36].

Основные положения метода модуляции DMT (Discrete Multi Tone) были сформулированы и запатентованы специалистами Amati Communications еще в начале 1990-х годов. С 1993 года технология стандартизирована ANSI в качестве метода линейного кодирования для систем передачи данных. На настоящий момент DMT является одной из основных схем модуляции для технологий ADSL и VDSL (рис. 7.8) [36].

Технология DMT использует не одну, а группу частот несущих колебаний. Весь расчетный частотный диапазон линии делится на несколько участков шириной по 4,3125 кГц. Каждый из них используется для организации независимого канала передачи данных.

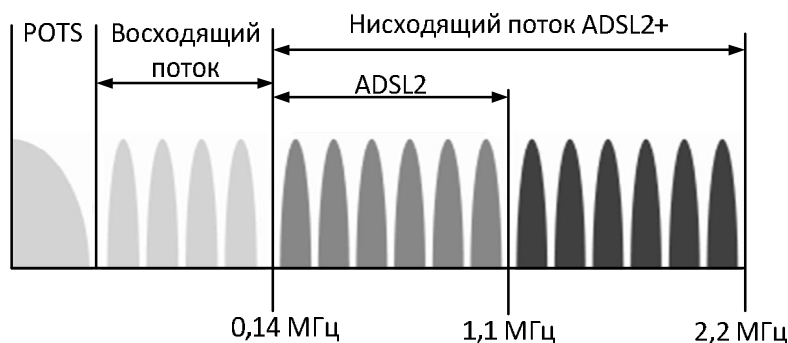


Рис. 7.8. Технологии ADSL/ADSL2+:
использование частотного диапазона линии

На этапе проверки качества линии передатчик, исходя из уровня помех в частотном диапазоне участка, для каждого из этих каналов выбирает подходящую модуляционную схему.

На «чистых» каналах с малым уровнем шумов могут быть использованы «продвинутые» методы модуляции с высоким уровнем, например QAM-64, на более зашумленных участках – типа QPSK. Такой принцип регулирования скорости обмена позволяет наиболее точно согласовывать параметры модулированного сигнала с параметрами линии, по которой он будет передаваться. При передаче данных информация распределяется между независимыми каналами пропорционально их пропускной способности, приемнику остается выполнить операцию демультимплексирования и восстановить исходный информационный поток [36].

Скорости нисходящего и восходящего потоков данных в ADSL изменяются и зависят от длины абонентской телефонной линии и уровня шумов. В основном на ADSL оказывают влияние помехи на дальнем конце линии (FEXT), в то время как ISDN-BA и HDSL обычно имеют ограничения из-за помех на ближнем конце линии (NEXT). Именно то, что основные ограниче-

ния касаются помех на дальнем конце линии, позволяет достигнуть скорости передачи для нисходящего потока данных в 2 Мбит/с по большинству абонентских телефонных линий. Полоса частот, используемая для восходящего потока данных, по технологии значительно уже, поэтому обычно скорость передачи восходящего потока данных достигает нескольких сотен Кбит/с [36].

Трансивер ADSL может выступать не только средством битовой передачи, но и средством передачи ячеек АТМ, т. е. иметь мультисервисные возможности [36].

7.2.3 Цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения R-ADSL

Технология цифровой абонентской линии с адаптацией скорости соединения R-ADSL (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line) обеспечивает такую же скорость передачи данных, что и технология ADSL, но при этом позволяет адаптировать скорость передачи к протяженности и состоянию используемой витой пары проводов. При использовании технологии R-ADSL соединение на разных телефонных линиях будет иметь разную скорость передачи данных. Скорость передачи данных может выбираться при синхронизации линии, во время соединения или по сигналу, поступающему от станции [37].

Технология ADSL2+

Требования к технологии *ADSL2+* определены в Рекомендациях G.992.5 ITU-T, принятой в феврале 2003 г. Увеличенная полоса используемых частот (до 22 МГц) позволит передавать данные со скоростью до 25 Мбит/с на расстояние около 1 км.

Цифровая абонентская линия G.Lite (ADSL.Lite)

G.Lite (ADSL.Lite) представляет собой более дешёвый и простой в установке вариант технологии ADSL, обеспечивающий скорость «нисходящего» потока данных до 1,5 Мбит/с и скорость «восходящего» потока данных до 512 Кбит/с или по 256 Кбит/с в обоих направлениях на расстояние до 3,5 км [37].

7.2.4 Сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия VDSL

Технология сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии VDSL (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line) является наиболее «быстрой» асимметричной технологией xDSL. Она обеспечивает скорость передачи данных «нисходящего» потока в пределах от 13 до 52 Мбит/с, а скорость передачи данных «восходящего» потока в пределах от 1,5 до 2,3 Мбит/с, при-

чем по одной витой паре телефонных проводов. В симметричном режиме поддерживаются скорости до 26 Мбит/с.

Технология VDSL может рассматриваться как экономически эффективная альтернатива прокладыванию волоконно-оптического кабеля до конечного пользователя. Однако, максимальное расстояние передачи данных для этой технологии составляет от 300 до 1300 м. То есть, либо длина абонентской линии не должна превышать данного значения, либо оптиковолоконный кабель должен быть подведен поближе к пользователю (например, заведен в здание, в котором находится много потенциальных пользователей). Технология VDSL может использоваться с теми же целями, что и ADSL, кроме того, она может использоваться для передачи сигналов телевидения высокой четкости (HDTV), видео по запросу и т. п. [37].

Технология VDSL является результатом естественной эволюции технологии ADSL в сторону увеличения скорости передачи данных и использования еще более широкой полосы частот. Данная технология может быть успешно внедрена путем сокращения эффективной длины абонентской линии за счет расширения сети волоконно-оптических линий и их внедрения в существующую сеть доступа.

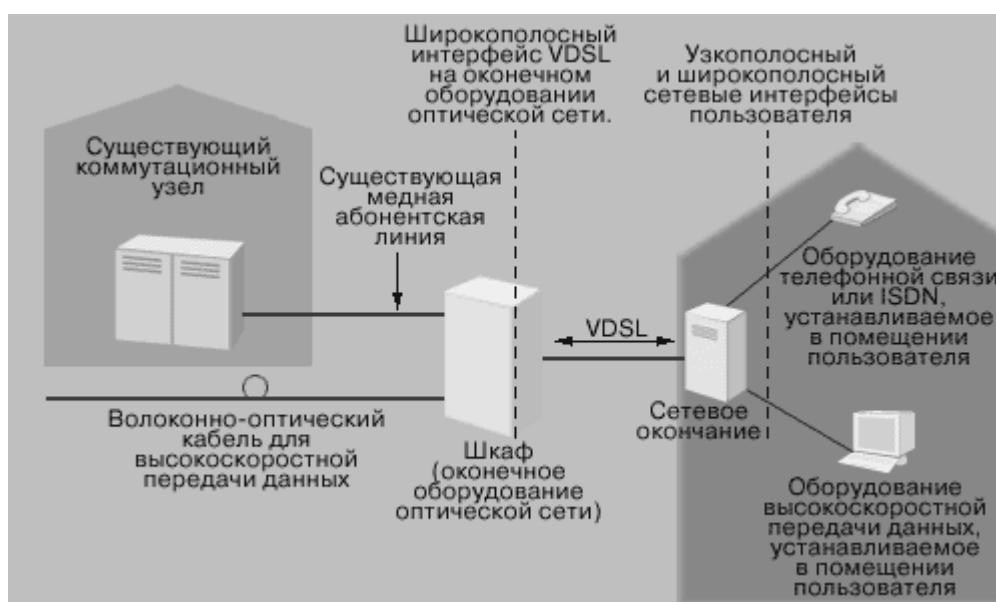


Рис. 7.9. Концепция технологии VDSL

Концепция VDSL показана на рис. 7.9 [35].

7.2.5 Высокоскоростная цифровая абонентская линия HDSL

Стандарт HDSL (High Bit-Rate Digital Subscriber Line - высокоскоростная цифровая абонентская линия) берет свое начало от стандарта ISDN-BA. Оригинальная концепция HDSL была разработана в Северной Америке, разработчики DSL пытались повысить тактовую частоту ISDN, чтобы увидеть, насколько далеко и насколько быстро могут работать системы высокоскоростной передачи данных. Следует также учитывать, что одновременно также

очень быстро развивалась технология DSP (технология цифровой обработки сигнала).

Исследовательская работа привела к удивительному открытию. Оказывается, даже простая 4-уровневая модуляция PAM (амплитудно-импульсная модуляция) позволяет работать на скоростях до 800 Кбит/с при вполне приемлемой длине линии (в США данная зона называется Carrier Serving Area — зона обслуживания оператора). Была снова использована технология компенсации эхо-сигналов, которая позволила организовать двустороннюю передачу данных со скоростью 784 Кбит/с по одной паре проводов, отвечая при этом всем требованиям по расстоянию передачи и запасу по помехоустойчивости, которые должны быть выполнены для предоставления необходимого качества обслуживания [35].

Технология HDSL предусматривает организацию симметричной линии передачи данных, то есть скорости передачи данных от пользователя в сеть и из сети к пользователю равны. Благодаря скорости передачи (1,544 Мбит/с по двум парам проводов и 2,048 Мбит/с по трем парам проводов) телекоммуникационные компании используют технологию HDSL в качестве альтернативы линиям T1/E1 (линии T1 используются в Северной Америке и обеспечивают скорость передачи данных 1,544 Мбит/с, а линии E1 используются в Европе и обеспечивают скорость передачи данных 2,048 Мбит/с). Хотя расстояние, на которое система HDSL передает данные (порядка 3,5-4,5 км), меньше, чем при использовании технологии ADSL, для недорогого, но эффективного, увеличения длины линии HDSL телефонные компании устанавливают специальные повторители. Использование для организации линии HDSL двух или трех витых пар телефонных проводов делает эту систему идеальным решением для соединения АТС, серверов Интернет, локальных сетей и т. п.

Технология HDSL представляет собой систему двухсторонней симметричной передачи данных (рис. 7.10), которая позволяет передавать данные со скоростью 1,544 Мбит/с или 2,048 Мбит/с по нескольким парам проводов сети доступа. Рекомендованы два линейных кода: амплитудно-импульсная модуляция 2B1Q и амплитудно-фазовая модуляция без несущей (CAP). Модуляция CAP используется для передачи со скоростью 2,048 Мбит/с, в то время как для модуляции 2B1Q определены два различных цикла [35].

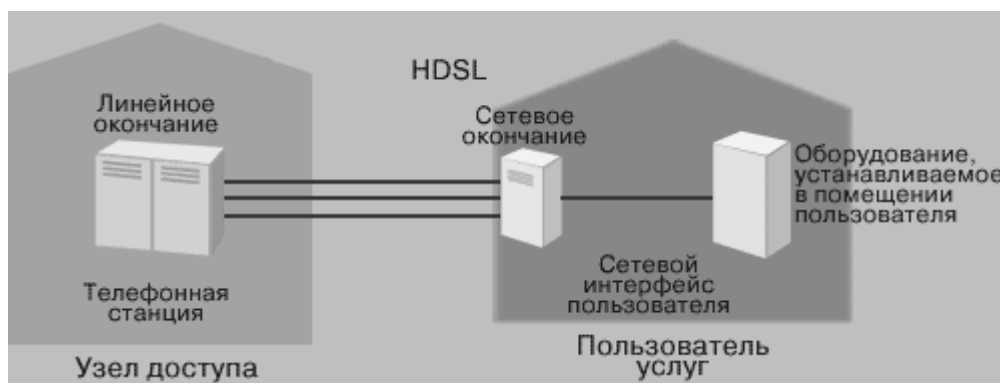


Рис. 7.10. Концепция высокоскоростной цифровой абонентской линии HDSL

Стандарт 2B1Q для скорости 2,048 Мбит/с обеспечивает как двустороннюю передачу по одной паре проводов, так и параллельную передачу по двум или трем парам проводов. Это позволяет распределить данные по нескольким парам и снизить скорость передачи символов для увеличения предельной длины линии, по которой может осуществляться передача.

Стандарт CAP позволяет передавать данные только по одной или двум парам проводов, а стандарт 2B1Q для скорости 1,544 Мбит/с предназначен только для двух линий [35].

Всем опытом эксплуатации HDSL доказал свои высокие эксплуатационные характеристики. В подавляющем большинстве случаев монтаж HDSL оборудования проводится без дополнительного подбора пар или кондиционирования линии – рис. 7.11.



