

Н.Е. Богомолова

СИСТЕМЫ И СЕТИ СВЯЗИ

Учебное пособие

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Н.Е. Богомолова

СИСТЕМЫ И СЕТИ СВЯЗИ

Учебное пособие

Москва

2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений на русском языке	5
Список сокращений на английском языке	7
Предисловие	9
1. Основные понятия и определения	10
1.1. Краткие исторические сведения	10
1.2. Организации по разработке стандартов для систем и сетей связи	13
1.3. Принципы построения сетей связи	14
1.4. Методы коммутации в сетях электросвязи	18
Вопросы и задачи для самопроверки	20
2. Обзор сетей связи	22
2.1. Телефонная сеть общего пользования	22
2.1.1. Принципы нумерации на телефонных сетях	22
2.1.2. Городские телефонные сети	24
2.1.3. Сельские телефонные сети	29
2.1.4. Междугородная и международные телефонные сети	29
2.2. Сети передачи данных	31
2.2.1. Семиуровневая модель взаимодействия открытых систем	32
2.2.2. Классификация сетей передачи данных	34
2.3. Цифровые сети интегрального обслуживания	35
2.4. Сети подвижной сотовой связи	37
2.4.1. Принцип повторного использования частот	38
2.4.2. Эволюция стандартов СПСС	40
2.5. Основы анализа и синтеза сетей связи	42
2.5.1. Структура сети связи	42
2.5.2. Структурные матрицы сетей и операции с ними	44
2.5.3. Числовые показатели сети	45
2.5.4. Структурная надежность путей и связей	46
Вопросы и задачи для самопроверки	46
3. Цифровые системы передачи	49
3.1. Принципы цифрового преобразования непрерывных сигналов	49
3.1.1. Импульсно-кодовая модуляция	49
3.1.2. Принципы сжатия речевых сигналов	51
3.2. Кодирование цифровых сигналов при передаче по линии	52
3.3. Магистральные цифровые системы передачи	56
3.3.1. Принципы построения систем плезиохронной цифровой иерархии	56
3.3.2. Принципы построения систем синхронной цифровой иерархии	58
3.4. Цифровые системы передачи по абонентским линиям	61
Вопросы и задачи для самопроверки	62
4. Системы коммутации	64
4.1. Принципы построения коммутационных систем и их блоков	64
4.2. Принципы построения управляющих устройств ЦАТС	68
4.3. Классификация систем телефонной сигнализации	69
4.4. Цифровая АТС типа EWSD	71
4.4.1. Области применения системы	71
4.4.2. Функциональная схема EWSD	72

4.5. Методы расчета коммутационных систем и других систем связи	75
4.5.1. Понятие о системах массового обслуживания	75
4.5.2. Системы массового обслуживания с отказами	77
4.5.3. Системы массового обслуживания с ожиданием	78
Вопросы и задачи для самопроверки	78
5. Сигнализация в телефонных сетях	80
5.1. Аналоговые системы абонентской телефонной сигнализации	80
5.2. Цифровые системы абонентской телефонной сигнализации	81
5.3. Межстанционная аналоговая сигнализация	82
5.4. Межстанционная цифровая сигнализация по выделенному сигнальному каналу	85
5.5. Межстанционная цифровая сигнализация по общему каналу	87
5.5.1. Структура общеканальной сети сигнализации	87
5.5.2. Соответствие протоколов ОКС № 7 семиуровневой модели ВОС	90
5.5.3. Транспортная подсистема ОКС	91
5.5.4. Описание подсистемы управления SCCP	103
Вопросы и задачи для самопроверки	105
6. Сети подвижной сотовой связи стандарта GSM	106
6.1. Структура сети стандарта GSM	106
6.2. Сигнальный обмен в сети стандарта GSM	109
6.3. Служба SMS в сетях стандарта GSM	111
6.4. Анализ принципов передачи данных в сети стандарта GSM	116
6.4.1. Интерфейсы сети GSM с услугой GPRS	117
6.4.2. Протоколы плоскости передачи	119
Вопросы и задачи для самопроверки	122
Заключение	123
Список литературы	124

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

а.л. — абонентская линия
АЗУ — адресное запоминающее устройство
АИМ — амплитудно-импульсная модуляция
АМТС — автоматическая междугородная телефонная станция
АТС — автоматическая телефонная станция
АТСДШ — декадно-шаговая АТС
АТСК — координатная АТС
АУ — абонентское устройство
АЦП — аналогово-цифровое преобразование
БЗУ — буферное запоминающее устройство
ВВ — виртуальный вызов
ВК — виртуальный канал
ВОС — взаимодействие открытых систем
ВрК — временной канал
ВСК — выделенный сигнальный канал
ГВС — глобальная вычислительная сеть
ГТС — городская телефонная сеть
ДД — динамический диапазон сигнала
ДР — датаграммный режим
ДТР — детектор речи
ЗУ — запоминающее устройство
ИКМ — импульсно-кодовая модуляция
К — концентратор
КБ — коммутационный блок
КК — коммутация каналов
КП — коммутация пакетов
КС — коммутационная схема
КЭАТС — квазиэлектронная АТС
ЛВС — локальная вычислительная сеть
МАЛ — модуль аналоговых а.л.
МВС — региональная (городская, или сеть мегаполиса) вычислительная сеть
МЦЛ — модуль цифровых а.л.
ОАТС — оконечные автоматические телефонные станции
ОКС — система сигнализации по общему каналу
ОС — оконечная станция
ОТАТС — опорно-транзитные телефонные станции
ОУК — оконечный узел коммутации

ПО — программное обеспечение
ПУУ — периферийное управляющее устройство
РТС — ручная телефонная станция
с.л. — соединительная линия
СЕ — сигнальная единица
СМО — система массового обслуживания
СП — система передачи
СПД — сеть передачи данных
СПДОП — сеть передачи данных общего пользования
СПСС — сеть подвижной сотовой связи
СТ-1, СТ-2, СТ-3 — центры автоматической коммутации международной телефонной сети первого, второго и третьего классов
СТгС — сеть телеграфной связи
СТС — сельская телефонная сеть
ТА — терминальный адаптер
ТМО — теория массового обслуживания
ТУК — транзитный узел коммутации
ТфОП — телефонная сеть общего пользования
УАК I — узел автоматической коммутации междугородной телефонной сети первого класса
УАК II — узел автоматической коммутации междугородной телефонной сети второго класса
УВС — узел входящих сообщений
УИВС — узел исходяще-входящих сообщений
УИС — узел исходящих сообщений
УК — узел коммутации
УПАТС — учрежденческо-производственная АТС
УС — узловая станция
УСС — узел спецслужб
УУ — управляющее устройство
ФИМ — фазоимпульсная модуляция
ЦАП — цифроаналоговое преобразование
ЦАТС — цифровая АТС
ЦЛК — цифровой линейный комплект
ЦС — центральная станция
ЦСИО — цифровая сеть интегрального обслуживания
ЧИМ — частотно-импульсная модуляция
ЧНН — час наибольшей нагрузки
ШИМ — широтно-импульсная модуляция
ЭАТС — электронная АТС
ЭУМ — электронная управляющая машина

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

- ANSI (American National Standards Institute) — Национальный институт стандартизации США
- ATM (Asynchronous Transfer Mode) — асинхронный транспортный метод
- B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) — широкополосная цифровая сеть интегрального обслуживания
- BSC (Base Station Controller) — контроллер базовых станций
- BSS (Base Station System) — подсистема базовых станций
- BSSAP (Base Station System Application Part) — прикладной протокол подсистемы базовых станций
- BTS (Base Transceiver Station) — приемопередающая базовая станция
- CCS (Common Channel Signaling) — общий канал сигнализации
- CCU (Channel Control Unit) — блок кодека каналов
- CDMA (Code Division Multiple Access) — множественный доступ с кодовым разделением каналов связи
- DN (Directory Number) — местный абонентский номер
- EIA (Electronic Industries Association) — Ассоциация электронной промышленности
- ETSI (European Telecommunication Standardization Institute) — Европейский институт стандартов в области телекоммуникаций
- FDMA (Frequency Division Multiple Access) — множественный доступ с частотным разделением каналов связи
- GGSN (Gateway GPRS Support Node) — шлюзовой узел службы GPRS
- HDLC (High Level Data Link Control) — высокоуровневый протокол управления каналом
- HLR (Home Location Register) — основной (домашний) регистр местоположения
- IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) — Институт инженеров электроники и электротехники
- IMSI (International Mobile Subscriber Identification) — международный идентификатор подвижного абонента
- IMT (International Mobile Telecommunication) — Международная система мобильной связи
- IN (Intelligent Network) — интеллектуальная сеть
- INAP (Intelligent Network Application Part) — подсистема пользователей интеллектуальной сети ОКС
- IRCC (International Radio Consultative Committee) — Международный консультативный комитет по радиовещанию
- ISDN (Integrated Services Digital Network) — цифровая сеть интегрального обслуживания
- ISO (International Organization for Standardization) — Международная организация по стандартизации
- ISUP (ISDN User Part) — подсистема пользователей цифровой сети интегрального обслуживания ОКС

ITTCC (International Telegraph and Telephone Consultative Committee) — Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии
 ITU (International Telecommunication Union) — Международный союз электросвязи
 ITU-R — сектор радиовещания Международного союза электросвязи
 ITU-T — сектор телекоммуникаций Международного союза электросвязи
 LAN (Local Area Network) — локальная вычислительная сеть (ЛВС)
 MAN (Metropolitan Area Network) — региональная (городская, или сеть мегаполиса) вычислительная сеть (МВС)
 MAP (Mobile Application Part) — протокол пользователей подвижной связи
 MSC (Mobile Services Switching Center) — центр коммутации подвижной связи
 MTP (Message Transfer Part) — транспортная подсистема ОКС
 NB-ISDN (Narrow Band Integrated Services Digital Network) — узкополосная цифровая сеть интегрального обслуживания
 NDC (National Destination Code) — специальный междугородный код географической или нереографической зоны
 OSI (Open System Interconnection) — семиуровневая модель взаимодействия открытых систем (ВОС)
 PCU (Packet Control Unit) — блок управления пакетами
 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) — плезиохронная цифровая иерархия
 PDN (Public Digital Network) — сеть передачи данных общего пользования (СПДОП)
 PLMN (Public Land Mobile Network) — сеть наземной подвижной сотовой связи
 PRI (Primary Rate Access) — интерфейс первичного доступа
 PSTN (Public Switched Telephone Network) — телефонная сеть общего пользования (ТфОП)
 PABX (Private Automatic Branch eXchange) — учрежденческо-производственные АТС (УПАТС)
 PCM (Pulse Code Modulation) — импульсно-кодовая модуляция
 SCCP (Signalling Connection Control Part) — подсистема управления соединениями сигнализации
 SDH (Synchronous Digital Hierarchy) — синхронная цифровая иерархия
 SGSN (Serving GPRS Support Node) — узел поддержки службы GPRS
 SP (Signalling Point) — пункт сигнализации
 SSS (Switching SubSystem) — подсистема коммутации
 STM (Synchronous transport module) — синхронный транспортный модуль
 STP (Signalling Transfer Point) — транзитный пункт сигнализации
 SU (Signal Unit) — сигнальная единица
 TDMA (Time Division Multiple Access) — множественный доступ с временным разделением каналов связи
 TSM (Time Switch Module) — временной коммутатор
 TUP (Telephone User Part) — подсистема телефонного пользователя ОКС
 VLR (Visited Location Register) — гостевой (визитный) регистр местоположения
 VoIP (Voice —
 WAN (Wide Area Network) — глобальная вычислительная сеть (ГВС)
 WCDMA (Wavelength Division Multiple Access) — множественный доступ с разделением каналов по длине волны

ПРЕДИСЛОВИЕ

Системы и сети электросвязи (*telecommunication* — телекоммуникации) появились в первой половине XIX века и менее чем за двести лет охватили весь земной шар. Глобальная информационная структура объединила людей во всем мире и позволила им общаться в любое время и в любом месте.

Современная телекоммуникационная техника очень разнообразна. При ее эксплуатации требуются профессиональные знания не только в области связи, но и в области программирования, экономики, разработки электронных приборов.

Данное учебное пособие предназначено для ознакомления студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по информационным специальностям, с основами телекоммуникаций. Поскольку в университете имеется большой объем литературы по радиотехническим специальностям, основное внимание в пособии уделяется системам проводной и оптической электросвязи. Поскольку студенты этих специальностей изучают курс «Сети ЭВМ», вопросы этого курса рассмотрены только в общих чертах с приведением соответствующих ссылок.

В настоящее время в нашей стране широко распространились системы связи иностранного производства, благодаря чему возникло разночтение многих понятий на русском языке, поэтому в пособии приведены русские и английские термины, а также профессиональные сленговые выражения, даны английские сокращения с указанием русского перевода.

Пособие состоит из шести глав.

В первой главе приведены классификация и основные понятия и определения, используемые в системах и сетях связи, даны исторические сведения.

Во второй главе выполнен обзор существующих сетей электросвязи в их историческом развитии: телефонной сети общего пользования, сетей передачи данных, интегральных сетей и сетей подвижной сотовой связи.

В третьей главе описаны современные магистральные цифровые системы передачи, основанные на импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). Подробно рассмотрены принципы передачи цифровых сигналов, построения еще широко распространенных систем плезиохронной цифровой иерархии и приходящих им на смену систем синхронной цифровой иерархии, а также абонентских цифровых систем передачи.

В четвертой главе описаны современные цифровые системы коммутации, для примера рассмотрена широко распространенная в мире цифровая система коммутации типа EWSD фирмы Siemens.

В пятой главе рассмотрены системы взаимодействия элементов телекоммуникационной системы, протоколы и системы сигнализации.

В шестой главе дан обзор мобильных сетей стандарта GSM, а также обозначены перспективы развития сетей следующего поколения.

В конце каждой главы приведены вопросы и задачи для самопроверки.

Данное пособие не претендует на полное освещение всех вопросов построения современных систем и сетей связи, но в нем приведены ссылки на соответствующую вполне доступную литературу, которая может быть использована для более глубокой проработки вопросов.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термин *электросвязь* [1] означает передачу или прием сигналов (знаков письменного текста, звуков, изображений) по проводной, радио-, оптической и другим электромагнитным системам (рис. 1.1) [2]. Первоначально для связи использовался только переменный ток с частотами 3000...5000 Гц, а в настоящее время для оптической связи освоены частоты 10^{14} ... 10^{15} Гц.

1.1. Краткие исторические сведения

Появление электросвязи было обусловлено развитием электротехники, начавшимся в конце XVIII века. Над созданием систем и сетей электросвязи работали ученые различных стран. Сначала это были физики, затем электромеханики, потом специалисты в области электросвязи, вычислительной техники, сетей ЭВМ. Немалую роль сыграли и русские ученые.