Рис. 7.11. Эволюция систем передачи HDSL

Благодаря этому сегодня большая часть линий E1 подключена с применением HDSL оборудования. Более того, сам факт появления технологии, которая обеспечила возможность экономичных решений по организации цифровых подключений абонентов, привел к тому, что число таких подключений стало стремительно расти. Иными словами, именно появление HDSL стало своеобразным катализатором развития цифровых сетей [39].

7.2.6 Однолинейная цифровая абонентская линия SDSL

Технология однолинейной цифровой абонентской линии SDSL (Single Line Digital Subscriber Line) также как и технология HDSL, обеспечивает симметричную передачу данных со скоростями, соответствующими скоростям линии T1/E1, но при этом технология SDSL имеет два важных отличия:

- используется только одна витая пара проводов;
- максимальное расстояние передачи ограничено 3 км.

В пределах этого расстояния технология SDSL обеспечивает, например, работу системы организации видеоконференций, когда требуется поддержи-

вать одинаковые потоки передачи данных в оба направления. В определенном смысле технология SDSL является предшественником технологии HDSL2 [37].

Симметричная или двухпроводная линия DSL (SDSL) является симметричной и базируется на более ранней технологии HDSL, но имеет целый ряд усовершенствований, которые позволяют более гибко организовать передачу данных по одной паре проводов. Технология SDSL может найти применение, как в сфере бизнеса, так и в частном секторе, что создает ей очень высокую потенциальную ценность [35].

Стоит заметить, что некоторые современные производители узкополосного коммутационного оборудования рассматривают данную технологию как один из способов продления существования оборудования данного типа. Технология SDSL может использоваться в виде встроенных линейных карт, способных передавать 2 канала типа В коммутируемого трафика через коммутационную сеть. Любые другие возможности высокоскоростного доступа выводятся из коммутируемой сети в некоммутируемую сеть высокоскоростной передачи данных IP или ATM. Кроме того, технология SDSL совместима с архитектурой мультиплексора доступа цифровой абонентской линии (DSLAM) и может использоваться в качестве дополнения к таким технологиям доступа как HDSL, ADSL и VDSL [35].

7.2.7 Высокоскоростная цифровая абонентская линия HDSL 2

Новая технология, появившаяся в результате огромной трехлетней работы, получила название HDSL2 (нужно отметить, что работа над ее стандартизацией ввиду некоторых разногласий между основными производителями пока не окончена и стандарт существует в виде рабочей версии T1.418-2000). Изначально в качестве основы для реализации HDSL2 рассматривались симметричная передача с эхоподавлением (SEC) и частотное мультиплексирование (FDM), но обе были отклонены из-за присущих им недостатков. Первая имеет серьезные ограничения в условиях помех на ближнем конце, что делает ее неприменимой для массового развертывания. Вторая, хотя и свободна от недостатков первой, но требует использования более широкого спектра и не обеспечивает требований по взаимному влиянию с системами передачи других технологий [39].

В результате, в качестве основы была принята система передачи с перекрывающимся, но несимметричным распределением спектральной плотности сигнала, передаваемого в различных направлениях, использующая 16-уровневую модуляцию PAM (Pulse Amplitude Modulation). Выбранный способ модуляции PAM-16 обеспечивает передачу трех бит полезной информации и дополнительного бита (кодирование для защиты от ошибок) в одном символе. Сама по себе модуляция PAM не несет в себе ничего нового. Хорошо известная 2B1Q – это тоже модуляция PAM, но четырехуровневая. Использование решетчатых (Trellis) кодов, которые за счет введения избыточ-

ности передаваемых данных позволили снизить вероятность ошибок, дало выигрыш в 5 Дб.

Результирующая система получила название TC-PAM (Trellis coded PAM). При декодировании в приемнике используется весьма эффективный алгоритм Витерби. Дополнительный выигрыш получен за счет применения прекодирования Томлинсона — искажении сигнала в передатчике на основе знания импульсной характеристики канала. Суммарный выигрыш за счет использования такой достаточно сложной технологии кодирования сигнала составляет до 30% по сравнению с ранее используемыми HDSL/SDSL системами [39].

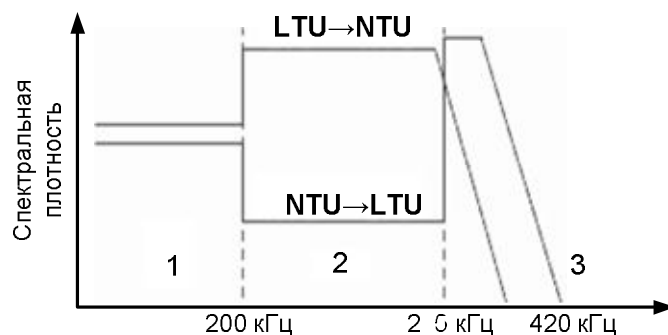


Рис. 7.12. Спектральная плотность сигнала G.shdsl

Но все-таки, ключевым элементом успеха новой технологии является идея несимметричного распределения спектра, получившее наименование OPTIS (Overlapped PAM Transmission with Interlocking Spectra) и послужившее основой HDSL2 и, впоследствии, G.shdsl. При выборе распределения спектральной плотности для OPTIS решалось одновременно несколько задач (см. рис. 7.12).

В первой области диапазона частот (0-200 кГц), где переходное влияние минимально, спектральные плотности сигналов, передаваемых в обе стороны одинаковы. Во втором диапазоне частот (200-250 кГц), спектральная плотность сигнала от LTU (оборудования на узле связи) к NTU (абонентскому оборудованию) уменьшена, чтобы снизить его влияние на сигнал в обратном направлении в этой области частот. Благодаря этому переходные влияния на ближнем конце в обоих диапазонах частот оказываются одинаковыми.

В свою очередь мощность сигнала от NTU к LTU во втором диапазоне частот уменьшена, что даёт дальнейшее улучшение отношения сигнал/шум в этой области частот. Следует отметить, что это уменьшение не ухудшает отношения сигнал/шум на входе NTU по двум причинам:

- *во-первых*, полоса частот сигнала от LTU к NTU увеличена по сравнению с полосой частот сигнала в обратном направлении;
- *во-вторых*, абонентские модемы NTU пространственно разнесены, что также уменьшает уровень переходной помехи.

В третьем диапазоне частот спектральная плотность сигнала от LTU к

NTU максимальна, поскольку сигнал в обратном направлении в этой области почти отсутствует, и отношение сигнал/шум для сигнала на входе NTU оказывается высоким. Выбранная форма спектра является оптимальной не только в случае, когда в кабеле работают только системы HDSL2. Она будет оптимальна и при работе с ADSL, поскольку сигнал HDSL2 от NTU к LTU выше частоты 250 кГц, где сосредоточена основная мощность составляющих нисходящего потока ADSL, практически подавлен.

Предварительные расчёты показали, что помехи от системы HDSL2 в нисходящем тракте системы ADSL (от LTU к NTU) меньше помех от системы HDSL, работающей по двум парам, и существенно меньше помех от системы HDSL, использующей код 2B1Q и работающей по одной паре на полной скорости [39].

7.2.8 Сверхбыстродействующие цифровые абонентские линии SHDSL и G.shdsl

Технологии сверхбыстродействующих цифровых абонентских линий SHDSL (англ. Single-pair High-speed DSL) и G.shdsl утвержденные ITU G.991.2 – одна из технологий цифровой абонентской линии, обеспечивает симметричную дуплексную передачу данных по паре медных проводников. Основные идеи взяты из технологии HDSL2.

По стандарту технология SHDSL обеспечивает симметричную дуплексную передачу данных со скоростями от 192 кбит/с до 2.3 Мбит/с (с шагом в 8 Кбит/с) по одной паре проводов, соответственно от 384 кбит/с до 4,6 Мбит/с по двум парам.

При использовании методов кодирования TC-PAM 128, стало возможным повысить скорость передачи до 15,2 Мбит/с по одной паре и до 30,4 Мбит/с по двум парам соответственно.

В 1998 году в ITU-T началась работа над всемирным стандартом G.shdsl (стандарт G.991.2 утвержден в феврале 2001 г.), европейской версией этого стандарта занимается и ETSI (сейчас он оформлен в виде спецификации TS 101524) [39]. Сравнительный анализ характеристик технологий симметричного доступа HDSL и G.shdsl приведен в таблице 7.5.

Таблица 7.5. Сравнительный анализ характеристик технологий симметричного доступа HDSL и G.shdsl по данным работы [23]

Система передачи	Тип модуляции	Скорость передачи, Кбит/с	Количество пар (d = 0,4 мм)	Длина линии, км
HDSL	2B1Q	784	3	3
HDSL	2B1Q/CAP	1168	2	2,5
HDSL	2B1Q/CAP	2320	1	2
G.SHDSL	TC-PAM	2320	1	2
G.SHDSL	TC-PAM	192	1	6
G.SHDSL	TC-PAM	4624	2	2
G.SHDSL	TC-PAM	384	2	6

В основу технологии G.shdsl были положены основные идеи HDSL2, получившие дальнейшее развитие. Была поставлена задача, используя способы линейного кодирования и технологию модуляции HDSL2, снизить взаимное влияние на соседние линии ADSL при скоростях передачи выше 784 Кбит/с [39].

Поскольку новая система использует более эффективный линейный код по сравнению с 2B1Q, то при любой скорости сигнал G.shdsl занимает более узкую полосу частот, чем соответствующий той же скорости сигнал 2B1Q. Поэтому помехи от систем G.shdsl на другие системы xDSL имеют меньшую мощность по сравнению с помехами, создаваемыми HDSL типа 2B1Q. Более того, спектральная плотность сигнала G.shdsl имеет такую форму, которая обеспечивает его почти идеальную спектральную совместимость с сигналами ADSL [39].

Есть и другие достоинства G.shdsl. По сравнению с двух парными вариантами, однопарные варианты обеспечивают существенный выигрыш по аппаратным затратам и, соответственно, надежности изделия. Ресурс снижения стоимости составляет до 30% для модемов и до 40% для регенераторов – ведь каждая из пар требует приемопередатчика HDSL, линейных цепей, элементов защиты и т. п. [39].

В целях поддержки клиентов различного уровня, в G.shdsl предусмотрена возможность выбора скорости в диапазоне 192–2320 Кбит/с с шагом 8 Кбит/с. Уменьшая скорость, можно добиться увеличения дальности в тех случаях, когда установка регенераторов невозможна. Так, если при максимальной скорости рабочая дальность составляет около 2 км (для провода 0,4 мм), то при минимальной – свыше 6 км (рис. 7.13).



Рис. 7.13. Возможности систем передачи G.shdsl

В технологии G.shdsl также предусмотрена возможность использования для передачи данных одновременно двух пар, что позволяет увеличить предельную скорость передачи до 4624 Кбит/с. Но, главное, можно удвоить максимальную скорость, которую удастся получить на реальном кабеле, по которому подключен абонент [39].

Для обеспечения взаимной совместимости оборудования различных производителей в стандарт G.shdsl был инкорпорирован стандарт G.hsbis (G.844.1), описывающий процедуру инициализации соединения. Предусмотрено два варианта процедуры:

- 1) оборудование LTU (установленное на АТС) диктует параметры соединения NTU (оборудованию клиента);
- 2) оба устройства «договариваются» о скорости передачи с учетом состояния линии.

Учитывая неизвестные начальные условия, при обмене данными во время инициализации для гарантированного установления соединения применяется низкая скорость передачи и один из классических методов модуляции DPSK. Кроме установки скорости, стандарт G.shdsl описывает и порядок выбора протокола в процессе установки соединения. Чтобы обеспечить совместимость со всеми используемыми на сегодня сервисами G.shdsl модем должен реализовать возможность работы с такими протоколами, как E1, ATM, IP, PCM, ISDN.

Для обеспечения гарантированной работоспособности приложений реального времени, стандартом G.shdsl ограничена максимальная задержка данных в канале передачи (не более 500 мс). Наиболее используемыми приложениями этого вида для G.shdsl являются передача голоса VoDSL во всех ее разновидностях (PCM – обычный цифровой канал телефонии, VoIP – голос через IP и VoATM-голос через ATM) и видеоконференцсвязь [39].

За счет оптимального выбора протокола во время инициализации в G.shdsl удастся дополнительно снизить задержки в канале передачи. Например, для IP трафика устанавливается соответствующий протокол, что позволяет отказаться от передачи избыточной информации, по сравнению с IP пакетами, инкапсулированными в ATM ячейки. А для передачи цифровых телефонных каналов в формате ИКМ непосредственно выделяется часть полосы DSL канала [39].

Стоит отметить, что упомянутые выше передача голоса и видеоконференцсвязь требуют передачи симметричных потоков данных в обе стороны. Симметричная передача необходима и для подключения локальных сетей корпоративных пользователей, которые используют удаленный доступ к серверам с информацией. Поэтому, в отличие от других высокоскоростных технологий (ADSL и VDSL), G.shdsl как нельзя лучше подходит для организации последней мили. Так, при максимальной скорости она обеспечивает передачу 36 стандартных голосовых каналов. Тогда как ADSL, где ограничивающим фактором является низкая скорость передачи от абонента к сети (640 Кбит/с), позволяет организовать лишь 9 голосовых каналов, не оставляя места для передачи данных [39].

Еще одна задача, которая успешно решена в G.shdsl – снижение энергопотребления. Поскольку для дистанционного питания используется одна пара, важность этой задачи трудно переоценить. Еще одна положительная сторона – снижение рассеиваемой мощности – открывает путь к созданию высоко интегрированного стационарного оборудования [39].

7.2.9 Цифровой абонентский доступ по линии электропередачи PCL

Для линий связи PDSL (Power Digital Subscriber Line – цифровой абонентский доступ по линии электропередачи) так же применим термин PLC (англ. Power line communication) – термин, описывающий несколько разных систем для использования линий электропередачи (ЛЭП) для передачи голосовой информации или данных. Сеть может передавать голос и данные, накладывая аналоговый сигнал поверх стандартного переменного тока частотой 50 Гц или 60 Гц. PLC включает BPL (англ. Broadband over Power Lines – широкополосная передача через линии электропередачи), обеспечивающий передачу данных со скоростью более 1 Мбит/с, и NPL (англ. Narrowband over Power Lines – узкополосная передача через линии электропередачи) со значительно меньшими скоростями передачи данных [40, 41].

Технология PLC базируется на использовании силовых электросетей для высокоскоростного информационного обмена. Эксперименты по передаче данных по электросети велись достаточно давно, но низкая скорость передачи и слабая помехозащищенность были наиболее узким местом данной технологии. Но появление более мощных DSP-процессоров (цифровые сигнальные процессоры) дали возможность использовать более сложные способы модуляции сигнала, такие как OFDM-модуляция, что позволило значительно продвинуться вперед в реализации технологии PLC [40, 41].

В 2000 году несколько крупных лидеров на рынке телекоммуникаций объединились в HomePlug Powerline Alliance с целью совместного проведения научных исследований и практических испытаний, а также принятия единого стандарта на передачу данных по системам электропитания. Прототипом PowerLine является технология PowerPacket фирмы Intellon, положенная в основу для создания единого стандарта HomePlug1.0 (принят альянсом HomePlug 26 июня 2001 года), в котором определена скорость передачи данных до 14 Мбит/с [40, 41].

Основой технологии PowerLine является использование частотного разделения сигнала, при котором высокоскоростной поток данных разбирается на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей частоте с последующим их объединением в один сигнал. Реально в технологии PowerLine используются 84 поднесущие частоты в диапазоне 4–21 МГц [40, 41].

При передаче сигналов по бытовой электросети могут возникать большие затухания в передающей функции на определенных частотах, что может привести к потере данных. В технологии PowerLine предусмотрен специальный метод решения этой проблемы – динамическое включение и выключение передачи сигнала. Суть данного метода заключается в том, что устройство осуществляет постоянный мониторинг канала передачи с целью выявления участка спектра с превышением определенного порогового значения затухания. В случае обнаружения данного факта, использование этих частот на время прекращается до восстановления нормального значения затухания [40, 41].

Существует также проблема возникновения импульсных помех (до 1 мкс), источниками которых могут быть галогенные лампы, а также включение и выключение мощных бытовых электроприборов, оборудованных электрическими двигателями [40, 41].

Преимущества [40, 41]:

- простота использования;
- не требуется прокладка отдельного кабеля.

Недостатки [40, 41]:

- крайне уязвима со стороны радиопередающих устройств коротковолнового диапазона (включая легальные радиовещательные и радиолучительские радиостанции);
- пропускная способность сети по электропроводке делится между всеми ее участниками;
- требуются специальные совместимые сетевые фильтры и ИБП. Через обычные не работает;
- нарушается радиоприём, особенно на средних и коротких волнах.
- на качество связи оказывают отрицательное влияние энергосберегающие лампы, импульсные блоки питания, зарядные устройства, выключатели освещения и т. п. и т. д. (снижение скорости около от 5 до 50%);
- на качество и скорость связи оказывает отрицательное влияние топология и качество электропроводки, тип/режим/мощность бытовых электроприборов и устройств, наличие скруток (снижение скорости до полного пропадания);
- монтаж требует работы под напряжением;
- поскольку стандарт пересекается с коротковолновым диапазоном частот, то создаются взаимные помехи для связной и радиовещательной аппаратуры. Повсеместное распространение стандарта делает невозможным прием коротковолновых передач на расстоянии от сотен метров до километров от зданий и вблизи ЛЭП, где применяется данная технология.

В связи с вышеперечисленным, а также в связи с широкой доступностью помехоустойчивых Ethernet и DSL технологий, технология PLC не может серьезно рассматриваться как техническое решение для построения высокоскоростных систем абонентского доступа из-за высокой уязвимости к промышленным помехам и излучениям.

7.3 Стандартные конфигурации проводного широкополосного доступа

При решении проблемы широкополосного доступа пользователей с помощью технологий xDSL, кабельных модемов и беспроводных технологий и сетевые операторы ищут оптимальные способы конфигурации доступа, которые позволили бы минимизировать затраты, связанные с модернизацией су-

ществующих инфраструктур абонентского доступа, а также упростить и ускорить процесс предоставления новых услуг [42].

Существует целый ряд альтернативных способов конфигурации доступа, важнейшими из которых являются следующие [42]:

- метод доступа с использованием статической адресации IP;
- метод доступа с использованием динамической адресации IP на основе протокола DHCP (Dynamic Host Control Protocol);
- метод доступа с использованием протокола PPP (Point-to-Point Protocol, точка-точка) «поверх» («over») ATM (PPPoA);
- метод доступа с использованием протокола PPP «поверх» Ethernet (PPPoE).

Хотя каждый из этих способов может потенциально применяться в определённых приложениях, метод PPPoE наиболее полно удовлетворяет требованиям пользователей, позволяя провайдером услуг использовать существующее аппаратное и программное обеспечение, включая системы обеспечения доступа и оплаты услуг связи.

Рассмотрим более подробно перечисленные способы конфигурации доступа к сетевым услугам.

1 Статическая адресация IP является наиболее прямым и, вместе с тем, наиболее дорогим способом, поскольку каждому абоненту присваивается индивидуальный IP-адрес. Очевидно, что этот способ имеет недостаточную масштабируемость; его применение целесообразно в локальной сети, где количество компьютеров мало и не предполагается их дальнейшее увеличение. Пользователи такой сети имеют доступ практически к любым сетевым услугам, поскольку эта архитектура доступа не поддерживает процедуры аутентификации пользователя, т.е. адресации невозможны. Поскольку каждая статическая IP адресация требует жёсткой конфигурации для каждого абонента, возможные модификации сети затруднены, а вся архитектура требует существенных затрат на инсталлирование и неудобна при смене конфигурации сети. Однако для пользователей имеющих достаточные финансовые возможности, наличие постоянного доступа на основе статистического IP адреса является хорошим вариантом [42].

2 Протокол динамического распределения адресов DHCP, выгодно отличается от статической адресации прежде всего своей гибкостью, поскольку она опирается на использование серверов DHCP, которые автоматически приписывают IP адреса и конфигурируют доступ абонентов к сети прозрачно для пользователей. Поэтому предоставление широкополосных услуг с помощью DHCP оказывается более простым, чем в случае применения статической адресации. Кроме того, DHCP позволяет выполнять централизованно изменения в сети [42].

Способ DHCP лучше подходит для крупной сети. Когда абонент, использующий протокол DHCP, выходит в сеть, сервер DHCP выдаёт ему разрешение на использование адресов IP в течение определённого времени, называемого временем аренды (причем это время может быть и неограниченным) [42].

Однако подобно статической адресации, способ DHCP неспособен аутентифицировать конечных пользователей и поэтому при этом способе возможно применение только метода постоянной оплаты пользователем сетевых услуг. Способ DHCP в сочетании с дополнительным ПО аутентификации является чрезвычайно сложным, поскольку он требует организации интерфейсов в реальном масштабе времени между сервером DHCP, сервером аутентификации пользователей RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service), сервером широкополосного доступа BRAS (Broadband Remote Access Server) и сервером биллинга (т. е. расчёта оплаты услуг связи). Кроме трудности исполнения, этот способ требует также выполнения дополнительных эксплуатационных и административных условий, поскольку необходимо тесно интегрировать множество различных приложений, чтобы сделать процедуру аутентификации успешной. Но даже в случае нормальной работы вышеуказанного способа все равно остаётся возможность несанкционированного доступа в сеть до момента начала процедуры аутентификации [42].

Рассмотренные выше механизмы конфигурирования конечных пользователей на основе статических IP и протоколе DHCP требуют подготовительных операций и ограничены возможностью установления соединения одновременно только с одним провайдером услуг [42].

3 Протокол «точка-точка» PPP. *Наибольшее применение уже более десяти лет нашла архитектура, основанная на применении протокола PPP (Point-to-Point Protocol, точка-точка), требующего подтверждения пользователем его пароля перед началом процесса конфигурирования сети. Таким образом, органичной особенностью этого способа является встроенная процедура аутентификации, позволяющая корректно отслеживать время предоставления и оплаты сетевых услуг [42]. Эта архитектура уже более 10 лет успешно используется десятками миллионов пользователей в качестве основной в системе коммутируемого абонентского соединения (dial-up networking) через телефонную сеть общего пользования (ТФОП). Благодаря встроенным универсальным механизмам идентификации пользователя и расчёта стоимости предоставляемых услуг (известным также под названием функций AAA – Authentication, Authorization, Accounting) не требуется изменений существующих серверов баз данных при добавлении новых услуг (в том числе и услуг, предоставляемых технологиями xDSL). Иными словами, архитектура PPP позволяет провайдерам услуг связи защитить прошлые инвестиции уже при создании новых широкополосных услуг с целью привлечения новых пользователей на отличающемся сильной конкуренцией рынке услуг связи [42].*

Протокол PPP может выполняться двумя способами [42]:

- PPP «поверх» («over») ATM (PPPoA);*
- PPP «поверх» («over») Ethernet (PPPoE).*

3.1 PPPoA. *Ключевое преимущество PPPoA – это способность обеспечения заданного качества услуг QoS (и в первую очередь максимально допустимого времени задержки и гарантированной пропускной способности для всего соединения). Однако этот метод требует применения элементов*

технологии ATM в оборудовании пользователя, что увеличивает цену последнего и сложность организации широкополосных услуг, поскольку интерфейсные карты ATM достаточно сложны и дороги.

Однако даже при наличии такой совместимости требуются ещё дополнительные драйверы конфигурирования. Кроме того, для полного использования преимуществ архитектуры PPPoA необходимы коммутируемые виртуальные каналы SVCs, которые пока ещё не получили широкого распространения на сети. И, наконец, программное обеспечение PPPoA предусмотрено далеко не для всех платформ: оно не поддерживается домашними LAN, а также кабельным и беспроводным доступом [42].

3.2 PPPoE. Основное достоинство метода PPPoE заключается в использовании двух широко распространённых стандартизованных сетевых структур, которыми являются стек протоколов PPP и локальная сеть Ethernet, что требует минимальных изменений существующей инфраструктуры сети доступа (оборудования, операционных систем и т.д.) определяет минимальные затраты и минимальное время развёртывания новых широкополосных сетевых услуг. Указанные факторы важны как для операторов связи и провайдеров сетевых услуг, так и для пользователей. Для последних особенно важно то, что процедура доступа к новым сетевым услугам остаётся для них практически той же, что и при прежнем доступе, например, к глобальной сети с помощью аналоговых модемов ТФОП [42].

Ключевым достоинством способа PPPoE является упрощение многопользовательской инсталляции линий доступа xDSL: протокол PPPoE идеально подходит для абонентов представляющих собой локальные сети, а также для малых и домашних офисов. Совместно используемая несколькими пользователями сеть Ethernet при способе PPPoE очень похожа на одновременный доступ нескольких индивидуальных пользователей коммутируемой ТФОП к услугам Интернет с помощью аналоговых модемов (рис. 7.14).