В начале XIX века были предприняты попытки использовать для передачи сообщений свойства электрического тока быстро распространяться по проводникам. Таким образом, первыми появились системы проводной связи. Сначала эти системы использовались для передачи знаков письменного текста — телеграфная электросвязь. Создателем электромеханического телеграфного аппарата является член-корреспондент Петербургской академии наук П.Л. Шиллинг (1832), первая телеграфная линия между Балтимором и Вашингтоном была проложена С. Морзе (1833). Изобретенный им код для телеграфирования применялся вплоть до второй половины XX века. Буквопечатающий телеграфный аппарат построил российский академик Б.С. Якоби (1850). Разработки вели также американский ученый Д. Юз, англичанин Ч. Уитстон и француз Ж. Бордо, который создал равномерный пятиэлементный телеграфный код (1877), применяющийся и в наше время [2].

Затем появились системы проводной передачи речи на расстояние — телефонная электросвязь. Годом рождения телефона считается 1876 г. [3], когда А. Белл получил в Америке патент на электромагнитное устройство, позволяющее передавать речь на расстояние 0,5 км. В 1878 г. Д. Юз изобрел микрофон с угольными палочками. В 1879 г. этот микрофон усовершенствовал русский инженер М. Махальский, применив угольный порошок. Первый телефонный аппарат оригинальной конструкции с применением электромагнитов разработал П.М. Голубицкий. В 1881 г. он организовал в селе Таруса Калужской губернии телефонную мастерскую.

Первая ручная телефонная станция (РТС) общего пользования была открыта в городе Нью-Хевен (Америка). В 1880 г. РТС появились на Урале, а в 1882 г. — в Петербурге, Москве, Одессе, Риге. К 1890 г. телефонные станции работали в 96 городах России. Для установления соединения между абонентами в этих станциях коммутировался канал. Так возник метод коммутации каналов (КК).

Одновременно начались работы по созданию автоматических телефонных станций. В 1892 г. в Ла-Порте (США) состоялся пуск первой автоматической телефонной станции (АТС) на искателях Строуджера. В 1905 г. в Америке были построены АТС на 11 000 (Гранд-Рapid) и на 24 000 (Лос-Анжелес) номеров. Долгое время разрабатывались различные конструкции механических АТС: декадно-шаговые, координатные с регистровым поиском, машинные. Появились развитые городские телефонные сети (ГТС).

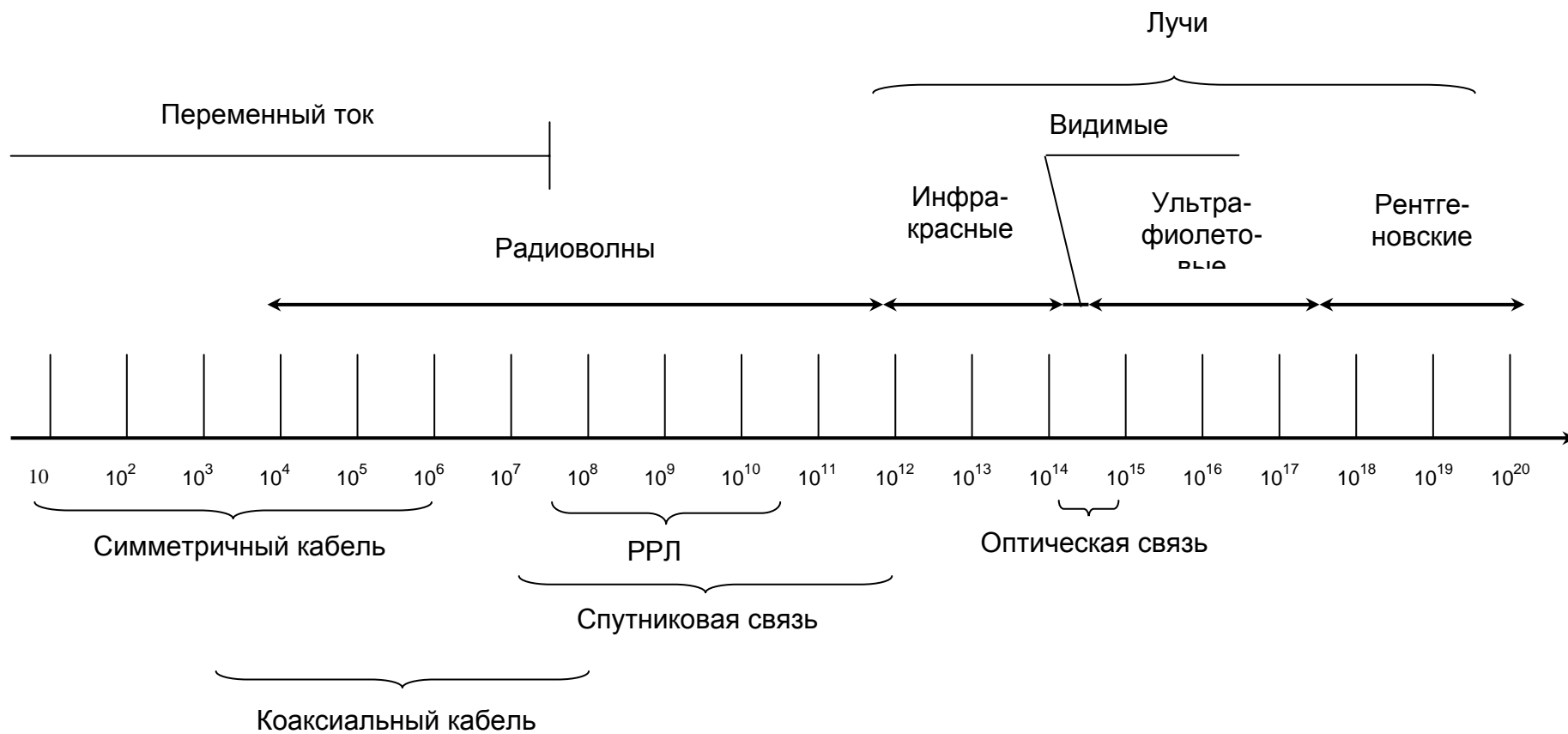


Рис. 1.1. Спектр электромагнитных колебаний и его использование для различных видов электросвязи

Чтобы создать междугородные и международные линии для передачи сигналов на большие расстояния, начали разрабатывать специальные усилители для аппаратуры дальней связи. В 1917 г. под руководством В.И. Коваленкова была осуществлена опытная телефонная связь между Москвой и Петроградом через телефонные усилители.

В начале XX века появились системы радиосвязи. Первые опыты по демонстрации излучения электромагнитных радиоволн были проведены в 1886–1889 гг. в Германии, в 1895 г. Попов и Маркони одновременно изобрели радиоприемник. Так возникла подвижная связь. В 1920 г. в Дейтройте (США) были созданы радиосистемы, позволившие осуществлять одностороннюю (симплексную) связь с полицейскими автомобилями, радиус зоны обслуживания составил 50 км. В 1930 г. в Нью-Джерси (США) были созданы радиальные системы двухсторонней (дуплексной) подвижной связи с полицейскими машинами. Все эти системы не имели выхода на телефонную сеть общего пользования. В 1950-е гг. появились первые радиорелейные линии, в 1962 г. — системы связи через искусственные спутники Земли.

Следует отметить, что все эти сети и системы были аналоговыми, т. е. осуществляли передачу сигналов в аналоговой форме. Аналоговые сигналы состоят из гармоник, т. е. сигналов различных частот, которые при передаче затухают неравномерно, поэтому при передаче и усилении сигнал получал искажения, пропадала узнаваемость речи. Но уже перед второй мировой войной академик В.Н. Котельников доказал свою знаменитую теорему. Так были заложены теоретические основы аналогово-цифрового преобразования сигналов, которые легли в основу современной цифровой техники связи.

В 1946 г. в США была создана первая ЭВМ «НИАК» с записанной программой. Сразу же встал вопрос о применении ЭВМ для управления АТС. Но коммутационное поле АТС все еще оставалось механическим. Оно было построено на герконах (герметизированных язычковых контактах), которые были изобретены в 1940 г. фирмой А. Белла. В итоге появились квазиэлектронные АТС (КЭАТС), в которых аналоговые сигналы коммутировались механическими герконовыми полями, работающими под управлением ЭВМ. Впервые программное управление было применено на КЭАТС типа ESS-1, установленной в одном из отделений фирмы А. Белла в 1962 г. [4]. Затем различные системы КЭАТС получили широкое распространение. Параллельно проводилось исследование по созданию полностью электронных АТС — ЭАТС, при этом использовались различные виды модуляции. Предпочтение было отдано ИКМ с временным делением каналов. Сам принцип ИКМ был предложен в конце 1930-х гг. французским инженером А. Риве. Появились цифровые АТС (ЦАТС), эксплуатация которых началась в 1963 г. В том же году были разработаны цифровые системы передачи с временным разделением сигналов. Впервые 24-канальная система ИКМ была применена в США в 1962 г.

Повсеместное внедрением ЭВМ привело к появлению нового вида связи — передачи данных. Первоначально она осуществлялась по аналоговым телефонным сетям. В 1958 г. был создан первый коммерческий модем, в 1960 г. на первом коаксиальном трансатлантическом кабеле между Европой и Америкой была установлена аппаратура уплотнения TASSI, позволяющая повысить пропускную способность кабеля с 36 до 84 одновременных разговоров и передавать данные в паузах речи. В 1961 г. лаборатория Херох продемонстрировала факсимильный аппарат.

В 1969 г. в США была создана первая сеть ЭВМ «ARPA» для связи компьютеров. Здесь впервые был применен метод коммутации пакетов (КП). Попытки интеграции сетей ЭВМ с телефонными сетями привели к созданию гибридных сетей, в которых применялся как метод КК, так и метод КП. Впервые идею интеграции различных видов связи высказал советский академик А.А. Харкевич в 1960 г. Гибридные сети обеспечили предпосылки для создания цифровых сетей интегрального обслуживания (ЦИО), в которых на основе единых принци-

пов построения возможна передача в цифровой форме различных видов информации (речи, данных, видеоконференций) с помощью методов КК и КП.

Одновременно предпринимались попытки создания систем подвижной связи. Сначала в этих системах за каждым абонентом был закреплен свой канал с присвоенной ему частотой. Это было вызвано необходимостью более эффективно использовать частотный ресурс. В 1956 г. была выдвинута идея транкинговой подвижной связи, при которой радиоканал для группы абонентов закреплялся за определенным соединением между абонентами группы. После окончания соединения канал освобождался и мог использоваться для другого соединения. Радиотелефонная связь уже получила достаточное распространение, но число каналов в жестко определенной полосе частот было ограничено [5]. Устранить это ограничение позволил сотовый принцип организации связи, предложенный компанией А. Белла в декабре 1971 г. С этого времени началось триумфальное развитие систем сотовой подвижной связи, которые явились одним из наиболее грандиозных технических достижений XX века. В них произошло слияние технологий традиционных стационарных телефонных сетей, технологий сетей передачи данных и технологий систем двухсторонней радиотелефонной связи с подвижными объектами. Большинство мобильных сетей в настоящее время построено на цифровых стандартах, при этом наиболее распространенным является стандарт GSM.

Начало XXI века ознаменовалось созданием концепции сетей следующего поколения (Next-Generation Network — NGN), которая предполагает широкополосный (высокоскоростной) доступ абонентов как для стационарных, так и для мобильных сетей, передачу всех видов информации по сети передачи данных с помощью коммутации пакетов с разделением функций переноса информации и функций управления сетью.

1.2. Организации по разработке стандартов для систем и сетей связи

Стандартизация играет важнейшую роль в системах и сетях связи, она обеспечивает снижение затрат и расширение научно-технического сотрудничества. Международные стандарты и рекомендации, которые в течение многих лет исследовались в научных лабораториях, апробированы во многих странах и учитывают возможности дальнейшего развития техники. К сожалению, до сих пор не удалось достичь общего стандарта в измерениях даже физических величин. В области телекоммуникаций также существует несколько международных организаций по стандартизации, которые в настоящее время занимаются согласованием стандартов различных стран и континентов.

Россия как часть Европы пользуется международными телекоммуникационными стандартами, установленными под эгидой **Международного союза электросвязи** (International Telecommunication Union — ITU), рекомендации которого появились еще в первой половине XX века. До 1993 г. в ITU было на два подразделения:

- Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии (International Telegraph and Telephone Consultative Committee — ITTCC), который разрабатывал рекомендации для телефонии и телеграфии, а также для оборудования и цепей передачи данных;
- Международный консультативный комитет по радиовещанию (International Radio Consultative Committee — IRCC), занимающийся распределением радиочастот.

В настоящее время ITTCC преобразован в сектор телекоммуникаций международного союза электросвязи ITU-T, а IRCC — в сектор радиовещания ITU-R.

Международный союз электросвязи рассматривает и утверждает свои рекомендации на пленарных ассамблеях, заседания которых проходят раз в четыре года. Ранее рекомендации издавались в виде отдельных томов, каждой ассамблее соответствовал свой цвет переплета: 1968 г. — Белая книга, 1972 г. — Зеленая книга, 1976 г. — Оранжевая книга, 1980 г. — Желтая книга, 1984 г. — Красная книга, 1988 г. — Синяя книга, 1992 г. — Белая книга. В даль-

нейшем рекомендации начали издаваться на CD-дисках. Существуют диски с рекомендациями 1996, 2000 и 2004 гг.

Рекомендации отдельной тематики объединяются в серии, обозначаемые латинскими буквами: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, X, Z. Например, серия X посвящена передаче данных, серия I — цифровым сетям интегрального обслуживания (ISDN), серия Q — телефонной сигнализации, серия M — управлению сетями электросвязи. Таким образом, широко известный протокол X.25 означает 25-ю рекомендацию ITU-T по передаче данных.

В рамках Евросоюза был создан **Институт стандартов в области телекоммуникаций** (European Telecommunication Standardization Institute — ETSI), который в настоящее время осуществляет разработки по стандартизации мобильной связи европейского стандарта GSM.

В Северной Америке большинство основных стандартов по телекоммуникациям утверждено **Национальным институтом стандартизации США** (American National Standards Institute — ANSI). Кроме того, стандарты, относящиеся к телекоммуникациям, утверждают **Ассоциация электронной промышленности** (Electronic Industries Association — EIA), а также **Институт инженеров по электронике и электротехнике** (Institute of Electrical and Electronic Engineers — IEEE).

Североамериканские стандарты и стандарты ITU-T в прошлом были часто несовместимы, поэтому в настоящее время эти стандарты включены в качестве дополнения в рекомендации ITU-T. Сейчас для разработки всемирных стандартов работают совместные комитеты. Существует **Международная организация по стандартизации** (International Organization for Standardization — ISO) — всемирная организация, ответственная за разработку международных стандартов путем координации деятельности национальных органов по стандартизации. Технические комитеты ISO тесно сотрудничают с ITU-T при разработке рекомендаций.

1.3. Принципы построения сетей связи

Принцип передачи сообщения поясним с помощью рис. 1.2.

Абонент (в сетях ЭВМ его называют пользователем) через абонентское устройство АУ (или терминал Т) формирует сообщение в качестве электрического сигнала. Сообщение может быть как *аналоговым*, т. е. представляющим собой непрерывный во времени электрический сигнал, так и *дискретным*, представляющим собой последовательность отдельных элементов в виде букв, цифр и других знаков. Аналоговый сигнал характеризуется шириной передаваемого спектра частот, а дискретный — скоростью передачи импульсов или их совокупностей.