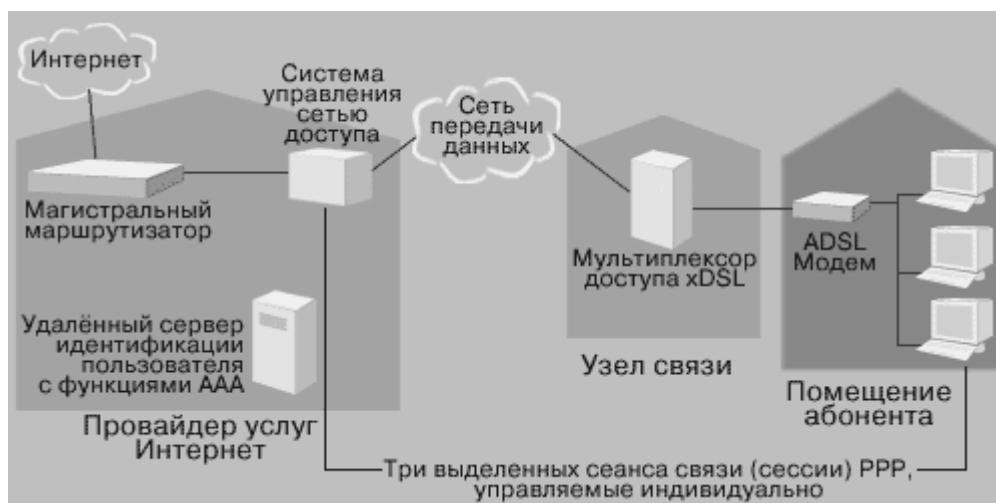


Рис. 7.14. Аналогия метода PPPoE с одновременным доступом нескольких пользователей аналоговых модемов

При способе PPPoE (см. рис. 7.14) для организации одновременного широкополосного доступа нескольких пользователей локальной сети Ethernet принципиально достаточно одного постоянного виртуального канала PVC [42]. Для сравнения на рис. 7.15 представлена традиционная инфраструктура передачи данных с использованием аналоговых модемов ТФОП [34].



Рис. 7.15. Традиционная инфраструктура передачи данных с помощью аналогового модема ТФОП

Сравнение рис. 7.14 и рис. 7.15 показывает ограниченность необходимых изменений сети доступа при переходе от традиционного доступа (см. рис. 7.15) к широкополосному с использованием метода PPPoE, который обеспечивает управление доступом и функции выставления счёта за предоставленные услуги связи способом, используемым в стеке протокола PPP для коммутируемых соединений ТФОП и ISDN. Причём управление доступом, выбор типа услуги и функции биллинга выполняются для каждого пользователя, а не объекта в целом [42].

По сравнению с PPPoA, инфраструктура PPPoE проста: после установления соединения циклы PPP транспортируются внутри циклов Ethernet вместе со специальным служебным заголовком, обеспечивающим мультиплексирование сеансов связи [42].

Важно также отметить, что метод PPPoE не зависит от типа технологии доступа [42]. Хотя выше упоминались лишь технологии доступа типа xDSL, способ PPPoE с таким же успехом применим к таким методам доступа, как кабельные модемы, системы беспроводного доступа и комбинированные медно-оптические системы типа FTTC («Оптическое волокно до шкафа») и др.

У метода PPPoE есть ещё одно полезное свойство, которое предоставляет конечным пользователям функцию дополнительного выбора услуги. Она позволяет конечным пользователям изменять адресат сети по требованию (точно так же, как это можно делать в случае доступа с помощью традиционных аналоговых модемов) и даже иметь множество сеансов связи разными сетями связи одновременно из одного помещения через единственную линию доступа xDSL (рис. 7.16) [42].

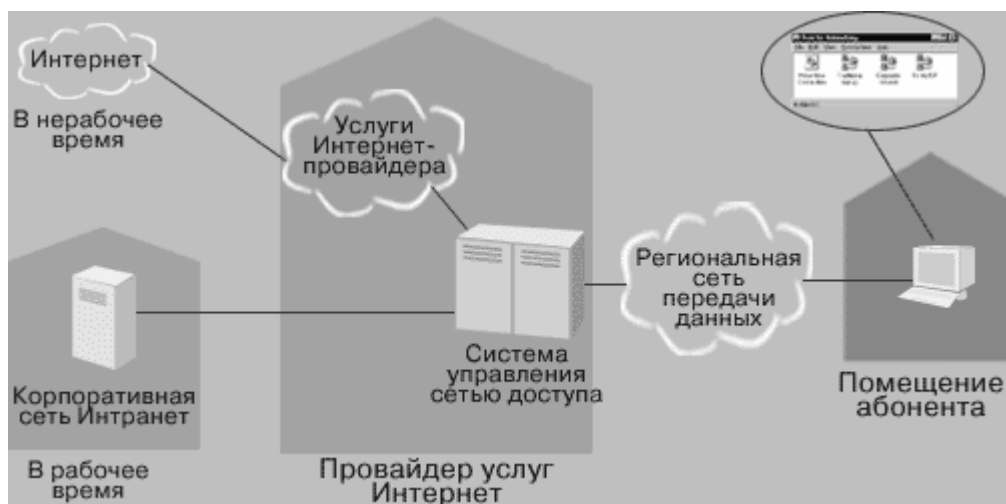


Рис. 7.16. Динамический выбор услуги с помощью метода PPPoE

Следует особо обратить внимание на то, что опираясь на способ PPPoE и систему динамического выбора услуги и используя систему управления абонентским доступом, можно практически обеспечить в одной сети доступа лучшие свойства выделенной и коммутируемой линий — высокую пропускную способность и «выделенность» соединения первой с гибкостью и низкой платой за услуги второй [39].

Однако протокол PPPoE не универсален и занимает лишь свою нишу во всём многообразии структур широкополосного доступа: будучи превосходным решением для малых локальных сетей типа Ethernet, он не может быть признан удовлетворительным, например, для сетей больших комплексов административных, университетских зданий и др., больших удалённых офисов и мультипротокольных сетей, требования которых к услугам широкополосного доступа очень многообразны [39].

Метод PPPoE требует также применения стороннего клиентского программного обеспечения. Этот недостаток является одновременно и сильной стороной этого метода, поскольку позволяет провайдерам услуг связи управлять предоставляемыми услугами и защищать их [39].

Материал раздела 7 подготовлен на основе работы [6] и за счет обобщения работ [23, 33-42].

8 ТЕХНОЛОГИИ ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

8.1 Технологии группы FTTx

Группа технологий FTTx (Fiber To The x – оптическое волокно до ...) предназначена для совместного использования с технологиями ADSL и VDSL и позволяет более эффективно использовать пропускную способность этих технологий благодаря сокращению длины медно-кабельных линий связи [28, 32, 45]. Есть несколько вариантов реализации FTTx, из них можно выделить основные:

FTTH – Fiber To The Home (доведение волокна до квартиры);

FTTB – Fiber To The Building (доведение волокна до здания).

Варианты, по сути, дублирующие FTTH и FTTB с небольшими изменениями:

FTTN (Fiber to the Node) – волокно до сетевого узла;

FTTO – Fiber To The Office (доведение волокна до офиса);

FTTC – Fiber To The Curb (доведение волокна до кабельного шкафа);

FTTCab – Fiber To The Cabinet (аналог FTTC);

FTTR – Fiber To The Remote (доведение волокна до удаленного модуля, концентратора);

FTTOpt – Fiber To The Optimum (доведение волокна до оптимального пункта);

FTTP – Fiber To The Premises (доведение волокна до точки присутствия клиента).

Отдельно нужно отметить концепцию FITB (Fiber In The Building) – организация распределительной сети внутри здания. Выше указанные технологии отличаются главным образом тем, на сколько близко к пользовательскому терминалу подходит оптический кабель (рис. 8.1).

На данный момент интенсивно растет интерес к развертыванию оптических сетей доступа с прокладкой кабеля до здания (FTTB), а также непосредственно до абонента (FTTH). В большей степени, такая ситуация объясняется постоянным ростом требований к пропускной способности каналов связи, поскольку сейчас наблюдается бум развития «тяжелых» интернет-приложений, включая онлайн-видео, онлайн-игры и прочие сервисы.

При этом запланированный набор услуг и необходимая для его предоставления полоса пропускания имеют самое непосредственное влияние на выбор технологии FTTx. Поэтому чем выше скорость доступа и чем больше набор предоставляемых абоненту услуг, тем ближе к абонентскому терминалу должно подходить оптическое волокно, т. е. нужно использовать технологии FTTH. В случае, когда приоритетом является сохранение уже имеющейся сетевой инфраструктуры и оборудования, оптимальным выбором будет FTTB.

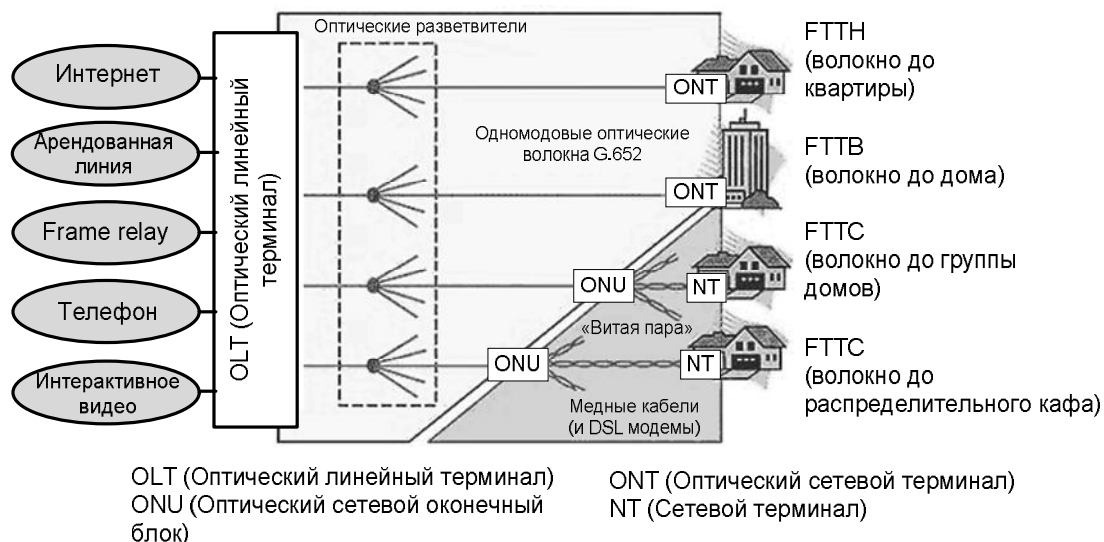


Рис. 8.1. Технологии оптического доступа FTTx

Если же говорить о сегодняшних реалиях, архитектура FTTB преобладает в новостройках и у крупных операторов связи, тогда как FTTH востребована в новом малоэтажном строительстве (например, в коттеджных городках в окрестностях крупных городов).

Рассмотрим особенности реализации и применения наиболее распространенных технологий.

Технология FTTH используется в основном как бюджетное и быстро внедряемое решение там, где существует распределительная «медная» инфраструктура и прокладка оптики нерентабельна. Всем известны связанные с этим решением трудности: невысокое качество предоставляемых услуг, обусловленное специфическими проблемами лежащих в канализации медных кабелей, существенное ограничение по скорости и количеству подключений в одном кабеле.

Технология FTTC – это улучшенный вариант FTTH, лишенный части его недостатков. Архитектура FTTC в первую очередь предназначена для операторов, уже использующих технологии xDSL или PON, и операторов кабельного телевидения. Реализация архитектуры FTTC позволит им с меньшими затратами увеличить и число обслуживаемых пользователей, а также выделяемую каждому из них полосу пропускания. В России этот тип подключения часто применяется небольшими операторами Ethernet-сетей. Связано это с более низкой стоимостью медных решений и с тем, что монтаж оптического кабеля требует высокой квалификации исполнителя.

Технология FTTB предполагает доведение волокна до здания, и получила наибольшее распространение, так как при строительстве сетей FTTx на базе Ethernet – это, зачастую, единственная технически возможная схема построения сети. Кроме того, в структуре затрат на создание Ethernet-сети разница между вариантами FTTC и FTTB относительно небольшая. Также не следует забывать, что операционные расходы при эксплуатации сети FTTB ниже, а пропускная способность выше.

Технологию FTTB целесообразно применять в случае развертывания сети в многоквартирных домах и бизнес-центрах. Российские операторы связи разворачивают сети FTTB пока только в крупных городах, но в перспективе планируется использование данной технологии повсеместно. В FTTB нет необходимости прокладывать дорогостоящий оптический кабель с большим количеством волокон, как при использовании FTTH [43].

В случае FTTB оптическое волокно заводится в дом, как правило, на цокольный этаж или на чердак и подключается к устройству ONU (Optical Network Unit). На стороне оператора связи устанавливается терминал оптической линии OLT (Optical Line Terminal). OLT является primary устройством и определяет параметры обмена трафика (например, интервалы времени приема/передачи сигнала) с абонентскими устройствами ONU (или ONT, в случае FTTH). Дальнейшее распределение сети по дому происходит по «витой паре» (рис. 8.2).