В аналоговых системах сигнал поступает на *модулятор*, который служит для преобразования сигнала в соответствии со средой передачи. Модуляция представляет собой изменение одного или нескольких параметров (частоты амплитуды, фазы — соответственно, амплитудная, частотная и фазовая модуляция) по закону первичного сигнала. При этом несущее колебание получает признаки первичного сигнала. Например, элементы цифрового сигнала, передаваемого в Интернет по аналоговой телефонной абонентской линии, заполняются несущей тональной частотой, а речевой сигнал, передаваемый в радиоэфир, — несущей радиочастотой.

В приемном узле *демодулятор* выполняет операции, обратные операциям модулятора, например освобождает информационный электрический сигнал от переносившего его высокочастотного электромагнитного колебания. Устройство, осуществляющие функции модуляции и демодуляции, называется *модемом*.

В цифровых системах аналоговый электрический сигнал преобразуется в цифровой с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), или кодера. При необходимости

цифровому сигналу может быть придан ряд полезных свойств: защита от несанкционированного доступа, защита от ошибок и т. п. В настоящее время на сетях внедряются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). При их использовании сообщение преобразуется в оптический сигнал. Выходное устройство согласует параметры АУ с параметрами абонентской линии. В аналоговых системах используется усилитель мощности сигнала.

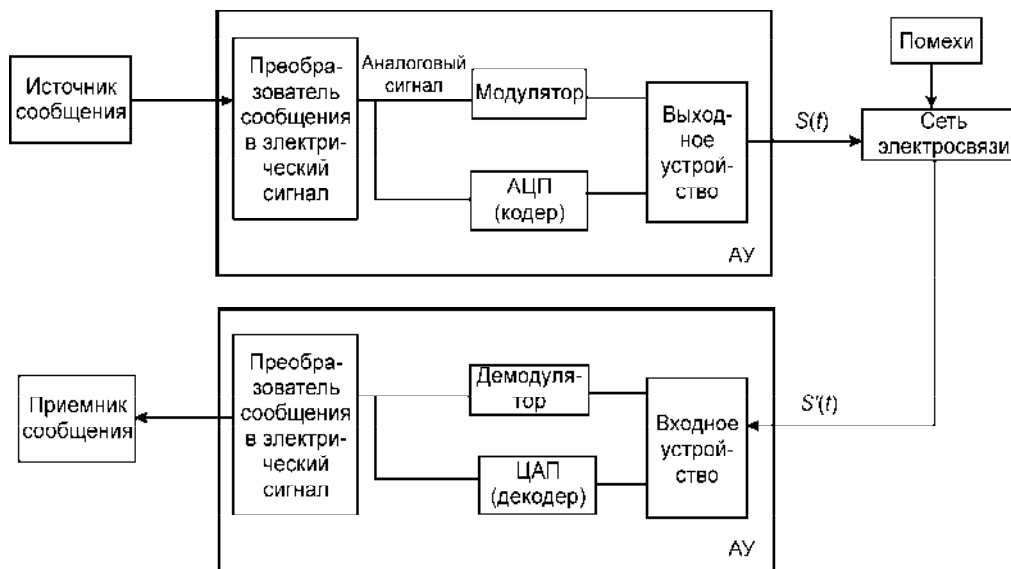


Рис. 1.2. Принцип передачи сообщения

В приемном узле входное устройство согласует параметры линии связи с параметрами приемного АУ, в котором будут проведены обратные преобразования.

Аналоговый, или цифровой сигнал при передаче по сети электросвязи будет искажен: вместо сигнала $S(t)$ будет получен сигнал $S'(t)$. Для устранения искажений при передаче дискретных сообщений применяют помехоустойчивое кодирование. При декодировании сигнала на приемном узле в соответствии с переданной исходящей служебной информацией искажение может быть обнаружено и при определенных условиях даже исправлено.

Дадим общее определение сети электросвязи, или, как сейчас принято называть, телекоммуникационной сети.

Сеть электросвязи — это совокупность *физических средств*: абонентского оборудования (терминалов Т), оконечных узлов коммутации (ОУК) и транзитных узлов коммутации (ТУК), абонентских (а.л.) и межстанционных соединительных линий (с.л.), а также *программных средств*, (различных протоколов сетей ЭВМ и систем сигнализации в телефонных сетях), предназначенных для приема, обработки, хранения и доставки информации между пользователями сети (рис. 1.3) [6, 7].

По аналогии с сетями ЭВМ [8] в сети электросвязи можно выделить *ядро* — это ОУК, ТУК и соединяющие их межстанционные соединительные линии — и *сеть доступа*, куда входят Т и а.л., ведущие к ОУК. При этом а.л. могут быть проводными и включаться непосредственно в ОУК. При большом скоплении абонентов (например, многоквартирный дом) уже в сети доступа могут применяться *многоканальные системы передачи* (СП). В этом случае длина а.л. значительно сокращается, а между СП и ОУК прокладывается с.л. В мобильных сетях а.л. заменяется радиоканалом, предоставляемым абоненту по требованию, подключение осуществляется через приемопередающую базовую станцию (BTS).

Сеть связи, осуществляющая взаимодействие абонентов, является сложной системой, включающей некоторое множество отдельных систем. Рассмотрим их более подробно (рис. 1.4).

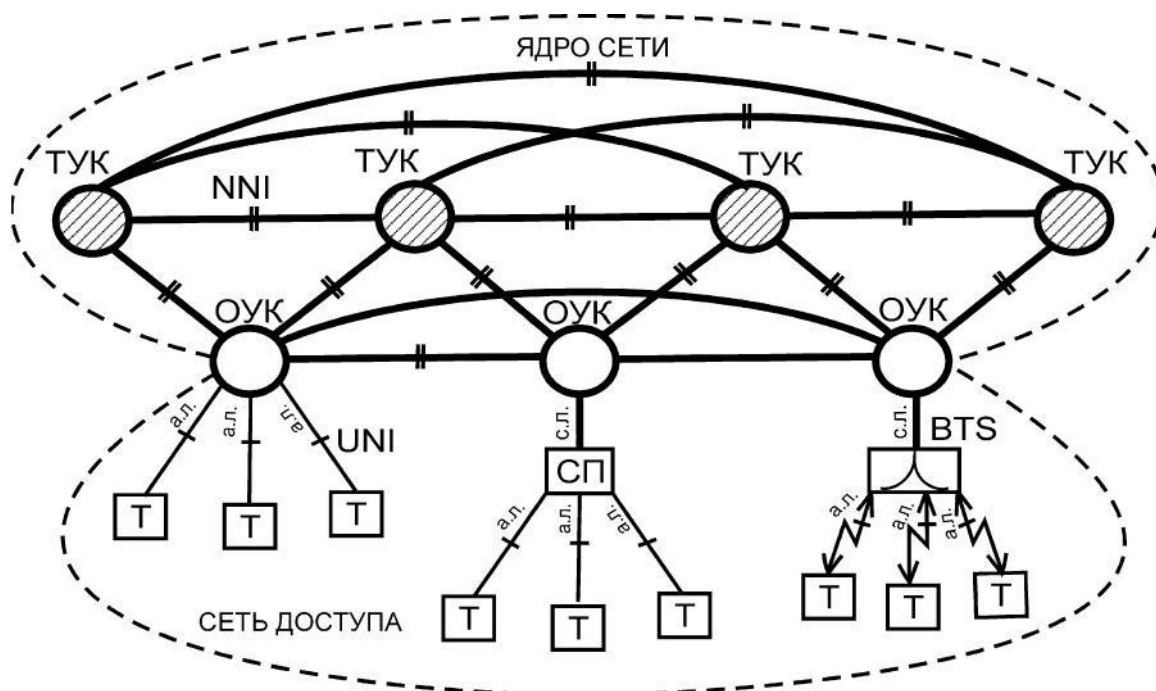


Рис. 1.3. Общая структура сети электросвязи:
 I — интерфейс «Пользователь — сеть» (User — Network Interfeis — UNI);
 II — интерфейс «сеть — сеть» (Network — Network Interfeis — NNI)



Рис. 1.4. Структура сети электросвязи

Система абонентского доступа определяет принципы абонентского доступа к узлу коммутации. Абонентский доступ может быть стационарным (при этом различают аналоговые и цифровые абонентские линии) и мобильным. Абоненты являются источниками и потребителями информации, они создают потоки сообщений различного вида и назначения. Именно абоненты предъявляют к сети требования по доставке и обработке информации с

соблюдением определенных качественных и количественных показателей (объемы информации, время доставки, надежность и т. п.). Сеть электросвязи предоставляет абонентам набор возможных *видов связи* (телефонное соединение, пересылку SMS-сообщения, передачу электронной почты, организацию видеоконференции и т. п.) и различных *услуг* как по обработке информации, так и связанных с облегчением пользования сетью (доступ к различным базам данных, поисковым системам и т. д.).

Система передачи информации на расстояние служит для передачи информации по соединительным линиям между узлами сети. Подсистема передачи информации является основой первичной (транспортной) сети. Линия связи представляет собой физическую среду (электрические и оптоволоконные кабели, радио-, спутниковые и другие линии связи), оборудованную каналообразующей аппаратурой (многоканальной СП) с устройствами контроля качества передачи информации, устройствами обнаружения и коррекции ошибок, аппаратурой усиления, ретрансляции и другими устройствами, обеспечивающими передачу информации по линиям с заданными показателями качества. С помощью СП в линии связи могут выделяться отдельные каналы. Здесь применяют различные методы разделения пропускной способности линии связи (английский эквивалент *multiple access* — множественный доступ). Существует пять видов множественного доступа [7]:

- множественный доступ с пространственным разделением каналов связи;
- множественный доступ с частотным разделением каналов связи (Frequency Division Multiple Access — FDMA), при этом каждому пользователю выделяется своя часть полосы частот (Δf), которой он владеет безраздельно;
- множественный доступ с временным разделением каналов связи во времени (Time Division Multiple Access — TDMA), значительно сложнее по реализации, чем FDMA, при этом общий ресурс (кабель, полоса радиочастот) разделяется во времени между несколькими пользователями (аналогично расписанию);
- множественный доступ с кодовым разделением каналов связи (Code Division Multiple Access — CDMA), при котором группа пользователей одновременно занимает общую полосу частот, но каждый канал имеет свой собственный код доступа;
- множественный доступ с разделением каналов по длине волны (Wavelength Division Multiple Access — WCDMA), основанный на использовании нескольких длин волн в оптическом диапазоне для передачи нескольких оптических сигналов.

Заметим, что вся история развития СП тесно связана с историей развития систем коммутации, при этом наблюдается их взаимное влияние. В настоящее время системы коммутации строятся только на базе цифровых систем передачи, где используется TDMA. В связи с этим определенный тип множественного доступа предполагает соответствующий метод коммутации в ОУК или ТУК.

Линии связи, на которых разворачиваются СП, образуют *первичную сеть*, на базе которой могут создаваться различные *вторичные сети*, как коммутируемые, так и некоммутируемые: телефонные, телеграфные, мобильные, сети передачи данных и т. п. Эти вторичные сети организуются с помощью кроссовой коммутации, которая обеспечивает изменения структуры сети (вручную или автоматически) при изменении тяготений между отдельными узлами коммутации сети или отдельными группам АУ.

Система коммутации, которую также называют **системой распределения информации**, служит для соединений различных линий в узлах сети. Она осуществляет в основном оперативную (по заявке абонентов) коммутацию между собой отдельных каналов связи или канала связи и абонентских линий. Под *каналом связи* [2] в сети понимают комплекс устройств, обеспечивающий перенос информационных сигналов из одной точки пространства в другую, причем конечными точками канала можно считать либо АУ, либо устройства сопряжения канала с ЭВМ.

По направлению передачи информации различают [9] *симплексные каналы*, по которым информация может передаваться только в одном направлении (например, каналы радиовещания), и *дуплексные каналы*, по которым информация может передаваться одновременно в обоих направлениях (например, телефонные каналы, коммутируемые электромеханическими системами коммутации без применения систем передачи на дальние расстояния).

Разделение каналов может осуществляться в пространстве, по частоте, по времени, по коду, по длине волны. Для коммутации каналов, разделенных в пространстве, в большинстве существующих сетей используются электромеханические коммутационные системы с механическими контактами. В период наибольшего распространения частотных систем передачи на дальние расстояния делались попытки построить системы коммутации с разделением внутренних путей по частоте, но они не оправдали себя по техническим и экономическим соображениям.

Появление СП с TDMA привело инженеров к разработке систем временной коммутации, которые в настоящее время являются доминирующими. Именно системы временной коммутации применяются во всех современных цифровых ТУК и ОУК.

На протяжении последних тридцати лет делаются попытки создания систем оптической коммутации, позволяющих коммутировать волны различных длин по различным направлениям. Но такие системы требуют применения механических устройств, схемы управления которыми до сих пор не разработаны.

Система управления служит для управления процессами, происходящими в телекоммуникационной сети. Различают оперативное и административное управление сетью. Процессы оперативного управления сетью связи подразделяются на процессы динамического управления потоками информации (ДУПИ) и процессы организационно-технического управления сетью.

Система управления сетью, как правило, включает различного рода устройства контроля и отображения для сбора контрольной информации о состоянии сети, системы анализа качественных характеристик работы сети на их соответствие пользовательским требованиям, а также системы выработки управляющих решений.

Система телефонной сигнализации и протоколов обмена данными (на показанная на рис. 1.4, так как ее программы устанавливаются во всех ранее описанных системах) осуществляет взаимодействие абонентов и физических элементов сети электросвязи.

1.4. Методы коммутации в сетях электросвязи

В процессе коммутации можно выделить три этапа:

1-й — процесс установления соединения, при котором происходит выделение ресурсов для создания канала;

2-й — процесс передачи информации, при котором выделенные ресурсы полностью или частично принадлежат данному соединению;

3-й — процесс отбоя, во время которого происходит освобождение ресурсов и разрушение соединения.

Методы коммутации в сетях электросвязи развивались в соответствии с эволюцией систем и сетей связи, поэтому рассмотрим их в историческом развитии.

Первой возникла телеграфная связь, вместе с ней появился *метод коммутации сообщений* (КС). Телеграфная связь работала как система с ожиданием [10]. При этом буквенное сообщение передавалось в сеть целиком, без предварительного бронирования ресурсов (отсутствовал первый этап). Так как все сообщения имели разную длину, на транзитных узлах нельзя было создать стандартные запоминающие устройства (ЗУ), сообщения запоминались первоначально в буквенном виде на бумаге, позже на перфоленте, затем стали применяться

магнитные ЗУ. Отсутствие предварительного бронирования ресурсов приводило к образованию очередей в ТУК. Время, проведенное сообщениями в ожидании, часто значительно превышало время их передачи. Третий этап также отсутствовал. Однако метод КС имеет одно значительное преимущество: при малой загрузке сети (до 18 %) он является самым быстродействующим именно благодаря отсутствию первого и третьего этапов.