Технология FTTH является наиболее затратной, но в то же время и наиболее перспективной, среди всех типов доступа FTTx. FTTH подразумевает доведение оптического волокна до квартиры или частного дома пользователя. В этом случае оптическое волокно заводится в дом, как правило, на цокольный этаж или на чердак (что более экономически целесообразно) и подключается к устройству ONU (Optical Network Unit). На стороне оператора связи устанавливается терминал оптической линии OLT (Optical Line Terminal). OLT является primary устройством и определяет параметры обмена трафика (например, интервалы времени приема/передачи сигнала) с абонентскими устройствами ONU (или ONT, в случае FTTH). Дальнейшее распределение сети по дому происходит по «витой паре» (рис. 8.3).



Рис. 8.2. Технология FTTB

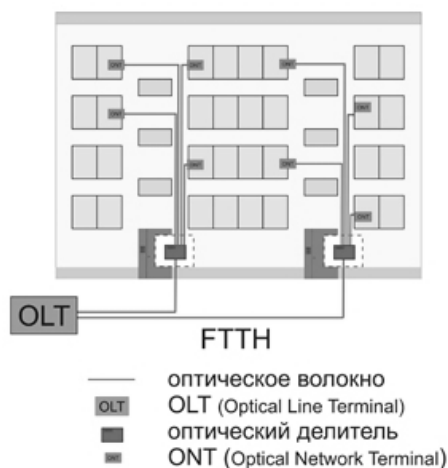


Рис. 8.3. Технология FTTH

На первый взгляд, строительство сети FTTH – это очень трудоемкий и дорогостоящий процесс, но опыт подсказывает, что основные затраты при развертывании сети FTTH приходятся на строительные работы, а стоимость самого оптоволоконного кабеля составляет относительно небольшую часть. Это означает, что в случае необходимости проведения строительных работ

количество прокладываемого оптоволоконного кабеля уже не имеет большого значения.

Более того, хотя жизненный цикл сети FTTH и ее электронных компонентов составляет несколько лет, оптоволоконный кабель и оптическая распределительная сеть имеют более длительный срок службы (по крайней мере, 30 лет).

Архитектуры развернутых сетей FTTH можно разделить на три основные категории:

- «Кольцо» Ethernet-коммутаторов;
- «Звезда» Ethernet-коммутаторов;
- «Дерево» с использованием технологий пассивной оптической сети PON.

8.2 Технология пассивной оптической сети PON

Подгруппа технологий пассивных оптических сетей (PON) – это семейство быстроразвивающихся, наиболее перспективных технологий широкополосного мультисервисного множественного доступа по оптическому волокну. Суть технологии пассивных оптических сетей, вытекающая из ее названия, состоит в том, что ее распределительная сеть строится без каких-либо активных компонентов: разветвление оптического сигнала осуществляется с помощью пассивных делителей оптической мощности – сплиттеров.

Следствием этого преимущества является снижение стоимости системы доступа, уменьшение объема необходимого сетевого управления, высокая дальность передачи и отсутствие необходимости в последующей модернизации распределительной сети.

*Суть технологии PON заключается в том, что между приемопередающим модулем центрального узла **OLT** (optical line terminal) и удаленными абонентскими узлами **ONT** (optical network terminal) создается полностью пассивная оптическая сеть, имеющая топологию дерева (рис. 8.4).*

*В промежуточных узлах дерева размещаются **пассивные оптические разветвители (сплиттеры)** с коэффициентом разветвления до 1:64 или даже 1:128. – компактные устройства, не требующие питания и обслуживания. Один приемопередающий модуль OLT позволяет передавать информацию множеству абонентских устройств ONT.*

Число ONT, подключенных к одному OLT, может быть настолько большим, насколько позволяет бюджет мощности и максимальная скорость приемопередающей аппаратуры [33, 43, 44, 45].

Для передачи прямого и обратного канала используется одно оптическое волокно, полоса пропускания которого динамически распределяется между абонентами, или два волокна в случае резервирования. Нисходящий поток (downstream) от центрального узла к абонентам идет на длине волны 1490 нм и 1550 нм для видео.

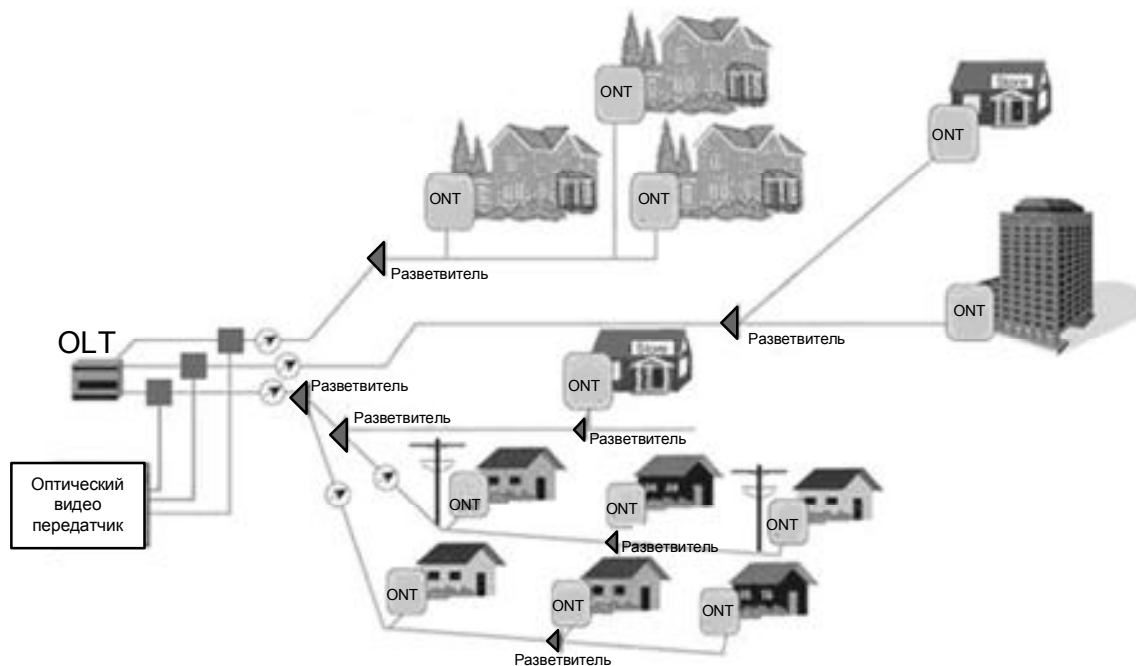


Рис. 8.4. Архитектура PON сети

Восходящие потоки (upstream) от абонентов идут на длине волны 1310 нм с использованием протокола множественного доступа с временным разделением (TDMA). В некоторых случаях используется дополнительная длина волны нисходящего потока (downstream), что позволяет предоставлять традиционные аналоговые и цифровые телевизионные услуги пользователям без применения телевизионных приставок с поддержкой IP.

Для построения PON используется топология «точка – многоточка» и сама сеть имеет древовидную структуру. Каждый волоконно-оптический сегмент подключается к одному приемопередатчику в центральном узле (в отличие от топологии «точка-точка»), что также дает значительную экономию в стоимости оборудования. Один волоконно-оптический сегмент сети PON охватывает до 32 абонентских узлов в радиусе до 20 км для технологий EPON / BPON и до 128 абонентских узлов в радиусе до 60 км для технологии GPON (рис. 8.5).

Каждый абонентский узел рассчитан на обычный жилой дом или офисное здание и в свою очередь может охватывать сотни абонентов. Все абонентские узлы являются терминальными, и отключение или выход из строя одного или нескольких абонентских узлов никак не влияет на работу остальных [33, 44, 45].

Архитектура FTTH на базе PON обычно поддерживает протокол Ethernet. Центральный узел PON может иметь сетевые интерфейсы ATM, SDH (STM-1), Gigabit Ethernet для подключения к магистральным сетям. Абонентский узел может предоставлять сервисные интерфейсы 10/100Base-TX, FXS (2, 4, 8 и 16 портов для подключения аналоговых телефонных абонентов), E1, цифровое видео, ATM (E3, DS3, STM-1) – рис. 8.5.

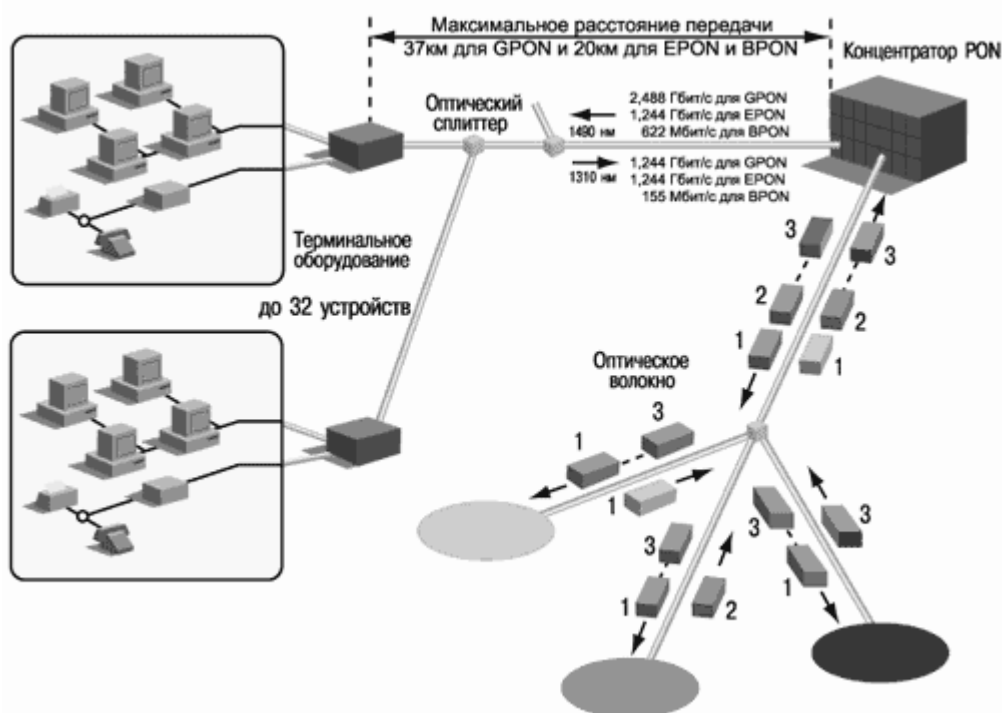


Рис. 8.5. Принцип временного разделения абонентов в технологии PON

На рис. 8.6 изображена типичная пассивная оптическая сеть PON, в которой используются различные терминаторы оптической сети (optical network termination, ONT) или устройства оптической сети (optical network unit, ONU). ONT предназначены для использования отдельным конечным пользователем. Устройства ONU обычно располагаются на цокольных этажах или в подвальных помещениях и совместно используются группой пользователей. Голосовые сервисы, а также услуги передачи данных и видео доводятся от ONU или ONT до абонента по кабелям, проложенным в помещении абонента [44].

В семействе сетей PON существует несколько разновидностей, отличающихся, в первую очередь, базовым протоколом передачи. Причем стандарты PON активно совершенствуются в направлении увеличения скорости передачи и дальности связи.

Стандарт сети APON был создан международным консорциумом FSAN (Full Service Access Network) в 1995 году. В состав сети APON входят:

- один сетевой узел OLT (Optical Line Terminal);
- до 32 абонентских терминалов ONU (Optical Network Unit);
- пассивные оптические ответвители (splitter).

В стандарте APON обеспечивалась скорость передачи прямого и обратного потоков по 155 Мбит/с (симметричный режим) или 622 Мбит/с в прямом потоке и 155 Мбит/с в обратном (асимметричный режим). Во избежание наложения данных, поступающих от разных абонентов, OLT направляло на каждый ONU служебные сообщения с разрешением на отправку данных.