Затем появилась телефонная связь, которая работала в диалоговом режиме, что требовало составления канала между абонентами, т. е. обязательного бронирования ресурсов в сети, возник *метод коммутации каналов* (КК). При этом на первом этапе происходило установление соединения с обязательным выделением ему всех необходимых ресурсов. Телефонные соединения устанавливались по системе с отказами [10], отсутствие какого-либо ресурса на участке сети было недопустимо. На время передачи информации (время разговора) все ресурсы принадлежали только данному соединению. Абонент мог молчать, забыть положить трубку, все ресурсы все равно были заняты соединением. Примером «расточительности» по отношению к ресурсам метода КК является выход по телефонной сети в Интернет через модем. Обмен информацией ведется только в определенные моменты времени, а дозвониться абоненту никто не может, так как канал скоммутирован между телефоном абонента и модемным ПУЛОм.

Приблизительно через 100 лет после изобретения телефона появилась первая реально действующая сеть передачи данных между ЭВМ (сеть ARPA). Она была создана в конце 1960-х гг. в США с целью ускорить решение пользовательских задач за счет их размещения в менее загруженных (из-за разницы часовых поясов) ЭВМ. В этой сети впервые был применен *метод коммутации пакетов* (КП), при котором сообщение, передаваемое от одной ЭВМ к другой, делилось на пакеты стандартной длины (теперь для их хранения можно применить стандартные ЗУ), которые затем поступали в сеть. Пакеты передавались между узлами сети и в конце концов достигали пункта назначения. Процессы в сетях ЭВМ напоминали перемещение грузов в транспортных сетях, поэтому при построении сетей ЭВМ за основу были взяты сети морского транспорта. При этом была перенесена и терминология: терминалы, порты, протоколы и т. п.

Первоначально метод КП существенно отличался от метода КК, в нем отсутствовали первый и третий этапы. Это был так называемый *датаграммный режим* (ДР), при котором пакеты данных (датаграммы) посылались в сеть лишь с указанием узла назначения, без предварительного бронирования ресурсов на транзитных и приемном узлах. Пакеты одного и того же сообщения могли передаваться по различным маршрутам (предполагалось, что по параллельным для увеличения скорости передачи), из-за чего они приходили часто не в той последовательности, в которой их передали, их требовалось пересортировывать. Отсутствие резервирования памяти в оконечных и транзитных узлах коммутации приводило к их перегрузкам, блокированию пакетов в сети, созданию петлевых траекторий. В результате сеть перегружалась, производительность ее резко падала, время доставки резко увеличивалось, срабатывали механизмы блокировки и новые пакеты в сеть уже не принимались.

В дальнейшем метод КП неоднократно модифицировался, и в результате этого приблизился к методу КК. Сначала появился *датаграммный режим с виртуальным вызовом* (ДР с ВВ). При этом режиме перед передачей сообщения в сеть посылался специальный пакет виртуального вызова, который бронировал необходимые ресурсы на приемном узле, а узел получателя посылал об этом ответный пакет. При отсутствии необходимых ресурсов посылался пакет с отказом либо просто ничего не передавалось. Таким образом, на исходящем и приемном узлах добавлялись элементы первой и третьей фаз установления соединения. Но в сети все осталось по-прежнему: траектории оставались петлевыми и пакеты продолжали приходить не в той последовательности.

Затем появился *метод КП с установлением виртуального канала* (ВК), при котором пакет виртуального вызова фиксировал маршрут передачи пакетов данного сообщения и ре-

судсы в транзитных и приемных узлах. Последний пакет передаваемого сообщения разрушал виртуальный канал. Отличием от метода КК здесь являлась лишь проверка каждого пакета и исправление ошибок (проводились повторные посылки искаженных пакетов).

Первоначально телефонные сети и сети передачи данных существовали совершенно независимо, затем при цифровизации телефонных сетей наметились тенденции к их интеграции, которая привела к появлению совместных методов коммутации каналов и пакетов: *гибридной* и *адаптивной* коммутации, а также *смешанной коммутации каналов и пакетов* [4]. Они будут рассмотрены ниже.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Назовите основные органы по разработке стандартов в области телекоммуникаций в Европе.

2. Чем можно объяснить применение европейских телекоммуникационных стандартов в испаноговорящих странах латинской Америки?

3. Какие стандарты на локальные вычислительные сети используются в России?

4. В чем отличие аналогового и дискретного сообщений?

5. Почему применение усилителей приводит к образованию четырехпроводных каналов?

6. Опишите функции каждой из систем сети связи.

7. Чем ограничена скорость взаимодействия абонента с Интернетом через телефонную сеть?

8. Почему нельзя класть трубку при определении телефонного номера абонента, осуществляющего злонамеренный вызов, если соединение проходит через механические системы коммутации?

9. Телеграмма, состоящая с учетом пробелов из 650 знаков, передается на русском языке (без переходов на цифровой и латинский регистры) пятиэлементным телеграфным кодом по телеграфной сети от одного до другого ОУК через два ТУК со скоростью 50 бит/с за 30 мин. Определите среднее время ожидания в каждом ТУК. За какое время эта телеграмма будет передана в режиме КК?

10. Ранее в сетях подвижной сотовой связи применялись тарифы, при которых не оплачивались первые 5 с после ответа вызываемого абонента, чем пользовались некоторые абоненты, устанавливая вместо одного несколько четырехсекундных соединений. Определите время занятия сети десятью такими соединениями, если среднее время посылки вызова составляет 10 с.

11. Рассмотрим ситуацию, показанную на рис. 1.5. Здесь T_1, \dots, T_6 — терминалы, между которыми должны быть переданы сообщения. Длины пакетов в сообщениях:

$$C_{1-3} : l_{\Pi_{1-3}^1} = l_{\Pi_{1-3}^2} = l_{\Pi_{1-3}^3} = l_{\Pi_{1-3}^4} = 2048 \text{ бит};$$

$$C_{2-4} : l_{\Pi_{2-4}^1} = l_{\Pi_{2-4}^2} = l_{\Pi_{2-4}^3} = 1024 \text{ бит};$$

$$C_{5-6} : l_{\Pi_{5-6}^1} = l_{\Pi_{5-6}^2} = 512 \text{ бит}.$$

Время обработки пакета в ТУК и ОУК составляет 1 с.

Объемы свободной памяти в ОУК и ТУК составляют (в бит):

УК ₁	УК ₂	УК ₃	УК ₄	УК ₅	УК ₆	УК ₇	УК ₈	УК ₉
10240	4096	6144	4096	4096	6144	4096	6144	8192

Передача всех пакетов начинается одновременно со скоростью 100 бит/с.

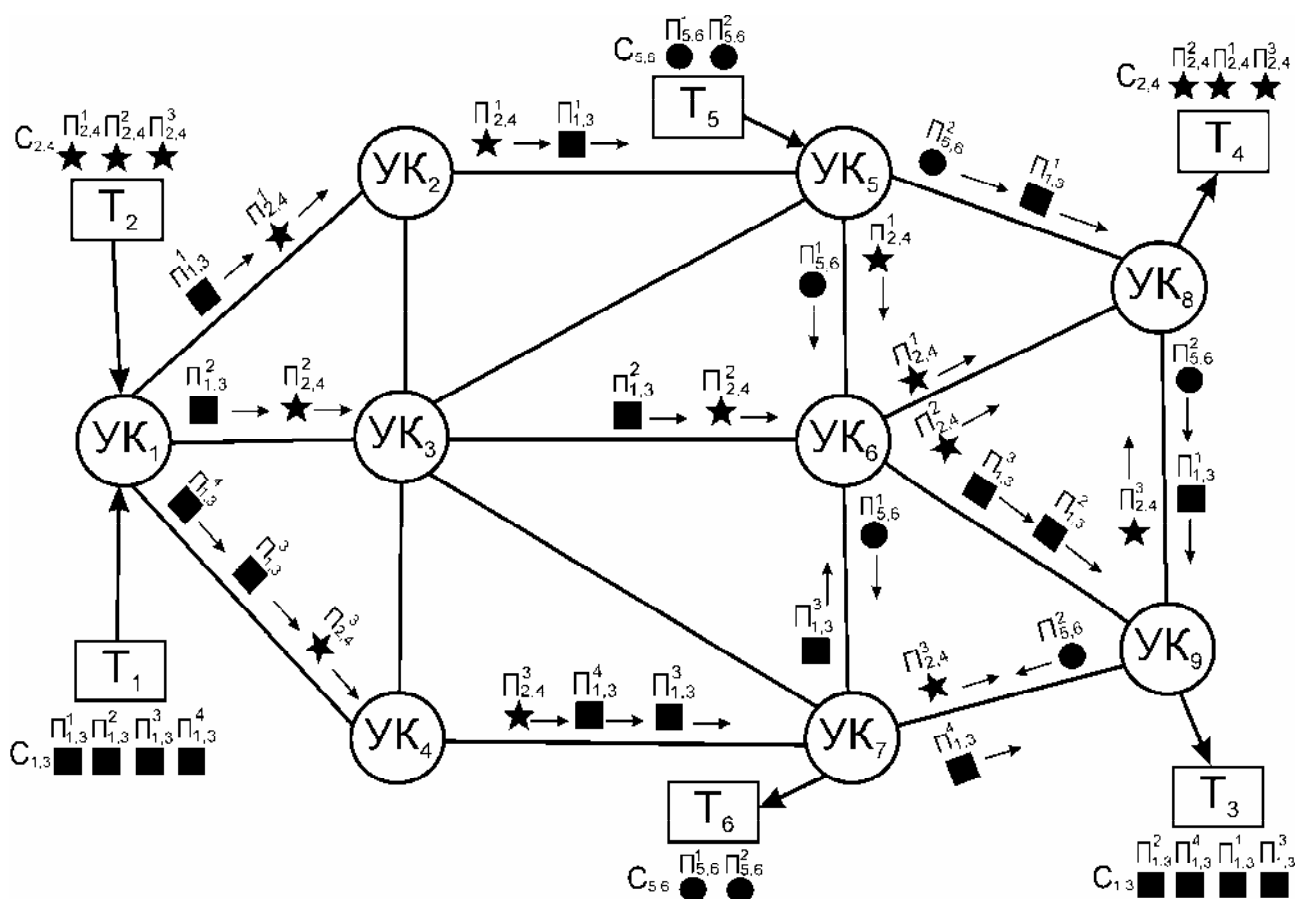


Рис. 1.5. Пример прохождения пакетов по сети

Определить:

- время передачи всех сообщений в ДР.
- время передачи всех сообщений в ДР с ВВ, если длина пакета ВВ оставляет 100 бит.
- время передачи всех сообщений в режиме ВК.

2. ОБЗОР СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Первоначально сети электросвязи строились отдельно для каждого вида связи. В России в настоящее время имеется телефонная сеть общего пользования (ТфОП), сеть телеграфной связи (СТгС), различные общедоступные сети передачи данных (СПД), сети различных операторов подвижной сотовой связи (СПСС). Долгое время сети отдельных видов связи развивались независимо друг от друга. Появившаяся в мире в середине 1980-х гг. концепция объединения всех видов сетей в цифровую сеть интегрального обслуживания (ЦИО) в настоящее время только начинает внедряться в России для сетей, построенных полностью на цифровом оборудовании. Сохраняется также иерархическое деление сетей на местные, зонавые, междугородные и международные.

2.1. Телефонная сеть общего пользования

Существующая в настоящее время во всем мире ТфОП (Public Switched Telephone Network — PSTN) является самой большой общедоступной открытой технической системой. Ее строительство длилось более ста лет, при этом использовалось весьма разнотипное оборудование [11]. В состав входят сети *коммутационные устройства* (оконечные автоматические станции (ОАТС), оконечно-транзитные телефонные станции (ОТАТС), узлы коммутации (УК), подстанции, концентраторы (К)), *линейные сооружения* (а.л., с.л., каналы междугородной и международной связи), *гражданские сооружения* (здания телефонных станций и узлов, усиленных пунктов) и *оконечное абонентское оборудование* (телефонные аппараты абонентов). 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.

2.1.1. Принципы нумерации на телефонных сетях

Система нумерации — это система знаков (цифр или букв), используемых вызывающими абонентами при автоматической телефонной связи. Система нумерации должна обеспечивать: минимальное число знаков номера, отсутствие одинаковых номеров, достаточные запасы номерной емкости с учетом развития местных сетей. Международный союз электросвязи ITU-T 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 **сxxxx**, при шестизначной нумерации — **bcxxxx**, при семизначной нумерации — **abcxxxx**.

Международный союз электросвязи ITU-T рекомендует применять три принципа построения плана нумерации [12]: географический (зонавый), глобальный и сетевой. Для всех трех планов установлена максимальная длина номера — 15 десятичных цифр. В России принят зонавый план нумерации (рис. 2.1).

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 назы-

вают — 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.

Код страны (Country Code — CC), для России CC = 7	Национальный код пункта назначения (географический ABC или негеографический DEF) (National Destination Code — NDC)	Зоновый номер абонента (Subscriber Number — SN) abXXXXXX
---	---	---

Рис. 2.1. Схема формирования номера абонента при зонавом плане нумерации

В последнее десятилетие в России появились СПСС 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 (Intelligent Network — IN) 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.

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 сотысячной 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* **abXXXXXX**. 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 сотысячной группы **ab** и пятизначный номер в этой группе. Например, код СТС 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.

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 этих зон странам присваиваются одно-, двух- и трехзначные коды.

Существуют *закрытая* и *открытая* системы нумерации [11]. При закрытой системе нумерации при местной, зональной и междугородней связи используется один и тот же номер. Если при междугородней связи используется междугородний номер, при зональной связи — зональный номер, а при местной связи — местный номер, такая система нумерации называется *открытой*. В настоящее время в связи с внедрением цифровой техники, когда мощные процессоры

УК способны анализировать большое количество цифр абонентского номера, все шире применяются закрытые системы нумерации (например, в СПСС). 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.

2.1.2. Городские телефонные сети

Городские телефонные сети (ГТС) обеспечивают связь на территории города и его пригородной зоны. В [11] выделяется четыре класса ГТС.

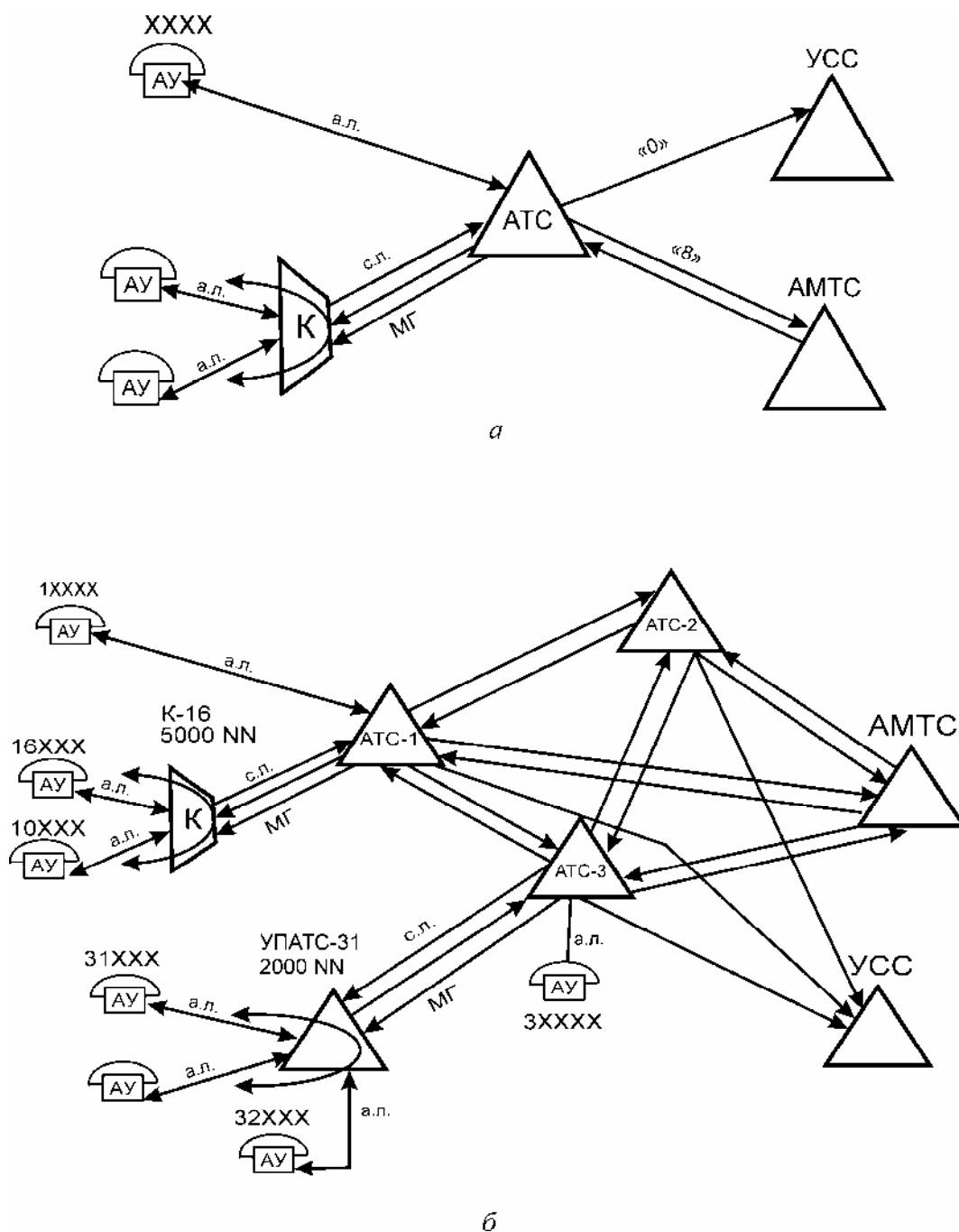


Рис. 2.2. Городские телефонные сети:

а — нерайонированная ГТС с одной телефонной станцией;
б — районированная ГТС

4-й класс — *нерайонированные ГТС* с одной телефонной станцией (рис. 2.2, а). Предельная емкость такой сети определяется целесообразностью сосредоточения коммутационного оборудования в одном здании. Нумерация на такой сети четырехзначная при емкости АТС до 8 тыс. номеров и пятизначная при большей емкости. Обычно общая номерная емкость такой сети не превышает 30 тыс. номеров. С повсеместным внедрением цифровой техники на ГТС для экономии затрат на линейные сооружения применяют концентраторы (К), в которые выносятся часть емкости АТС (1...5 тыс. номеров). Концентраторы связаны с АТС с.л., оборудованными соответствующими СП. Связь абонентов концентратора может быть с внутренним замыканием (через К), или через опорную АТС. Кроме АТС на сети имеется узел спецслужб (УСС), для связи с которым используется цифра 0 (в Европе — 1, в Америке — 9) и автоматическая междугородная телефонная станция (АМТС), для связи с которой используется цифра 8. По нормам входящее междугородное соединение (МГ) должно осуществляться с меньшей нормой потерь (0,001 вместо 0,005), поэтому входящая междугородная связь с К осуществляется по выделенной входящей линии.

3-й класс — *районированные ГТС* с несколькими телефонными станциями, каждая из которых обеспечивает телефонной связью территорию определенного телефонного района (рис. 2.2, б). Межстанционные связи на такой сети осуществляются путем прямых соединений каждой станции с каждой. Такие сети строятся в основном с пятизначной нумерацией (очень редко с шестизначной). Общая емкость такой сети обычно равна 80 тыс. номеров, но может достигать 150 тыс. номеров. Кроме концентраторов (которые, как правило, в таких сетях уже не имеют внутреннего замыкания нагрузки) в АТС могут включаться соединительные линии от АТС, обслуживающих государственные или частные организации, — учрежденческо-производственные АТС — УПАТС (Private Automatic Branch eXchange — РАВХ), в них, как правило, осуществляется внутреннее замыкание нагрузки. Загрузка межстанционных линий на районированной сети невелика, поэтому с увеличением емкости такая сеть становится нерентабельной. Для объединения потоков на ГТС служит узлообразование.

2-й класс — *сети с узлами входящих сообщений (УВС)*, общей емкостью до 600 тыс. номеров (максимально 800 тыс. номеров) (рис. 2.3). Нумерация на такой сети шестизначная. При этом сеть делится на узловы районы (УР), номер узлового района однозначный — это первая цифра абонентского номера. Так как для связи со спецслужбами используется цифра 0, а для выхода на АМТС и сети других операторов — цифра 8, максимальное число УР на ГТС второго класса равно восьми. В каждом УР может располагаться до 10 АТС, номер АТС — двухзначный (первая цифра — номер УР, вторая — номер АТС в данном районе). Соединения АТС внутри УР может осуществляться по принципу «каждая с каждой», либо через УВС. На рис. 2.3 в УР-1 АТС соединены по принципу каждая с каждой, а в УР-6 и УР-7 — через УВС. Соединения между станциями, находящимися на территории разных УР, осуществляются от исходящей АТС к соответствующему УВС (по первой цифре абонентского номера), а затем от УВС к требуемой АТС (по второй цифре абонентского номера). При этом исходящие соединения двух абонентов на сети являются несимметричными. Например, связь от абонента АТС-11 к абоненту АТС-71 осуществляется по трассе АТС-11 – УВС-7 – АТС-71, а от абонента АТС-71 к абоненту АТС-11 — по трассе АТС-71 – УВС-1 – АТС-11.

1-й класс — *сети с узлами исходящих сообщений (УИС) и УВС*. Максимальная емкость такой сети может составлять до 8 млн номеров. Нумерация на сети семизначная (рис. 2.4). При этом сеть делится на миллионные зоны. Может быть до восьми миллионных зон (так как 0 используется для соединения со спецслужбами, а 8 — для выхода на междугород и другие сети). Внутри каждой миллионной зоны может быть до десяти УР с УВС, нумерация УВС двухзначная. В каждом УР располагается до десяти АТС с трехзначной нумерацией. Связь АТС внутри УР может осуществляться по принципу «каждая с каждой» или через УВС. Для связи с абонентами других УР (своей и чужих миллионных зон) в каждом УР имеются УИС,

соединенные со всеми УВС миллионной зоны. При внедрении на сети цифрового оборудования происходит объединение функций УВС и УИС всех миллионных зон в узлы исходяще-входящих сообщений — УИВС. Показанный на рис. 2.4 УР-71 является цифровым, в нем расположен УИВС-71. Соединение между АТС разных УР осуществляется через УИС требуемой миллионной зоны по первой цифре, далее по второй цифре на соответствующий УВС, а затем к требуемой АТС. Например, абонент АТС-311 соединяется с абонентом АТС-716 по трассе УИС-7 (УР-31) – УИВС-71 – АТС-716, а абонент АТС-716 соединяется с абонентом АТС-311 по трассе УИВС-71 (УР-31) – УВС-31 – АТС-311.

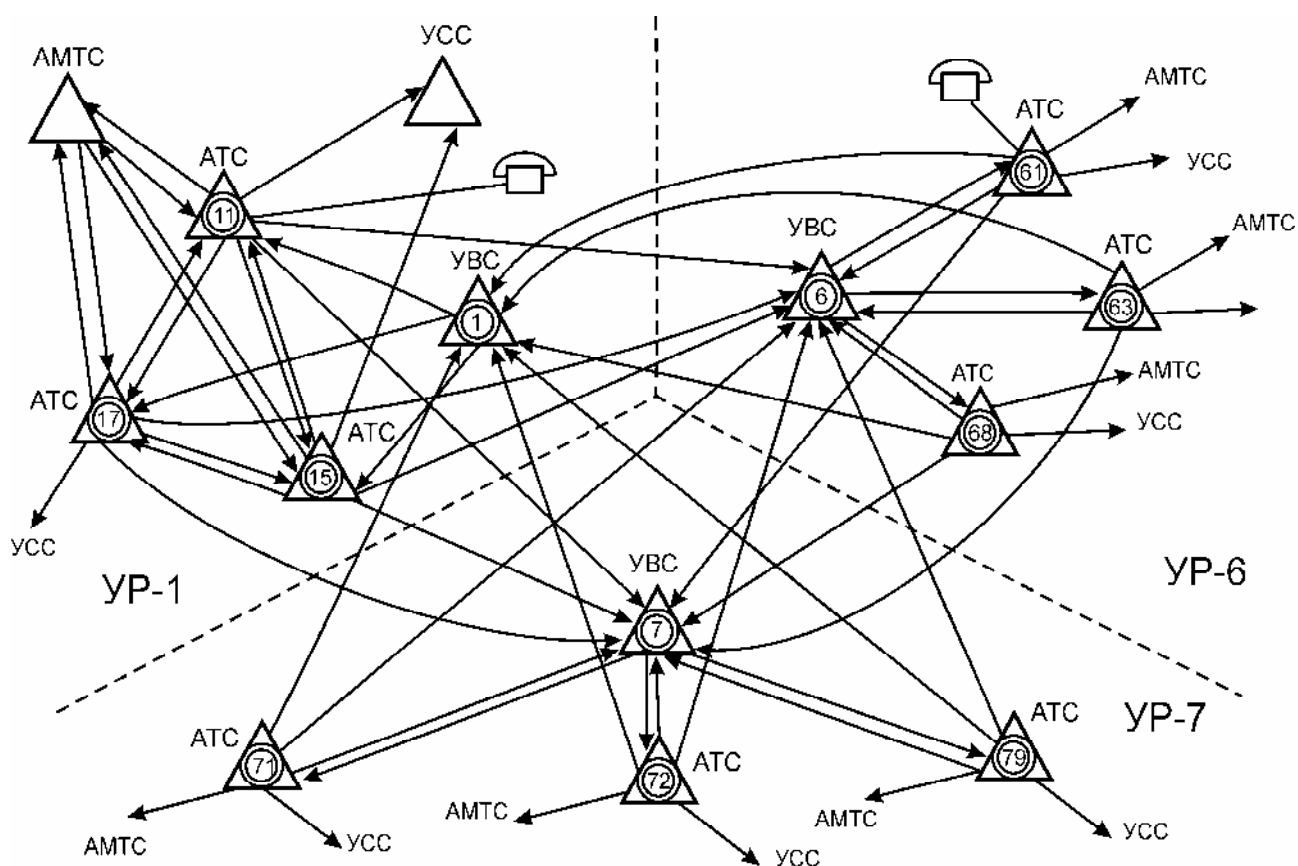


Рис. 2.3. ГТС с узлами входящих сообщений

Отдельной проблемой является построение 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, синхронной цифровой иерархии (Synchronous Digital Hierarchy — 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 электронных узлов (ТУ), которые соединены большими оптическими кольцами (рис. 2.5). 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 Интерне-

та, интеллектуальные сети) осуществляется также через ТУ. Это позволяет объединять потоки и увеличивать надежность сети.