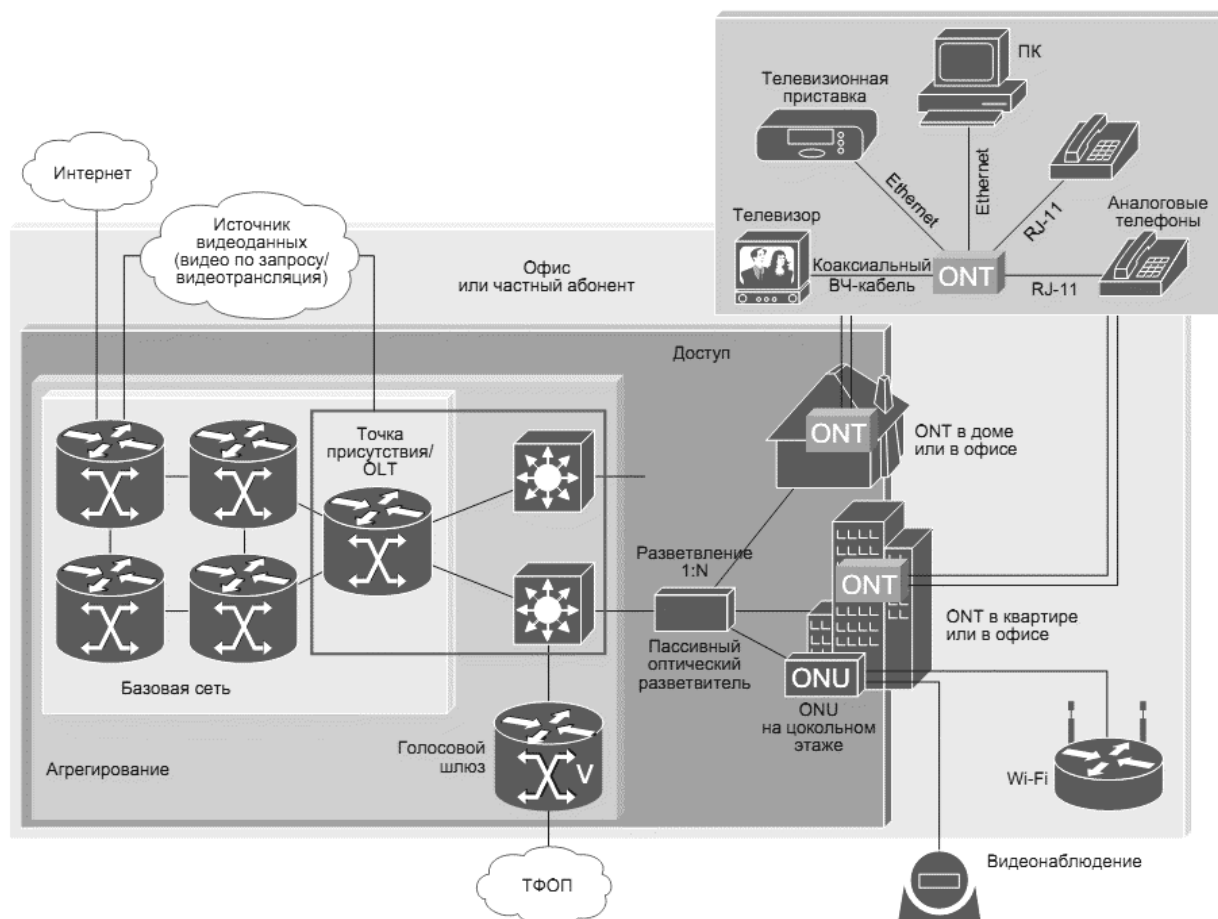


Рис. 8.6. Структура типичной пассивной оптической сети PON

Прямой и обратный каналы организуются в одном оптическом волокне за счет волнового уплотнения – передача к абонентам ведется на длине волны 1550 нм, а в обратном направлении – 1310 нм. Скорость передачи информации для индивидуального пользователя составляет 20 Мбит/с, а максимальное удаление пользователя от узла доступа – 20 км. В настоящее время APON в своем первоначальном виде практически не используется [33, 45].

Стандарт BPON появился в результате эволюционного совершенствования технологии PON. В BPON скорость прямого и обратного потоков доведена до 622 Мбит/с в симметричном режиме или 1244 Мбит/с и 622 Мбит/с в асимметричном режиме. Предусмотрена возможность передачи трех основных типов информации (голос, видео, данные), причем для потока видеoinформации выделена длина волны 1550 нм. BPON позволяет организовывать динамическое распределение полосы между отдельными абонентами. После разработки более высокоскоростной технологии GPON, применение BPON практически утратило смысл чисто экономически [33, 45].

Стандарт EPON (Ethernet PON) появился в результате использования технологии Ethernet в локальных сетях и построение на их основе оптических сетей доступа. Такие сети, в основном, рассчитаны на передачу данных со скоростью прямого и обратного потоков 1 Гбит/с на основе IP-протокола для 16 (или 32) абонентов. Исходя из скорости передачи, в статьях и литературных источниках часто фигурирует название **GEAPON (Gigabit Ethernet PON)**, которое также относится к стандарту IEEE 802.3ah. Дальность передачи в та-

ких системах достигает 20 км. Для прямого потока используется длина волны 1490 нм, 1550 нм резервируется для видео приложений. Обратный поток передается на 1310 нм. Во избежание конфликтов между сигналами обратного потока применяется специальный протокол управления множеством узлов (Multi-Point Control Protocol, MPCP). В GPON также поддерживается операция bridging – обмена информацией между пользователями [33, 45].

Технология GPON которая наследует линейку APON – BPON, но с более высокой скоростью передачи – 1244 Мбит/с, 2488 Мбит/с (в асимметричном режиме) и 1244 Мбит/с (в симметричном режиме) считается наиболее удачной для больших операторов, строящих большие разветвленные сети с системами резервирования. За основу GPON был принят базовый протокол SDH (а точнее SDH на протоколе GFP) со всеми вытекающими преимуществами и недостатками. В GPON возможно подключение до 32 (или 64) абонентов на расстоянии до 20 км (с возможностью расширения до 60 км). GPON поддерживает трафик ATM, IP, речь и видео (инкапсулированные в кадры GEM — GPON Encapsulated Method), а также модули SDH. Сеть работает в синхронном режиме с постоянной длительностью кадра. Линейный код NRZ со скремблированием обеспечивают высокую эффективность полосы пропускания. Единственным серьезным недостатком GPON является высокая стоимость оборудования [33, 45].

Технология WDM PON является следующим эффективным шагом по увеличению скорости передачи построенных систем PON за счет применения систем оптического уплотнения WDM. В рекомендации ITU-T G.983.2 описана возможность передачи сигналов на выделенных для каждого абонента длинах волн. В сети передается общий поток, а каждый абонентский терминал имеет оптический фильтр для выделения своей длины волны. Технически возможно обеспечить производительность системы со скоростями около 4-10 Гбит/с по каждому каналу. После такой реконструкции провайдеры получают возможность настраивать пропускную способность в соответствии с требованиями клиента и успешно добавлять или удалять устройства ONU без вмешательства в общую систему, т. е. в будущем внедрение систем WDM PON принесет реальные преимущества операторам при незначительных затратах [33].

Отдельные разновидности PON имеют свои преимущества и недостатки, но в целом BPON, основанный на платформе ATM, уже не обеспечивает высокую скорость передачи и практически не имеет перспектив.

Технология GPON является более удачной для сетей большой протяженности и емкости. Базовая платформа SDH обеспечивает хорошую защиту информации в сети, широкую полосу пропускания и другие преимущества. Однако более сложное и дорогостоящее оборудование хорошо окупается при высокой степени загрузки [33].

Основные характеристики разновидностей стандартов PON приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1. Сравнительная таблица по характеристикам стандартов PON

Характеристики	APON (BPON)	EPON (GEAPON)	GPON
Институты стандартизации / альянсы	ITU-T SG15 / FSAN	IEEE / EFMA	ITU-T SG15 / FSAN
Дата принятия стандарта	октябрь 1998	июль 2004	октябрь 2003
Стандарт	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
Скорость передачи, прямой/обратный поток, Мбит/с	155/155 622/155 622/622	1000/1000	1244/155, 622, 1244 2488/622, 1244, 2488
Базовый протокол	ATM	Ethernet	SDH (GFP)
Линейный код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальный радиус сети, км	20	20 (>30 ¹)	20
Максимальное число абонентских узлов на одно волокно	32	16	64 (128 ²)
Приложения	любые	IP, данные	любые
Коррекция ошибок FEC	предусмотрена	нет	необходима
Длины волн прямого/обратного потоков, нм	1550/1310 (1480/1310)	1550/1310 (1310/13103)	1550/1310 (1480/1310)
Динамическое распределение полосы	есть	поддержка ⁴	есть
IP-фрагментация	есть	нет	есть
Защита данных	шифрование открытыми ключами	нет	шифрование открытыми ключами
Резервирование	есть	нет	есть
Оценка поддержки голосовых приложений и QoS	высокая	низкая	высокая
Динамический диапазон, дБ:			
– класс А	5-20		5-20
– класс В	10-25		10-25
– класс С	15-30		15-30
Интерфейс PX-10 (10 км)		5-20	
Интерфейс PX-20 (20 км)		10-24	

Примечания:

¹ обсуждается в проекте;

² стандарт допускает наращивание сети до 128 ONT;

³ допускается передача в прямом и обратном направлении на одной и той же длине волны;

⁴ осуществляется на более высоких уровнях.

В GEAPON, в отличие от GPON, отсутствуют специфические функции поддержки TDM, синхронизации и защитных переключений, что делает эту технологию самой экономичной из всего семейства. Особенно это касается небольших операторов, ориентированных на IP-трафик, а впоследствии и IPTV. К тому же предполагается дальнейшее развитие этого ряда – 10GEAPON

(по аналогии с 10 Gb Ethernet). Поэтому из-за наилучшего соотношения цена/качество при среднем размере сети, в нашей стране вариант GPON получил наибольшее распространение [33].

Технология PON имеет ряд неоспоримых преимуществ [33, 45]:

- невысокая стоимость построения сети;
- экономия оптико-волоконного кабеля на участке;
- низкие расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание сети;
- возможность постепенного наращивания сети;
- перспективность создания распределительной инфраструктуры, обеспечивающей в будущем развитие любых мультимедийных услуг с практически неограниченной полосой пропускания;
- высокая надежность за счет использования пассивного оборудования.

Отметим типовые проблемные вопросы, с которыми сталкиваются провайдеры, при развертывании пассивной оптической сети PON [44].

Общая полоса пропускания. Полоса пропускания в дереве оптоволоконных линий сети PON используется как можно большим числом абонентов. Хотя технология GPON обеспечивает общую пропускную способность нисходящего потока, равную 2,5 Гбит/с, она не может соответствовать росту будущих требований абонентов в долгосрочной перспективе, поскольку потребности в пропускной способности растут экспоненциально.

Особенно, если некоторую часть полосы пропускания необходимо резервировать для потоковых услуг (например, IPTV).

Шифрование. Поскольку PON – это технология с общей средой передачи, то необходимо шифрование всех потоков данных. В технологии GPON проводится шифрование AES с 256-разрядными ключами только нисходящего потока. Однако использование стандарта AES снижает производительность сети, так как при шифровании необходима передача существенного объема служебной информации вместе с каждым пакетом.

Высокая рабочая скорость оконечных устройств. В связи с использованием в пассивных оптических сетях PON общей передающей среды, каждое оконечное устройство (ONT или OLT) вынуждено работать на единой максимальной скорости передачи данных. Даже если абоненту необходима скорость 25 Мбит/с, каждая конечная точка оптической сети (ONT) в дереве PON должна работать на скорости стандарта (2,5 Гбит/с для GPON). Работа электронных и оптических устройств со скоростью, в 100 раз превышающей необходимую скорость передачи данных, повышает цену компонентов.

Необходимость большей мощности оптического сигнала. При каждом разветвлении в соотношении 1:2 энергетический потенциал линии связи падает на 3,4 дБ. Следовательно, при разветвлении в соотношении 1:64 энергетический потенциал линии связи уменьшается на 20,4 дБ (эквивалентно отношению мощностей 110). В этом случае, все оптические передатчики должны обеспечивать в 110 раз большую мощность оптического сигнала по сравнению с архитектурой FTTH «точка-точка» при передаче на то же расстояние.

Доступ к абонентским линиям. Отделение абонентских линий (Local Loop Unbundling (LLU) – это метод, применяемый в сетях операторов телефонии для обеспечения доступа альтернативным операторам к абонентским медным линиям связи. Сети PON пока не удовлетворяют требованиям LLU, поскольку имеется только одна оптоволоконная линия для подключения группы абонентов, которая, следовательно, не может быть разделена на физическом уровне, а только на логическом уровне. Эта особенность пассивной оптической сети на базе PON предполагает массовую продажу услуг основного оператора без предоставления прямого абонентского доступа посредством отделения абонентских линий (LLU).

Неоптимальное использование ресурса сети. Обычно при развертывании сети FTTH выполняется одновременное подключение оптоволоконных линий связи для всех потенциальных абонентов в данном районе. Абоненты могут подписаться на сервис FTTH только после развертывания всех оптоволоконных линий. При развертывании услуг для частных абонентов провайдеры редко достигают 100% подписки. Обычно этот показатель близок к 30%, что означает, что часть структуры PON простаивает, а сеть в целом используется не оптимально.