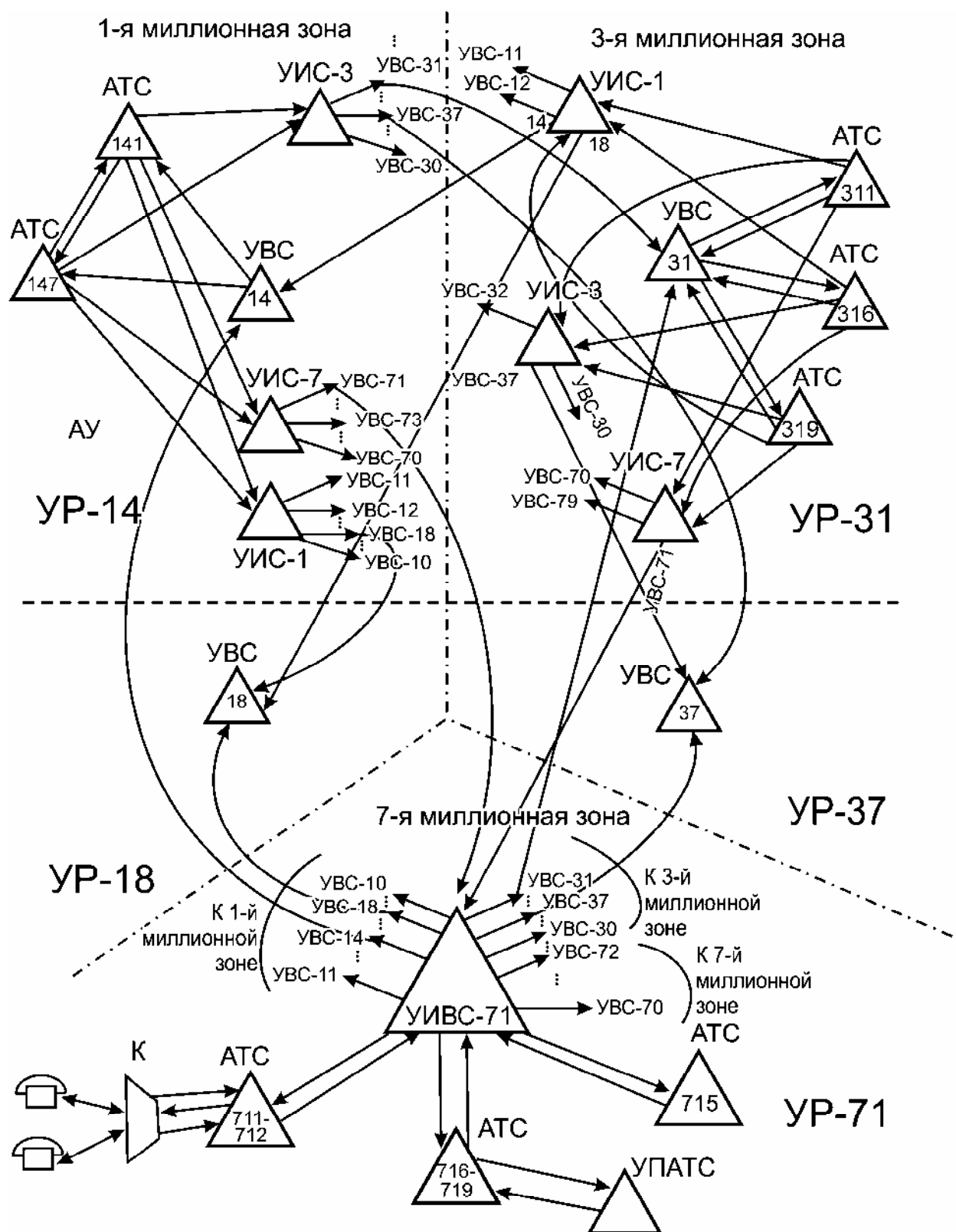


Рис. 2.4. ГТС и УИС с УВС и тремя миллионными зонами

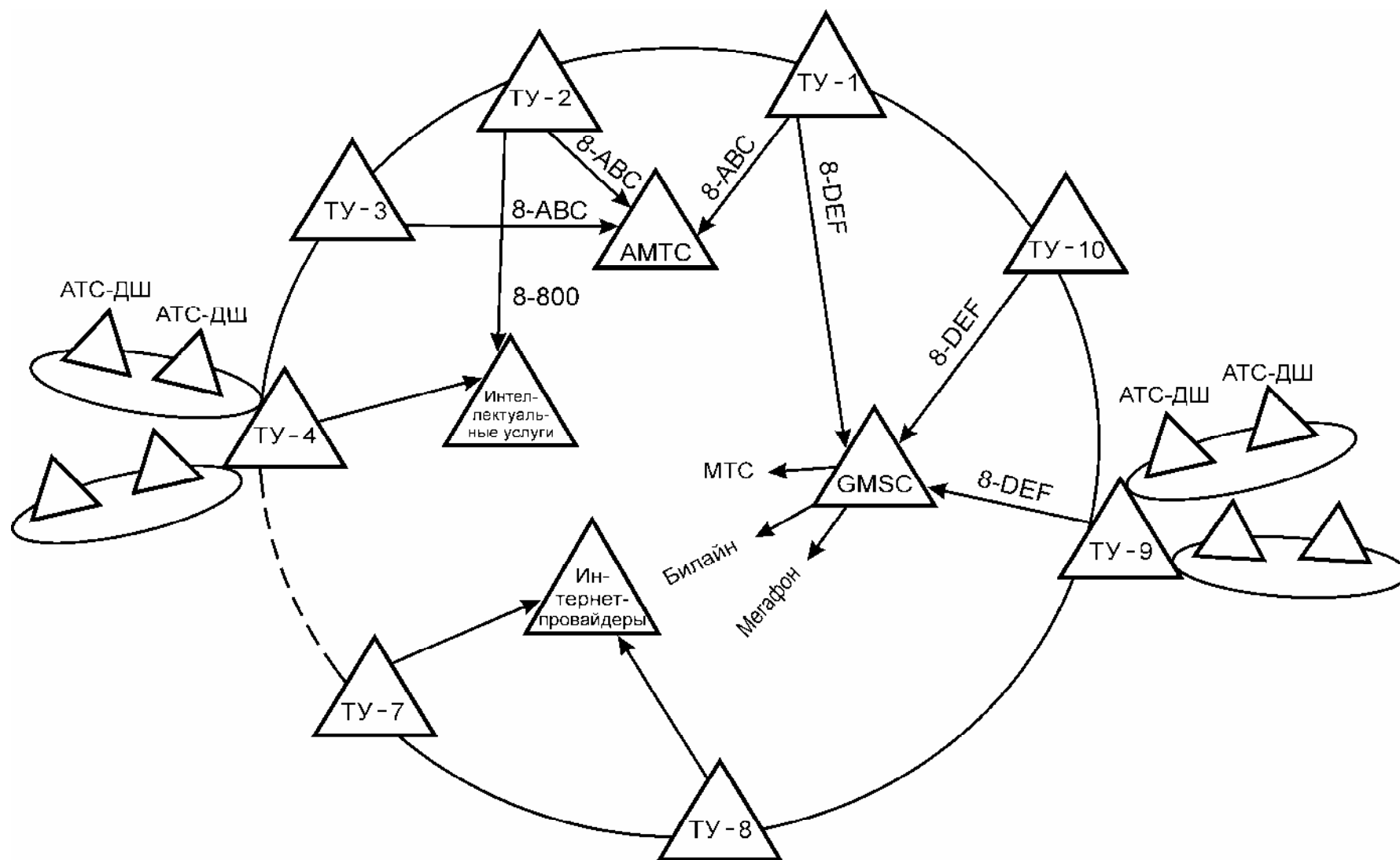


Рис. 2.5. Транспортная сеть МГТС

2.1.3. Сельские телефонные сети

Сельские телефонные сети (СТС) обеспечивают телефонной связью абонентов, расположенных на территории сельских административных районов. Обычно эти сети строятся по радиальному, или по радиально-узловому принципу с использованием центральной (ЦС), узловых (УС) и конечных (ОС) станций (рис. 2.6).

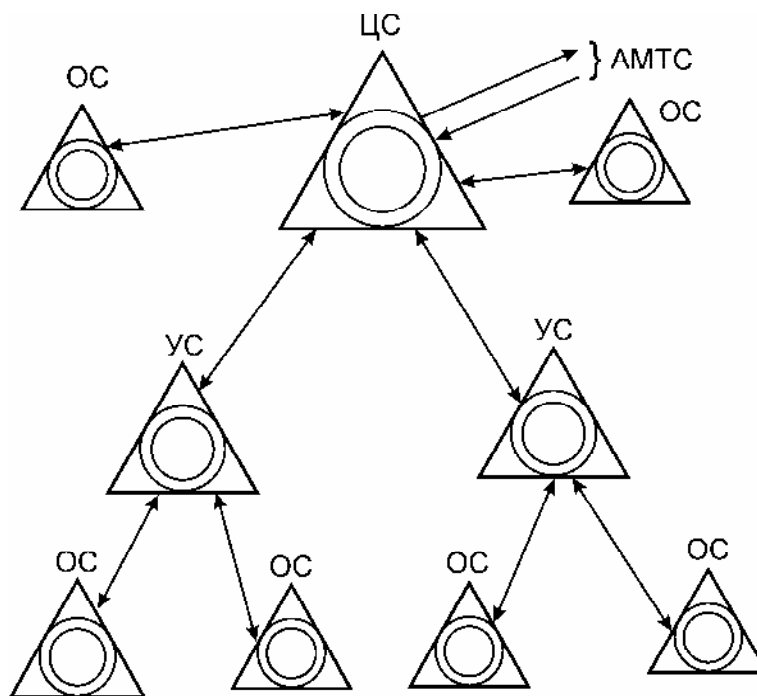


Рис. 2.6. Структура СТС

Центральная станция, как правило, располагается в райцентре (городе областного подчинения) и является основным коммутационным узлом СТС.

Узловая станция располагается в любых населенных пунктах сельских районов, в них включаются с.л. от ОС.

Оконечная станция также располагается в любом населенном пункте сельского района, в зависимости от способа построения сети она может включаться в УС или непосредственно в ЦС.

Все междугородные соединения абонентов СТС осуществляются через ЦС района.

В последнее время в связи с внедрением на СТС мощных цифровых АТС строят опорно-транзитные АТС (ОТАТС), которые одновременно выполняют функции конечных и транзитных станций.

2.1.4. Междугородная и международные телефонные сети

Междугородная телефонная сеть предназначена для установления соединений между АМТС различных телефонных зон и включает в себя АМТС зональных сетей, а также узлы автоматической коммутации первого (УАК I) и второго (УАК II) классов, пучки телефонных каналов, связывающих станции и узлы между собой (рис. 2.7).

Как уже говорилось выше, на территории России расположены 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».

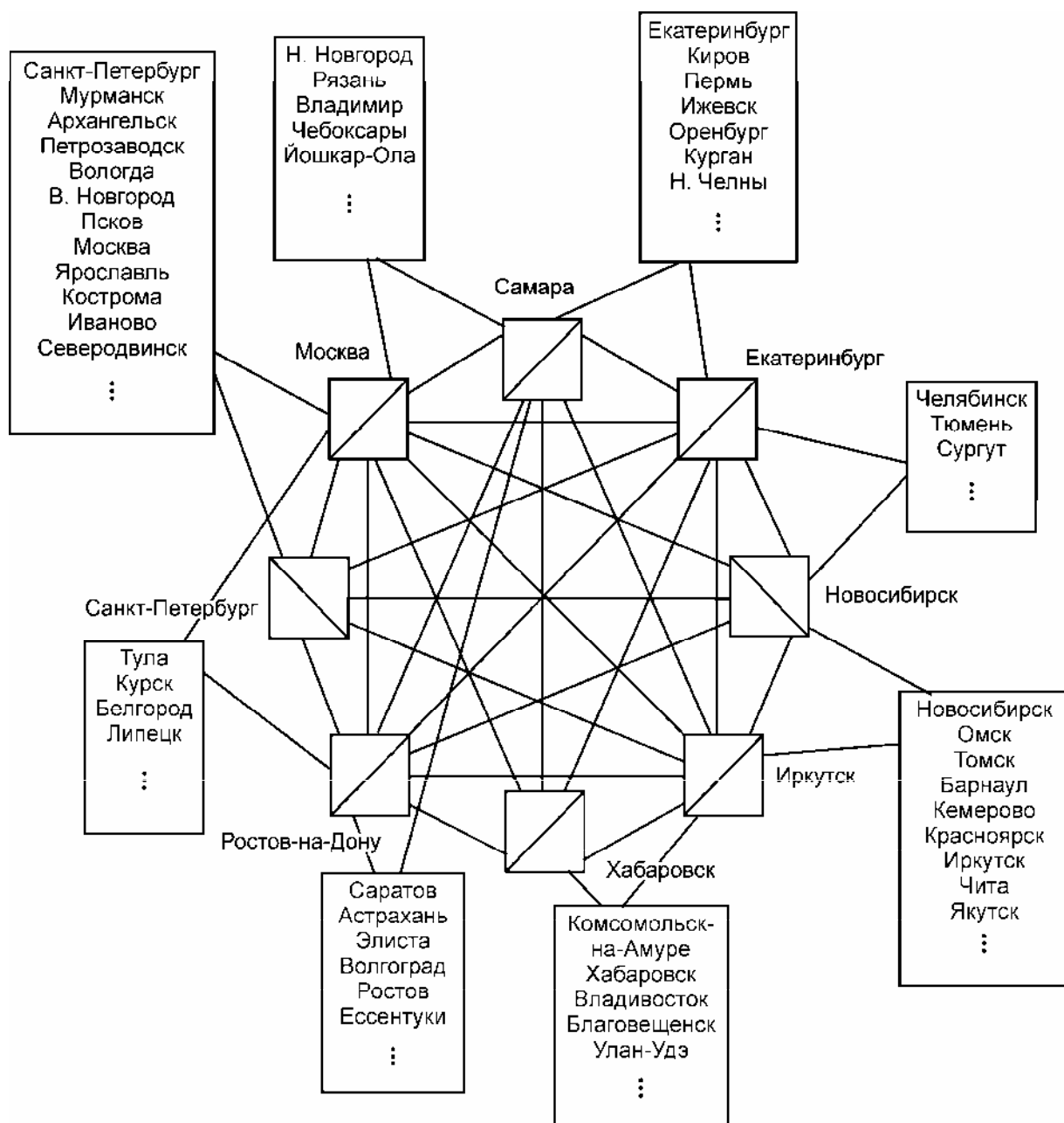


Рис. 2.7. Схема расположения УАК на ТфОП России

Вся территория России разделена на восемь транзитных территорий, каждая из которых имеет УАК I, расположенные в Москве, Санкт-Петербурге, Самаре, Ростове-на-Дону, Екатеринбурге, Новосибирске, Иркутске и Хабаровске. Все УАК I соединены между собой по принципу «каждый с каждым». Каждая АМТС, расположенная на транзитной территории, соединяется со своим УАК I и еще одним УАК I междугородной сети либо напрямую, либо

через УАК II. Узлы автоматической коммутации второго класса создаются при наличии технико-экономической целесообразности для замыкания нагрузки между группой АМТС одной транзитной территории и выхода к УАК I. Число УАК в соединительном тракте между двумя любыми АМТС не должно превышать четырех.

Самый длинный путь по числу коммутируемых участков АМТС (УАК II – УАК I – УАК I – УАК II – АМТС) называется *путем последнего выбора*. Телефонная сеть общего пользования России является частью всемирной 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 окончательными 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.

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.

2.2. Сети передачи данных

Сети передачи данных (СПД) явились результатом эволюции компьютерных технологий. Первые компьютеры предназначались лишь для небольшого числа избранных пользователей, они работали в режиме пакетной обработки перфокарт [8]. Пользователи передавали перфокарты в вычислительный центр, где операторы вводили их в компьютер, а результаты получали иногда на следующий день. По мере удешевления процессоров в 1960-е гг. начали развиваться интерактивные многотерминальные системы, работающие в режиме разделения времени. Терминалы (или абонентские устройства вычислительных сетей) начинали рассредоточиваться по всему предприятию, хотя вычислительная мощность оставалась полностью централизованной.

К этому времени назрела потребность в соединении компьютеров, находящихся на большом расстоянии друг от друга, и доступа к компьютерам с удаленных на большие расстояния терминалов. Терминалы первоначально соединялись с компьютерами через телефонные сети с помощью модемов. Для уменьшения затрат на аренду каналов начали применять различные устройства [13]: статистические мультиплексоры, групповые контроллеры, дающие возможность нескольким пользователям занимать одну линию. Для соединения компьютеров хронологически первыми появились *глобальные вычислительные сети* (Wide Area Network — WAN). Именно при построении глобальных сетей были впервые предложены и отработаны многие основные идеи и концепции вычислительных сетей.

В вычислительных сетях основными элементами являются стандартные компьютеры, каждый из которых работает под управлением собственной операционной системы. При этом каждый компьютер может пользоваться ресурсами других компьютеров, подключенных к сети. Для этого в компьютерах устанавливаются сетевые адаптеры, соединенные кабельной системой, и вводятся некоторые добавления к операционным системам компьютеров. Компьютер, ресурсы которого должны быть доступны всем пользователям, имеет модуль, постоянно находящийся в режиме ожидания запросов — сервер (от англ. *to serve* — обслуживать). Его главная задача — обслуживать запросы на доступ к ресурсам. На компьютеры, с которых необходимо получить доступ к этим общим ресурсам, к операционной системе добавляют модули для выработки запросов — клиенты. Возникает сетевая операцион-

ная система, поддерживающая несколько видов служб для пользователей: файловую службу, службу печати, электронной почты, удаленного доступа и т. п.

Основной проблемой в СПД является проблема совместимости. Первоначально различные организации (банки, транспортные перевозчики) создавали свои частные сети передачи данных, охватывающие большие территории, со специфическими операционными системами, т. е. с ведомственными стандартами. В результате сети этих организаций могли передавать данные только между компьютерами, поставленными определенными производителями.

Но по мере того как возникала потребность связи между компьютерами, принадлежащим различным организациям (например, авиаперевозчика и банка), ведомства связи разных стран приходили к мысли о создании сетей передачи данных общего пользования — СПДОП (Public Digital Network — PDN). После долгих обсуждений сначала на национальных уровнях, а затем и на международном был разработан ряд стандартов, определяющих правила взаимодействия (*интерфейс*) между терминальным оборудованием и ядром сети в различных СПД. Были разработаны стандарты ITU-T серии V, определяющие подключение АУ к существующим ТфОП, а также серии X, определяющие подключение АУ к СПД.