Сложность обслуживания, поиска и устранения неисправностей. Пассивные оптические разветвители не могут передавать информацию о неисправностях в центр управления сетью. Поэтому сложно обнаружить неисправность оптоволоконной линии между разветвителем и точкой терминирования оптической сети (ONT) абонента.

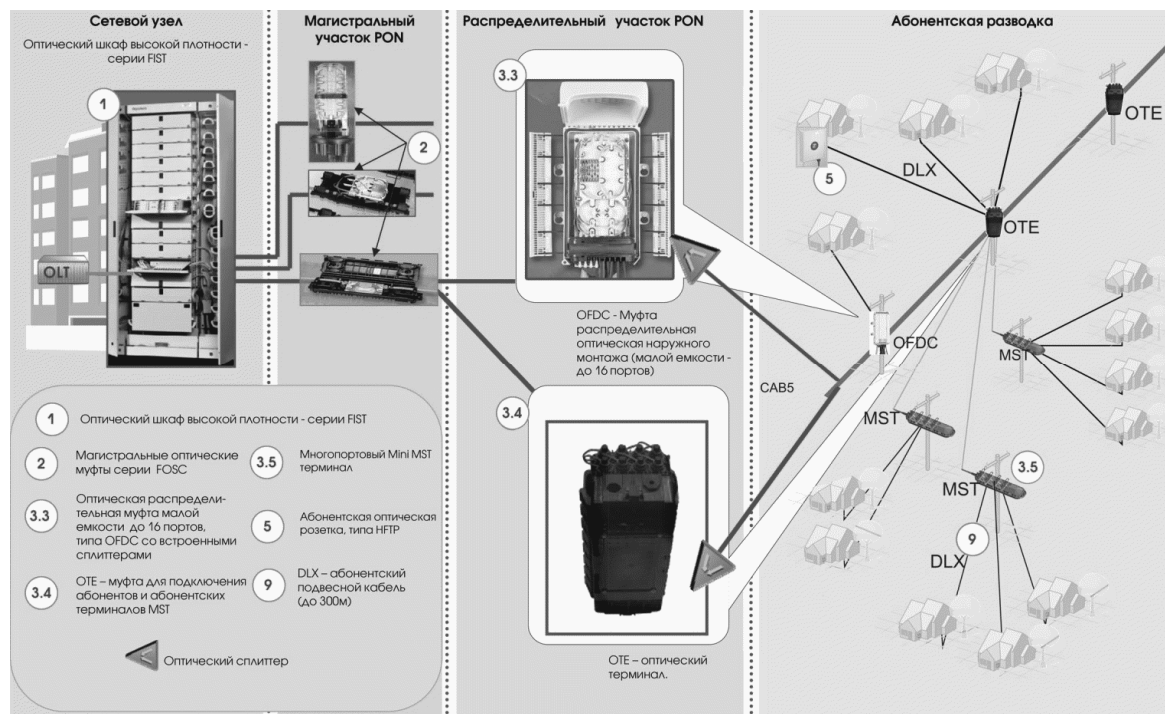


Рис. 8.7. Пример использования технологии PON для разворачивания телекоммуникационной сети в коттеджном поселке

Это значительно усложняет поиск и устранение неисправностей в сетях PON и повышает затраты на их эксплуатацию. Так же при повреждении точ-

ки терминации оптической сети (ONT) она может передавать в дерево оптоволоконных линий постоянный световой сигнал, что приводит к нарушению связи для всех абонентов этой сети, причем найти поврежденное устройство очень трудно.

Вместе с тем указанные проблемные вопросы не являются критичными и по мнению многих аналитиков, рынок систем PON будет поступательно развиваться в течение ближайших трех-четырех лет, после чего начнется массовое внедрение систем в жилищном секторе.

Пример использования технологии PON для разворачивания телекоммуникационной сети в коттеджном поселке приведен на рис. 8.7.

8.3 Технология Ethernet FTTH

В решении Ethernet FTTH для коммутации линий подразумевается использование коммутаторов с оптическими портами или оптическими трансиверами.

В основе первых европейских проектов сетей Ethernet FTTH лежала архитектура, при которой коммутаторы, расположенные на цокольных этажах многоквартирных домов, были объединены в кольцо по технологии Gigabit Ethernet. Кольцевая структура обеспечивала прекрасную устойчивость к различного рода повреждениям кабеля и была весьма рентабельной, но к ее недостаткам можно было отнести разделение полосы пропускания внутри каждого кольца доступа (1 Гбит/с), что давало в перспективе сравнительно небольшую пропускную способность, а также вызывало трудности масштабирования архитектуры [44].

Затем широкое распространение получила архитектура Ethernet типа «звезда» (рис. 8.8). Такая архитектура предполагает наличие выделенных оптоволоконных линий (обычно одномодовых, одноволоконных линий с передачей данных Ethernet по технологии 100BX или 1000BX) от каждого оконечного устройства к точке присутствия (point of presence, POP), где происходит их подключение к коммутатору. К портам коммутатора подключаются устройства конечных пользователей. Такой подход обеспечивает высокий уровень надежности за счет возможности резервирования оптических каналов, и обеспечивает преемственность с существующей «медной» инфраструктурой [33, 44].

Рассмотрим преимущества решений Ethernet FTTH перед архитектурой на базе PON в соответствии с [44].

Практически неограниченная дискретная полоса пропускания. Оптоволоконная линия может обеспечить практически неограниченную полосу пропускания, что позволяет достичь максимальной гибкости в наращивании предоставляемых сервисов в будущем, когда потребность в пропускной способности возрастет. Архитектура Ethernet FTTH позволяет провайдеру гарантировать каждому абоненту необходимую пропускную способность и созда-

вать в сети индивидуальные профили полосы пропускания для каждого клиента.

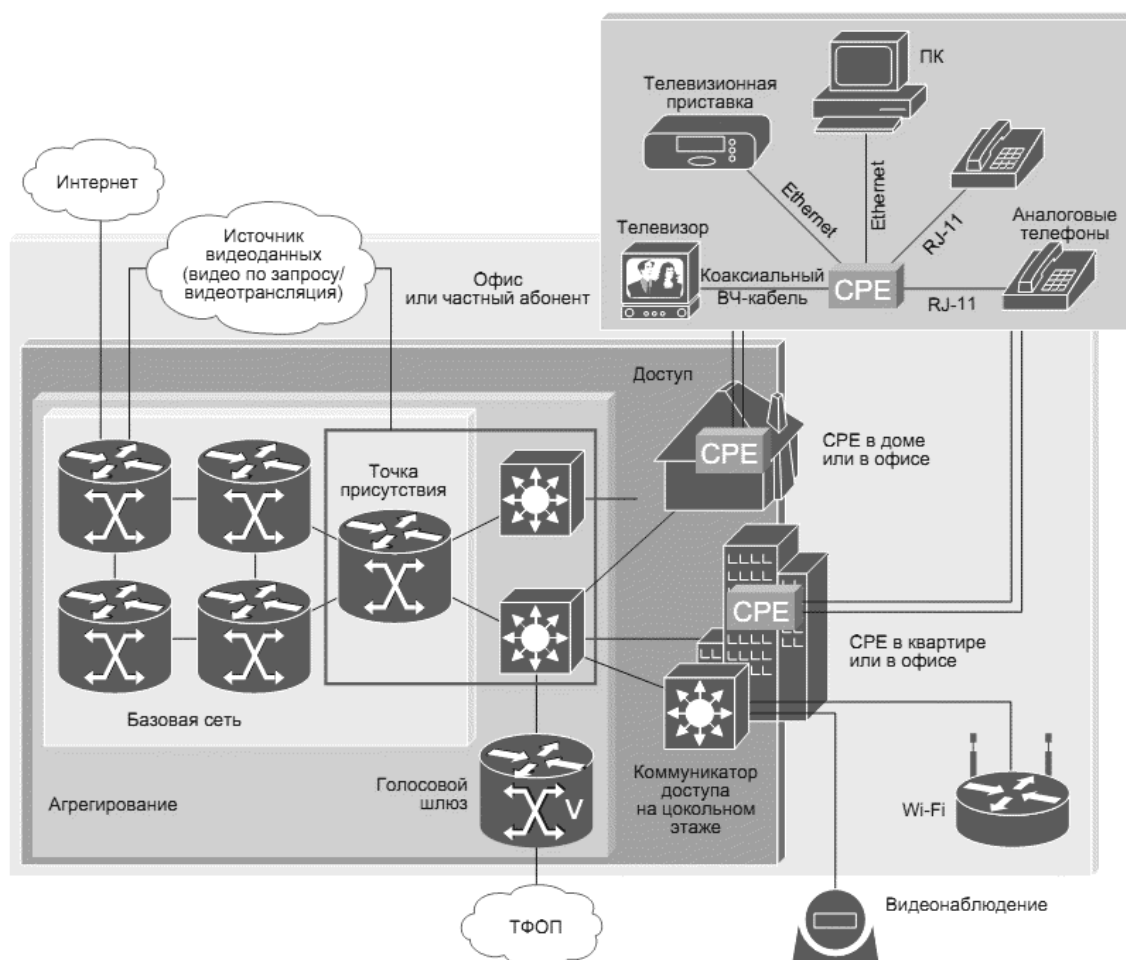


Рис. 8.8. Архитектура сети Ethernet FTTH типа «звезда»

Большой радиус действия. В типовых конфигурациях сетей доступа Ethernet FTTH применяются недорогие одноволоконные линии, использующие технологию 100BX или 1000BX, с заданным максимальным радиусом действия 10 км. Для работы на больших расстояниях имеются оптические модули, позволяющие увеличить мощность оптического сигнала, а также оптоволоконные пары с оптическими модулями, которые можно подключить к порту любого Ethernet-оборудования.

Гибкое масштабирование сети. В случае появления новых абонентов можно добавить дополнительные карты Ethernet с высокой степенью модульности. Напротив, при использовании архитектуры на базе PON подключение первого абонента к оптическому дереву требует наличия наиболее дорогостоящего порта OLT, а при добавлении абонентов к тому же дереву PON стоимость подключения каждого абонента только увеличивается за счет приобретения ONT.

Гибкое масштабирование скорости обслуживания абонентов. Поскольку одномодовые оптоволоконные линии не зависят от используемой технологии и скорости передачи данных, можно легко увеличить скорость для одного абонента, не влияя на работу других. Это означает, что абонент,

использующий технологию Fast Ethernet, может перейти на Gigabit Ethernet за счет переключения оптоволоконной линии абонента на другой порт коммутатора и замены только Ethernet-устройства абонента.

Безопасность обеспечивается за счет того, что выделенная оптоволоконная линия является защищенной средой на физическом уровне. Кроме того, коммутаторы Ethernet, используемые у провайдеров, призваны обеспечить разделение физического уровня портов и логического уровня абонентов и имеют функции защиты, которые в состоянии предотвратить попытки вторжений.

К недостаткам Ethernet FTTH можно отнести узкую полосу пропускания [43].

Материал раздела 8 подготовлен на основе работы [6] и за счет обобщения работ [28, 32, 33, 43, 44, 45, 46].

Заключение

Одной из важнейших проблем телекоммуникационных сетей продолжает оставаться проблема абонентского доступа к сетевым услугам, актуальность которой определяется в первую очередь бурным развитием сети Интернет и широким использованием корпоративных сетей с распределенными ресурсами и задачами на ее основе. Доступ к услугам такой сети требует резкого увеличения пропускной способности сетей абонентского доступа. В свою очередь, любая информационная услуга для качественного ее предоставления определяет свои требования к каналу передачи информации.

Для привлечения большего числа пользователей национальными операторами активно разворачивается создание сетей доступа к своим магистральным сетям. Основным препятствием при этом является наличие огромного числа морально и физически устаревших сетей доступа. Поэтому чрезвычайно актуальной является задача их реализации на основе самых современных высокоскоростных технологий с минимальными затратами при строительстве и монтаже оборудования.

В данном учебном пособии, наряду с рассмотрением основ теории сетей связи и традиционно используемых технологий передачи данных, значительное внимание уделено принципам реализации высокоэффективных цифровых оптических линий связи. Комплексное совместное использование всего спектра существующего сетевого оборудования и сетевых технологий различных поколений как никогда актуально в условиях реализации концепции построения современных мультисервисных сетей.

Авторы выражают надежду, что данное пособие поможет широкому кругу заинтересованных читателей в освоении теоретических основ телекоммуникационных сетей и сформирует базис для углубленного изучения современных сетевых технологий передачи данных.

Список литературы

1. *Цветков К.Ю., Акмолов А.Ф., Ефимов С.Н.* Цифровые системы передачи: учебн. пособие. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. – 92 с.
2. *Цветков К.Ю., Акмолов А.Ф., Ефимов С.Н.* Системы многоканальной связи специального назначения: учебное пособие. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. – 50 с.
3. *Радионов А.В., Акмолов А.Ф., Ефимов С.Н.* Цифровые системы передачи: учебное пособие. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. – 81 с.
4. *Ефимов С.Н., Акмолов А.Ф., Макаренко С.И.* Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей: учебное пособие. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. – 201 с.
5. Системы связи: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов / С. И. Макаренко, В. И. Сапожников, Г. И. Захаренко, В. Е. Федосеев; под общ. ред. С. И. Макаренко. – Воронеж: ВАИУ, 2011. – 285 с.
6. *Макаренко С.И.* Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебное пособие. – Ставрополь: СФ МГГУ им. М. А. Шолохова, 2008. – 352 с.
7. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
8. *Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н.* Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учебник для вузов – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 510 с.
9. Многоканальные системы передачи: учебник для вузов / Н.Н. Баева, В.Н. Гордиенко, С.А. Курицын и др.; под ред. Н.Н. Баевой и В.Н. Гордиенко. – М.: Радио и связь, 1997. – 560 с.
10. Телекоммуникационные системы и сети. В 3 т. Т. 1. Современные технологии: учебное пособие / Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов; под ред. профессора В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 647 с.
11. Телекоммуникационные системы и сети. В 3 т. Т. 2. Радиосвязь, радиовещание, телевидении: учебное пособие / Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов; под ред. профессора В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 672 с.
12. Телекоммуникационные системы и сети. В 3 т. Т. 3. Мультисервисные сети: учебное пособие / В.В. Величко, Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославцев; под ред. профессора В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 592 с.
13. *Семенов Ю.А.* Telecommunication technologies – телекоммуникационные технологии: v. 3.5 [Электронный ресурс]. – М. МФТИ, 2010. – URL: book.iter.ru (дата обращения 20.09.2010).
14. *Скляр Б.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. – Изд. 2-е, испр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

15. *Боговик А.В., Игнатов В.В.* Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. – СПб.: ВАС, 2006. – 183 с.
16. *Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А.* Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты: монография. – СПб.: Свое издательство, 2013. – 166 с.
17. *Блукке В.П.* Исследование живучести телекоммуникационной сети на имитационной модели в условиях физических и информационных разрушающих воздействий: дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / ИВМ СО РАН. – Новосибирск, 2011. – 177 с.
18. Основы управления сетью Российской Федерации / В.Б. Булгак, Л.Е. Варакин, А.Е. Крупное и др.; под ред. А.Е. Крупнова и Л.Е. Варакина. – М.: Радио и связь, 1998. – 184 с.
19. *Фокин В.Г.* Оптические системы передачи и транспортные сети: учебн. пособие. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 271 с.
20. Теория телекоммуникационных систем и сетей. Курс дистанционного обучения СибГУТИ [Электронный ресурс]. – 2013. – URL: http://ndo.sibsutis.ru/magistr/courses_work/ttss_work/lec.htm (дата обращения 1.09.2013).
21. *Букрина Е.В.* Сети связи и системы коммутации: учебное пособие. – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО СибГУТИ, 2007. – 186 с.
22. *Тоискин В.С.* Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. – М.: МО РФ, 2003.
23. *Нозик В. М.* Современные технологии реализации скоростных каналов связи на уровне «последней мили» // Новости науки и технологий. – Минск: ГУ «БелИСА», 2007. – № 2(6).
24. *Барабаш П., Воробьев С., Махровский О.* Новые времена, новые сети // Каталог «Технологии и средства связи» [Электронный ресурс]. – 2008. – URL: www.tssonline.ru/articles2/Oborandteh/new-times-new-networks (дата обращения 1.09.2013).
25. *Ги Кайя.* Об абонентском доступе // Сети и системы связи. – 1996. – № 6.
26. *Горнак А.М.* Организация доступа на базе xDSL: современные технологии // Технологии и средства связи. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа». – 2004.
27. Современные технологии доступа в сеть Интернет // Технологии DSL [Электронный ресурс]. – URL: www.xdsl.ru (дата обращения 1.09.2013).
28. *Барабаш П., Воробьев С., Махровский О.* Проводные технологии сетей абонентского доступа: принципы построения, классификация // Каталог «Технологии и средства связи» [Электронный ресурс]. – 2008. – URL: www.tssonline.ru/articles2/Oborandteh/provodnye-technologii-sad (дата обращения 1.09.2013).
29. *Орлов С.* Ethernet в сетях доступа // LAN. Журнал сетевых решений. – 2004. – № 1.

30. *Блушке А.* «Родословная» xDSL, или попытка классификации технологии xDSL для «последней мили» // Технологии и средства связи. – 2000. – № 1.
31. Мультисервисные сети кабельного телевидения / П.А. Барабаш, С.П. Воробьев, О.В. Махровский, В.С. Шибанов. – СПб.: Наука, 2004.
32. *Котилов И.М.* Классификация и сравнительный анализ технологий проводного доступа // Технологии и средства связи. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа». – 2004.
33. Пассивные оптические сети PON. Абонентский участок FTTH // Компания ДЕПС [Электронный ресурс]. – URL: www.etkis.ru/documents/pon/ftth-pon.htm (дата обращения 1.09.2013).
34. Судьба медной абонентской линии в цифровом мире: переход от аналоговой к цифровой абонентской кабельной сети // DSL-технологии [Электронный ресурс]. – URL: www.xdsl.ru (дата обращения 01.09.2013).
35. Общие аспекты технологий DSL // DSL-технологии [Электронный ресурс]. – URL: www.xdsl.ru (дата обращения 01.09.2013).
36. Быстрый Интернет по телефонной паре. Как работает xDSL // Портал Itc.ua [Электронный ресурс]. – URL: http://itc.ua/articles/bystryj_internet_po_telefonnoj_pare_kak_rabotaet_xdsl_20388/ (дата обращения 01.09.2013).
37. Технология DSL // DSL-технологии [Электронный ресурс]. – URL: www.xdsl.ru (дата обращения 01.09.2008).
38. *Симонова А. В., Гусельцов Д. Ю.* Концентраторы xDSL (DSLAM) // DSL-технологии [Электронный ресурс]. – URL: www.xdsl.ru (дата обращения 01.09.2013).
39. *Ченусов Е.* Цифровые системы передачи: от HDSL к G.shdsl // DSL-технологии [Электронный ресурс]. – URL: www.xdsl.ru (дата обращения 01.09.2013).
40. *Никифоров А. В.* Технология PLC – телекоммуникации по сетям электропитания // Сети и системы связи [Электронный ресурс]. – 2002. – № 5. – URL: www.ccc.ru/magazine/depot/02_05/read.html?0301.htm (дата обращения 01.09.2013).
41. *Комаров С.* Беда пришла, откуда не ждали... // «Broadcasting» [Электронный ресурс]. – 2005. – № 7. – С. 71. – URL: www.radiostation.ru/drm/plc1.html (дата обращения 01.09.2013).
42. Анализ конфигураций широкополосного абонентского доступа // DSL-технологии [Электронный ресурс]. – URL: www.xdsl.ru (дата обращения 01.09.2013).
43. Технология FTTx // Prointex telecommunication equipment [Электронный ресурс]. – URL: www.prointech.ru (дата обращения 01.09.2013).
44. *Гасымов И.* Архитектура оптических сетей доступа FTTH (Fiber-to-the-Home) // Официальный документ компании Cisco System Inc. 2007. – 12 с.
45. *Петренко И.И., Убайдуллаев Р.Р.* Сети PON. Стандарты // Terra Link: технологии стандарты протоколы [Электронный ресурс]. 06.10.2004. – URL: www.teralink.ru (дата обращения 01.09.2013).

46. Технология PON // Связь комплект [Электронный ресурс]. – URL: www.skomplekt.com (дата обращения 01.09.2013).
47. Макаренко С.И. Информационная безопасность: учебное пособие для студентов вузов. – Ставрополь: СФ МГГУ им. М. А. Шолохова, 2009. – 372 с.
48. Абилов А.В. Сети связи и системы коммутации: учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2004. – 288 с.
49. Бежаева Е.Б., Егунов М.М. Проектирование ГТС на базе систем передачи синхронной цифровой иерархии: учебн. пособие. – Н.: СибГУТИ, 2002. – 58 с.
50. Богомолова Н.Е. Сети и системы связи: учебное пособие. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2007. – 123 с.
51. Автоматическая коммутация: учебник для вузов / О.Н. Иванова, М.Ф. Копп, З.С. Коханова, Г.Б. Метельский; под ред. О.Н. Ивановой. – М.: Радио и связь, 1988. 624 с.
52. Макаренко С. И. Методика оценки времени задержки пакета в канале связи в условиях нестабильности входного трафика // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – Т. 5, № 3. – С. 95-96.
53. Макаренко С. И., Кихтенко А. В. Методика оценки времени задержки пакета в спутниковой сети связи в условиях нестабильности входного трафика // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 1.3 (27). – С. 344-348.
54. Макаренко С. И., Сидорчук В. П., Краснокутский А. В. Методика оценки времени задержки пакета в сети воздушной радио связи в условиях нестабильности входного трафика // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2007. – Т. 10, № 6. – С. 70-74.
55. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. – 2008. – № 6. – С. 54-58.
56. Макаренко С. И., Татарков М.А. Моделирование обслуживания нестационарного информационного потока системой связи со случайным множественным доступом // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 1. – С. 44-50.
57. Макаренко С. И. Анализ математических моделей информационных потоков общего вида и степени их соответствия трафику сетей интегрального обслуживания // Вестник ВГТУ. – 2012. – Т. 8, № 8. – С. 28-35.
58. Макаренко С. И. Анализ воздействия преднамеренных помех на сетевой уровень модели взаимодействия открытых систем и функционирование протокола маршрутизации оценки состояния канала (OSPF) // Информационные технологии моделирования и управления. – 2009. – №7 (59). – С. 956-961.
59. Макаренко С. И. Анализ воздействия преднамеренных помех на функционирование расширенного протокола маршрутизации внутреннего шлюза (EIGRP) // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – №2 (61). – С. 223-229.

60. Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Модель функционирования коммутатора в сети с использованием протокола покрывающего дерева STP и исследование устойчивости сети в условиях ограниченной надежности каналов связи // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2013. – № 2. – С. 61-68.

61. Макаренко С. И. Подавление пакетных радиосетей со случайным множественным доступом за счет дестабилизации их состояния // Журнал радиоэлектроники. – 2011. – № 9. – С. 2-2.

62. Макаренко С. И. Модели воздействия средств радиоэлектронной борьбы на систему связи на основе методов популяционной динамики // Вестник ВГТУ. – 2011. – Т. 7, № 1. – С. 96-99.

63. Макаренко С. И. Исследование влияния преднамеренных помех на возможности по ретрансляции сообщения и показатели качества обслуживания канального уровня модели OSI для системы связи со случайным множественным доступом абонентов // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – №6 (65). – С. 807-815.

64. Макаренко С. И. Оценка качества обслуживания пакетной радиосети в нестационарном режиме в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 6.

65. Макаренко С.И. Организация бескомпроматного воздействия на информационно-управляющую сеть за счет формирования структуры информационных потоков // Труды II межвузовской НПК «Актуальные проблемы организации и технологии защиты информации». Часть 1. – СПб.: СПб ИТУ ИТМО, 2012. – С. 63-68.

66. Макаренко С.И. Способ информационно-технического воздействия на сеть связи за счет формирования структуры информационных потоков // Мат. Всерос. науч. конф. «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». Том IV. Телекоммуникации и связь в информационно-управляющих системах специального назначения / под ред. Ю.В. Бородакия. – М.: ОАО «Концерн «Системпром», 2013. – С. 29-31.

67. Макаренко С. И., Гойденко В. К. Возможности использования пиринговых Р2Р сетей передачи информации в интересах повышения живучести и устойчивости систем связи специального назначения // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – №2 (61). – С. 190-199.

68. Алгоритм управления телекоммуникационной системой в нестационарном режиме функционирования / Е.А. Новиков, С.И. Макаренко, Е.С. Абазина, А.Р. Павлов // Сб. алгоритмов и программ прикладных задач. Вып. 29 / под ред. И.А. Кудряшова; отв. за выпуск Е.А. Новиков. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012. – С 157-175.

69. Макаренко С.И., Новиков Е.А. Оперативное управление ресурсом АТМ-коммутатора при обеспечении заданного качества обслуживания нестационарных информационных потоков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2013. – №1. – С.43-52.