Часть этих стандартов, разрабатываемая ISO, была основана на многоуровневом подходе, используемом при описании сложных систем. При этом подходе все множество модулей разбивается на уровни, образующие некоторую иерархию. Модули каждого уровня обращаются с запросами только к модулям соседнего нижележащего уровня, а передают результаты работы только модулям соседнего вышележащего уровня. Такая иерархия дает возможность четко определить функции каждого уровня и интерфейсы между уровнями, что, в свою очередь, позволяет добиться относительной независимости уровней и возможности их легкой замены.

Взаимодействие удаленных объектов СПДОП также можно представить в виде иерархии взаимодействия модулей. Модули нижнего уровня, например, могут осуществлять безошибочную передачу сигналов между соседними узлами, модули высших уровней — предоставлять пользователю доступ к различным службам. В этом взаимодействии участвуют как минимум две вычислительные машины, две иерархии модулей. Процедура взаимодействия этих иерархий должна быть описана набором правил взаимодействия для каждого уровня. Формализованные правила, определяющие последовательность и форматы сообщений, которыми обмениваются сетевые компоненты разных узлов, лежащие на одном уровне, называют *протоколами* [8]. Соседние уровни, находящиеся в одном узле, взаимодействуют с помощью четко определенных правил, обмениваясь стандартными сообщениями. Это взаимодействие соседних уровней определяется *интерфейсом*.

2.2.1. Семиуровневая модель взаимодействия открытых систем

Семиуровневая модель взаимодействия открытых систем (ВОС) (Open System Interconnection — OSI), разработанная ISO, появилась в начале 1980-х гг. Она не сразу стала общепризнанным мировым стандартом, долгое время существовала американская восьмиуровневая модель SNA, разработанная IBM [7], до сих пор существует разработанный Министерством обороны США стек протоколов TCP/IP, стек протоколов фирмы Novell — IPX/SPX, в продуктах компаний IBM и Microsoft широко используется стек NetBIOS/SMB.

В соответствии с рекомендацией ITU-T X.200, эталонная модель ВОС имеет следующие семь уровней (рис. 2.8).

7-й уровень — *прикладной*, обеспечивающий управление взаимодействием прикладных процессов, которые возникают при взаимодействии компьютеров. Процессы эти могут быть различными: обращение к поисковой системе, передача данных с одного компьютера на другой, обращение к счету через банкомат. На этом уровне процессы формализуются пользователем в определенные команды. Соответственно, протокол взаимодействия седьмого уровня получил название прикладного.

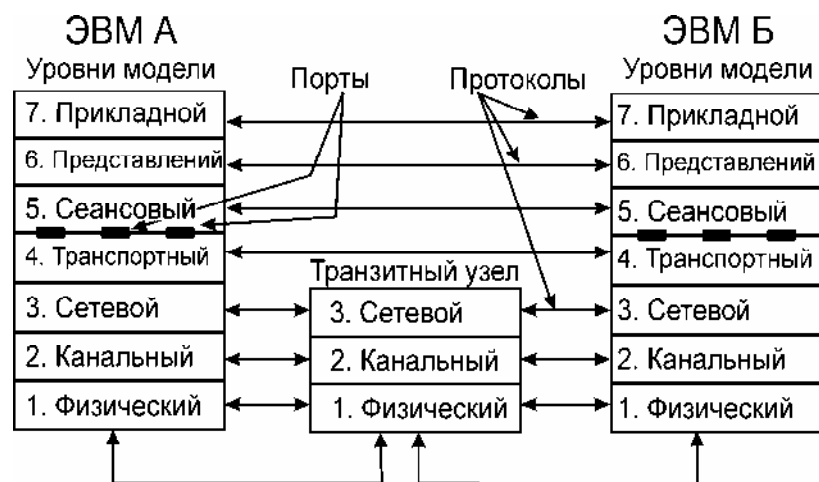


Рис. 2.8. Эталонная (семиуровневая) модель ВОС

6-й уровень — *представительный*, или *уровень представлений*, производящий перекодировку сообщения, которое поступило с 7-го уровня. Модель OSI называется *открытой* (Open), так как не накладывает ограничений на типы применяемых ЭВМ, которые, как правило, используют различные коды для представления информации, поэтому на 6-м уровне осуществляется пересчет данных в единое кодовое представление, принятое в сети связи. Протокол 6-го уровня называется протоколом представлений (представительным). С помощью средств данного протокола можно преодолеть синтаксические различия протоколов прикладных уровней. На этом же уровне также могут выполняться шифрование и дешифрование данных, обеспечивающие секретность обмена данными для всех прикладных служб.

5-й уровень — *сеансовый*, предназначенный для открытия сеанса связи между удаленными процессами пользователя. Он управляет диалогом, фиксирует, какая из сторон является активной в настоящий момент, предоставляет средства синхронизации. Протокол 5-го уровня — сеансовый протокол — на практике используется немногими приложениями, он редко реализуется в виде отдельного протокола, его функции часто объединяются с функциями прикладного уровня.

Передача сообщений от сеансового уровня к транспортному осуществляется через некоторые точки доступа, называемые *портами*. Открытие сеанса связи предполагает занятие (открытие) некоторого порта исходящей связи. Номер этого порта приписывается сообщению. При входящей связи занят порт входящей связи. Каждая пара взаимодействующих прикладных процессов в сети отмечается номерами исходящего и входящего портов, а при методе КП с виртуальным каналом (ВК) — трассой от исходящего порта к входящему.

4-й уровень — *транспортный*, обеспечивающий разделение сообщения на пакеты, которые имеют ограниченный размер. Транспортный уровень может предоставлять средства коррекции ошибок при передаче. Для этого определены пять классов обслуживания, отличающиеся качеством предоставляемых услуг. Выбор класса обслуживания зависит, с одной стороны, от того, как эти вопросы решаются на прикладном уровне, с другой стороны, от характеристик сети передачи. Если качество каналов очень высоко и вероятность возникновения ошибок, не обнаруженных протоколами более низких уровней, мала, то пользуются простыми протоколами, освобожденными от проверок, посылки квитанций и других приемов повышения надежности.

3-й уровень — *сетевой*, позволяющий выбирать маршруты сообщений в сети с использованием специальных пакетов виртуального вызова, т. е. устанавливать виртуальные каналы (в литературе это иногда называют «режимом с установлением соединения», или «режимом,

ориентированным на соединение»). При датаграммном режиме выбор маршрута осуществляется каждым пакетом самостоятельно (для этого ему приписывается адрес) по маршрутным таблицам в УК. Одной из главных задач сетевого уровня является выбор наилучшего (наикратчайшего, наинадежнейшего, с наименьшим времени передачи и т. п.) маршрута. Для этого в протоколах сетевого уровня применяются различные *алгоритмы маршрутизации*. Протоколы сетевого уровня также могут решать задачи согласования различных технологий, упрощения адресации.

2-й уровень — *канальный*, или *звеньевой* (от англ. *link* — *звено*). Это. уровень, определяющий взаимодействие двух соседних узлов коммутации, на котором пакеты, поступающие с третьего уровня, формируются по одному, или по несколько в *кадры*, или *фреймы* (от англ. *frame* — *рамка*). На этом уровне реализуются механизмы обнаружения и коррекции ошибок между двумя соседними УК. Одним из средств обнаружения ошибок является передача дополнительной информации. Это может быть просто один бит четности/нечетности, включаемый в каждый кадр, либо результат деления кадра на заранее известный проверочный полином. Для коррекции ошибок можно также применять более сложные схемы, например, простой протокол «с остановками и ожиданием» либо протокол с «N возвращениями» [7]. В этом случае при возникновении ошибок могут либо передаваться отрицательные квитанции, либо применяться протоколы с тайм-аутом. Также на этом уровне для оптимизации загрузки сети можно применять протоколы управления потоком между двумя устройствами, чаще всего эти протоколы основаны на механизме «окна» [14].

Канальный уровень обеспечивает синхронизацию между передатчиком и приемником на уровне кадров. При этом необходимо распознавание первого байта кадра, границ полей кадра и признака окончания кадра. При плохом качестве линии связи вводят дополнительные средства синхронизации на уровне байт (применяется *асинхронный* или *старт-стопный* режим). Кроме того, различные АУ генерируют данные в случайные моменты времени. Для них также требуется использовать асинхронный режим, который учитывает, что каждый байт может быть смещен по времени относительно побитовых тактов предыдущего байта. В асинхронном режиме каждый байт сопровождается сигналами «старт» и «стоп». Таким образом в начале каждого байта происходит дополнительная синхронизация приемника.

1-й уровень — *физический*, на нем осуществляется побитовая передача кадров по линиям связи. Это может быть как коаксиальный кабель, так и витая пара, оптоволоконный кабель, радиорелейная линия. На этом уровне определяются физические характеристики среды передачи (амплитуда и полярность сигналов) и осуществляется переход от бинарных кодов к тринарным [15]. На этом же уровне определяют затухание, ширину полосы пропускания, искажения сигнала из-за задержки, отношение сигнал/шум, задержку распространения сигналов. Единицей информации при обмене данными на физическом уровне является бит, поэтому между приемником и передатчиком всегда поддерживается побитовая синхронизация.

Протоколы с 4-го по 7-й уровень называют *протоколами верхних уровней*, а протоколы 1–3-го уровней — соответственно, *протоколами нижних уровней*.

2.2.2. Классификация сетей передачи данных

Чаще всего СПД делят по территориальному признаку (по величине территории, которую покрывает сеть) на *локальные* — ЛВС (Local Area Network — LAN), *региональные* (городские, или сети мегаполисов) МВС (Metropolitan Area Network — MAN), *глобальные* — ГВС (Wide Area Network — WAN).

ЛВС — это сети, которые сосредоточены на территории в радиусе не более 2 км и принадлежат одной организации. На них из-за небольших расстояний применяются простые методы передачи, при этом достигаются высокие скорости обмена данными порядка 100 Мбит/с. Эти сети предоставляют большой объем услуг, обычно в режиме онлайн.

ГВС объединяют компьютеры в городах и странах. Так как прокладка линий на большие расстояния является очень дорогостоящей, в этих сетях часто используют линии связи ТфОП. Для устойчивой передачи данных по этим линиям применяют методы и оборудование, существенно отличающиеся от используемых для ЛВС.

Отличия технологии локальных и глобальных сетей значительны. Но в последнее время намечается тенденции их сближения на платформе оптических цифровых СП — SDH (они будут описаны ниже), которые значительно повысили скорости в глобальных сетях. Улучшение качества каналов связи в глобальных сетях привело к отказу от сложных процедур контроля ошибок. Примером таких технологий является быстрая передача кадров Frame Relay, асинхронный режим доставки АТМ, высокоскоростные IP-технологии. Локальные сети перестают быть изолированными, большое внимание начинает уделяться методам защиты информации. Появляются новые технологии, предназначенные для обоих видов сетей.

МВС — это сети, которые занимают некоторое промежуточное положение между ЛВС и ГВС. Они предназначены для связи локальных сетей в пределах города. Первоначально эти сети были разработаны для передачи данных, но сейчас они поддерживают такие услуги, как видеоконференцсвязь и IP-телефонию. Эти сети являются общественными и их услуги обходятся дешевле, чем построение частных сетей.

Основной задачей СПД является обеспечение доступа пользователя к разделяемым ресурсам всех компьютеров, объединенных в сеть. Эта задача и порождает технические требования по производительности, надежности, совместимости, защищенности, расширяемости, масштабируемости, прозрачности, поддержке различных видов трафика.

2.3. Цифровые сети интегрального обслуживания

Отдельное существование сетей с технологией КК и сетей с технологией КП создавало для абонентов большие неудобства. На рабочем месте сотрудника (или дома у абонента) имелось несколько АУ, каждое из которых было подключено к своей сети, соответственно, в каждой сети имелись абонентские номера, и т. п. В начале 1980-х гг., когда на большинстве ТфОП были внедрены цифровые системы передачи и программно-управляемые АТС, информация СПД и информация ТфОП начала передаваться в единой цифровой форме.

Сначала это привело к созданию гибридных сетей. Исследование временных характеристик речи показало, что в разговоре 60...65 % занимают паузы, когда один из говорящих неактивен. Используя эти паузы, можно повысить нагрузку на сеть. Так, для уплотнения трансатлантического кабеля между Европой и Америкой, а также спутниковых линий связи была разработана аппаратура временного уплотнения речи с интерполяцией TASI (Time Assignment Speech Interpolation), в которой происходило уплотнение 96-канальной линии в 2,45 раза. К 96 каналам кабеля подключали быстродействующий коммутатор 235 каналов. Если число говорящих абонентов было менее 96, связь происходила как обычно. Когда число соединений превышало 96, включалось устройство управления, которое с помощью детектора речи (ДТР) отключало от кабеля каналы, в которых абоненты в данный момент молчали. Когда абонент начинал говорить, ДТР тут же обнаруживал это и давал команду на включение свободного в данный момент канала. При этом имела некоторая вероятность потерь при перегрузке, но возникающий небольшой перерыв в разговоре абоненты обычно не замечали.

В гибридных сетях речевая информация и данные передавались в единой цифровой форме по интегральным линиям связи, а на гибридных УК она разделялась и отдельно коммутировалась в коммутаторах КК и в коммутаторах КП (рис. 2.9). В это время и возникла идея цифровых сетей интегрального обслуживания ЦСИО (Integrated Services Digital Network — ISDN). Первоначально была выработана концепция узкополосных ЦСИО (NonBroadband Integrated Services Digital Network — NB-ISDN), затем широкополосных ЦСИО (Broadband ISDN — B-ISDN).

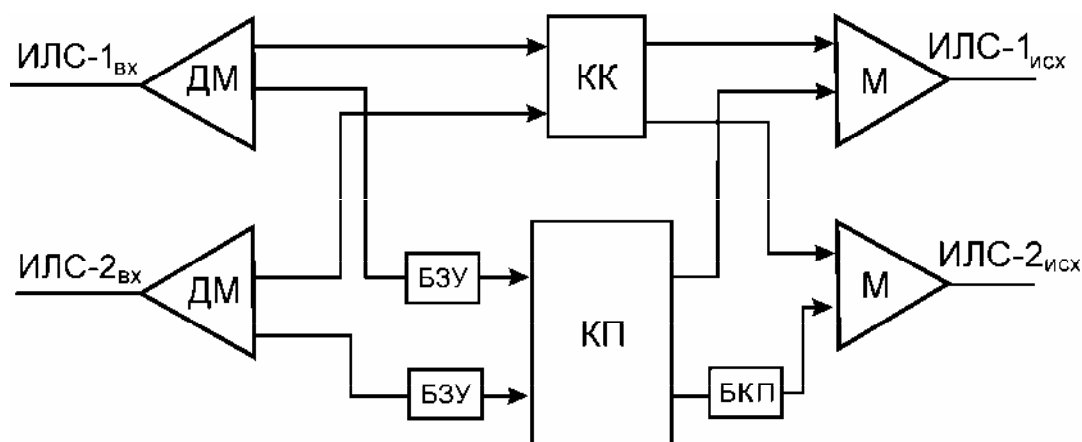


Рис. 2.9. Структурная схема гибридного узла коммутации:
ДМ — демодулятор; М — модулятор; БКП — блок коммутации пакетов

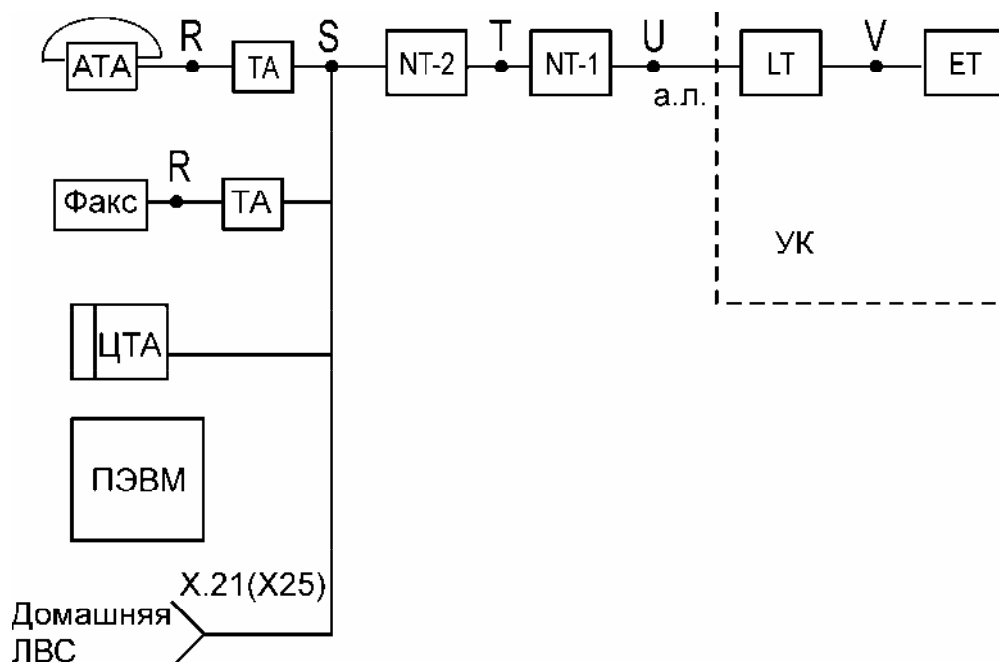


Рис. 2.10. Подключение абонентов ЦСИО к узлу коммутации:
АТА — аналоговый телефонный аппарат; ЦТА — цифровой телефонный аппарат; ЛВС — локальная вычислительная сеть; ТА — терминальный адаптер

В ЦСИО на основе единых принципов построения и функционирования с использованием ограниченного числа многофункциональных интерфейсов интегрируются различные виды передаваемой информации: речь, данные, видеосигналы и т.п. При этом у абонента устанавливалось несколько (до восьми) АУ (рис. 2.10): аналоговый и цифровой телефонные аппараты, персональная ЭВМ, факс, домашняя ЛВС. Эти АУ создавали информацию различных видов: аналоговую и цифровую речь, речевые сообщения голосовой почты, данные телеметрии различных домашних систем наблюдения, факсимильные сообщения, короткие сообщения (SMS), электронную почту. Вся эта информация предполагала различные способы передачи с различными скоростями.

В зависимости от типа подключаемого АУ были разработаны интерфейсы различных точек доступа. Имеющееся у абонента старое аналоговое оборудование (типа аналогового телефонного аппарата и факса) подключается через точку R (см. рис. 2.10), которая обеспечивает согласование аналогового терминала с терминальным адаптером (ТА). В ТА осуществляется оцифровка сигналов. Цифровые терминалы и ТА подключаются через точку доступа S, которая обеспечивает взаимосвязь терминалов с оконечным оборудованием сети NT-2, в котором реализуются функции второго и третьего уровней OSI. Началом сети считают блок NT-2.

Точка доступа T обеспечивает взаимосвязь NT-2 с оборудованием сети NT-1, в котором реализуются функции первого уровня OSI. Оконечное оборудование сети пользователя подключается к оконечному оборудованию станции LT через точку доступа U, описания которой нет в стандартах, так как в разных странах для передачи информации часто используются различные схемы кодирования: 4B/3T, 6B/4T и др. [15]. Внутри станции между оборудованием станционного линейного окончания LT и станционным окончанием ET определена точка доступа V, которая позволяет совместно использовать различное оборудование производителей абонентских устройств (включая беспроводный доступ, волоконно-оптические абонентские линии связи и кабели с медными жилами) и производителей коммутационной техники.

Внедрение сетей ISDN началось достаточно давно — с конца 1980-х гг., однако высокая техническая сложность абонентского интерфейса, отсутствие единых стандартов, а также необходимость крупных капиталовложений в уже существующие цифровые АТС привели к тому, что процесс внедрения этих сетей затянулся на многие годы. В основном эти сети развивались в Германии и Франции, но элементы ЦСИО можно встретить, например, в цифровых сетях подвижной сотовой связи.

2.4. Сети подвижной сотовой связи

Сети наземной подвижной сотовой связи (СПСС) (Public Land Mobile Network — PLMN) явились одним из наиболее грандиозных технических достижений XX века. Этому предшествовал 50-летний опыт развития радиотелефонной подвижной сотовой связи, когда для каждого абонента выделялся свой радиочастотный канал. Рост потребностей в подвижной связи сдерживался ограниченным числом каналов в жестко определенных полосах частот. Системы сотовой связи резко увеличили емкость за счет повторного использования частот.

Некоторое подобие СПСС использовалось в 1949 г. в Дейтройе (США) диспетчерской службой такси. Здесь проводилось повторное использование радиочастот в различных районах города при ручном переключении каналов пользователями в заранее оговоренных местах. Но идея архитектуры современных СПСС впервые была изложена в техническом докладе фирмы А. Белла [5], представленном в Федеральную комиссию связи США в декабре 1971 г. В 1974 г. Федеральная комиссия связи США приняла решение о выделении для сотовой связи полосы частот шириной 40 МГц в диапазоне 800 МГц. В 1978 г. в Чикаго начались первые испытания системы сотовой связи на 2 тыс. абонентов. Сначала системы сотовой связи разрабатывались для нужд различных ведомств. Первая коммерческая система была введена в эксплуатацию также в Чикаго в октябре 1983 г. Несмотря на то, что история СПСС насчитывает немногим больше 30 лет, в настоящее время развивается уже третье поколение этих сетей.

2.4.1. Принцип повторного использования частот

Как уже было сказано выше, основой сотовой связи является повторное использование частот, которое теоретически позволяет до бесконечности повышать емкость системы. Идея заключается в том, что вся территория разбивается на ячейки, сходство которых с пчелины-

ми сотами (от англ. *cell* — соты, ячейки) и послужило поводом назвать систему сотовой. В близких сотах используются различные полосы частот, а через несколько ячеек эти полосы повторяются.

Рассмотрим сначала *принцип повторного использования частот в одном измерении* [16]. Пусть требуется организовать аналоговую СПСС вдоль автотрассы с антеннами всенаправленного кругового радиуса действия (рис. 2.11). Диаметр круга действия антенны (базовой станции) зависит от частоты, при 450 МГц он составляет порядка 100 км, при 900 МГц — 37 км. Разобьем всю длину автотрассы на кратные отрезки длиной l , определяемые радиусом действия антенны. Для работы системы необходимо поддерживать определенное соканальное затухание — отношение амплитуды сигналов частот, используемых на данном отрезке, к амплитуде сигналов этих же частот, используемых на других отрезках трассы (отношения сигнал/помеха). Предположим, что необходимое затухание достигается на расстоянии через $4l$, т. е. через четыре отрезка частоты могут повторяться. Разобьем весь выделенный диапазон частот ΔF на четыре части: зону А ($f_0 - f_1$), зону В ($f_1 - f_2$), зону С ($f_2 - f_3$) и зону D ($f_3 - f_4$). Расстояние между центрами отрезков, в которых используются одинаковые полосы частот, называется диаметром сети D_c , а расстояние, равное половине кратного отрезка $l/2 = R$ — радиусом действия антенны (на плоскости это будет радиус окружности, описанной вокруг соты).

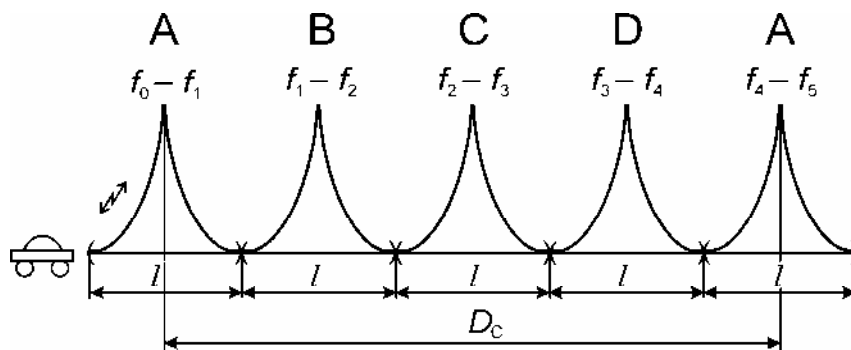


Рис. 2.11. Принцип повторного использования частот вдоль автотрассы

Принцип повторного использования частот на плоскости аналогичен. Здесь строятся кластеры. Кластер минимального размера состоит из трех зон А, В и С (рис. 2. 12), но ячейки с одинаковыми частотами повторяются в такой схеме очень часто, а это способствует увеличению соканальных помех. Наиболее выгодны кластеры с большим числом элементов. Наибольшее распространение в аналоговых системах, где и использовались антенны со всенаправленным круговым радиусом действия, получили семиэлементные кластеры (рис. 2.13).

В [16, 17] показано, что в общем случае диаметр сети D_c связан с емкостью кластера N как $D_c = \sqrt{3NR}$, где R — радиус соты (радиус окружности, описанной около правильного шестиугольника).

На практике число элементов в кластере нужно выбирать минимально возможным, но обеспечивающим заданное отношение сигнал/помеха.

В цифровых СПСС вместо всенаправленных антенн кругового действия используют антенны с шириной диаграммы направленности 120 или 60°. При этом шестиугольную ячейку разбивают на 3 или 6 секторов, в каждом из которых используется своя полоса частот (рис. 2.14).

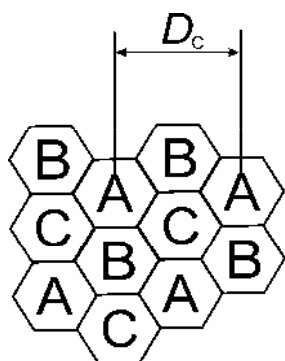


Рис. 2.12. Построение трехэлементного кластера

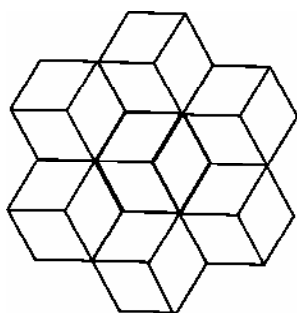


Рис. 2.14. Семиэлементный кластер с трехсекторными антеннами

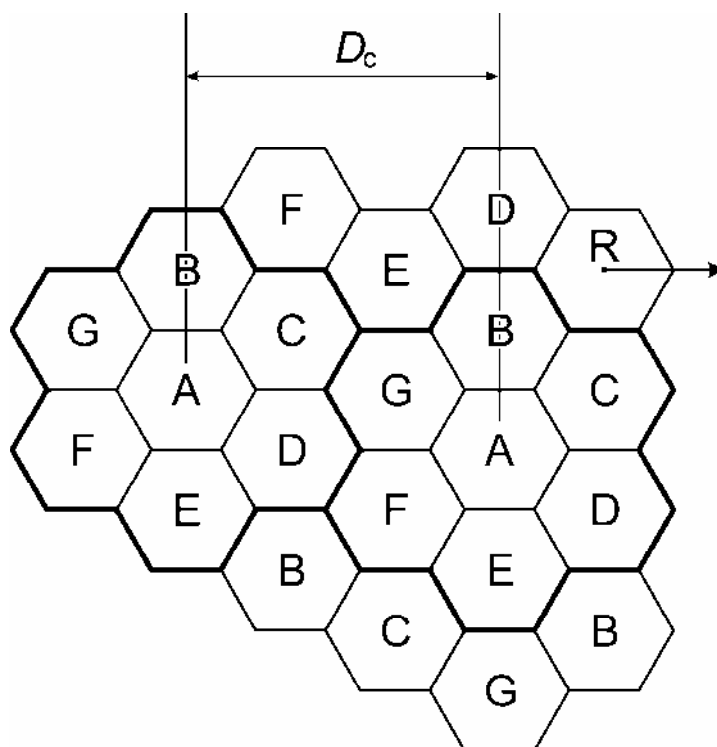


Рис. 2.13. Построение семиэлементного кластера

Одним из путей повышения емкости СПСС является дробление сот, т. е. переход в районах с повышенной нагрузкой к сотам меньшего диаметра при том же коэффициенте повторного использования частот. Число базовых станций при этом увеличивается, а мощность их излучения снижается. В районах с пониженной нагрузкой соты наоборот укрупняют (рис. 2.15).

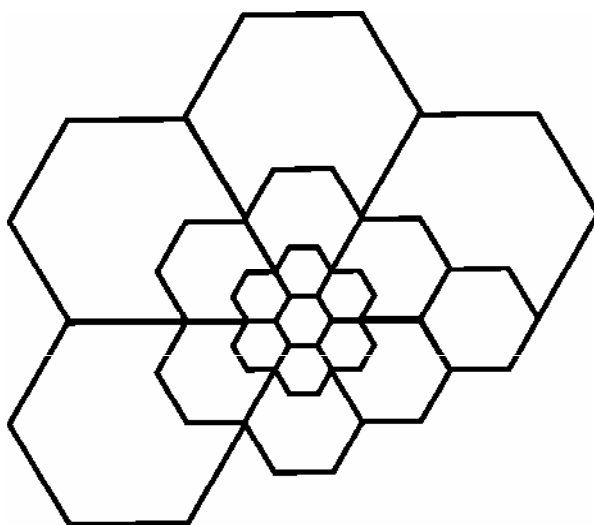


Рис. 2.15. Использование ячеек меньших размеров в центре города

При перемещении абонента из одной соты в другую происходит передача его обслуживания от одной базовой станции к другой. Этот процесс называют *хендовер* (от англ. *hand-over* — переключение). Перерыв в телефонном разговоре при этом не превышает долей секунды и остается незамеченным для абонента.

2.4.2. Эволюция стандартов СПСС

В развитии сотовой связи выделяют несколько поколений (рис. 2.16).

К первому поколению СПСС относятся *аналоговые* системы, уже уходящие в прошлое. Как правило, они разрабатывались для спецслужб, а потом уже были переданы в коммерческое использование. Наиболее известными из них являются:

AMPS — диапазон 800 МГц, до сих пор используется в США, Канаде, Центральной и Южной Америке, Австралии, в России с этого стандарта начинал Вымпелком (торговая марка Билайн);

TACS — диапазон 900 МГц, использовался в Италии, Австрии, Ирландии, Англии (ETACS), Японии (J-TACS/N-TACS);

NMT-450, NMT-900 — диапазоны 450 и 900 МГц, известные как «скандинавский стандарт», который ранее применялся в России (Московская сотовая связь);

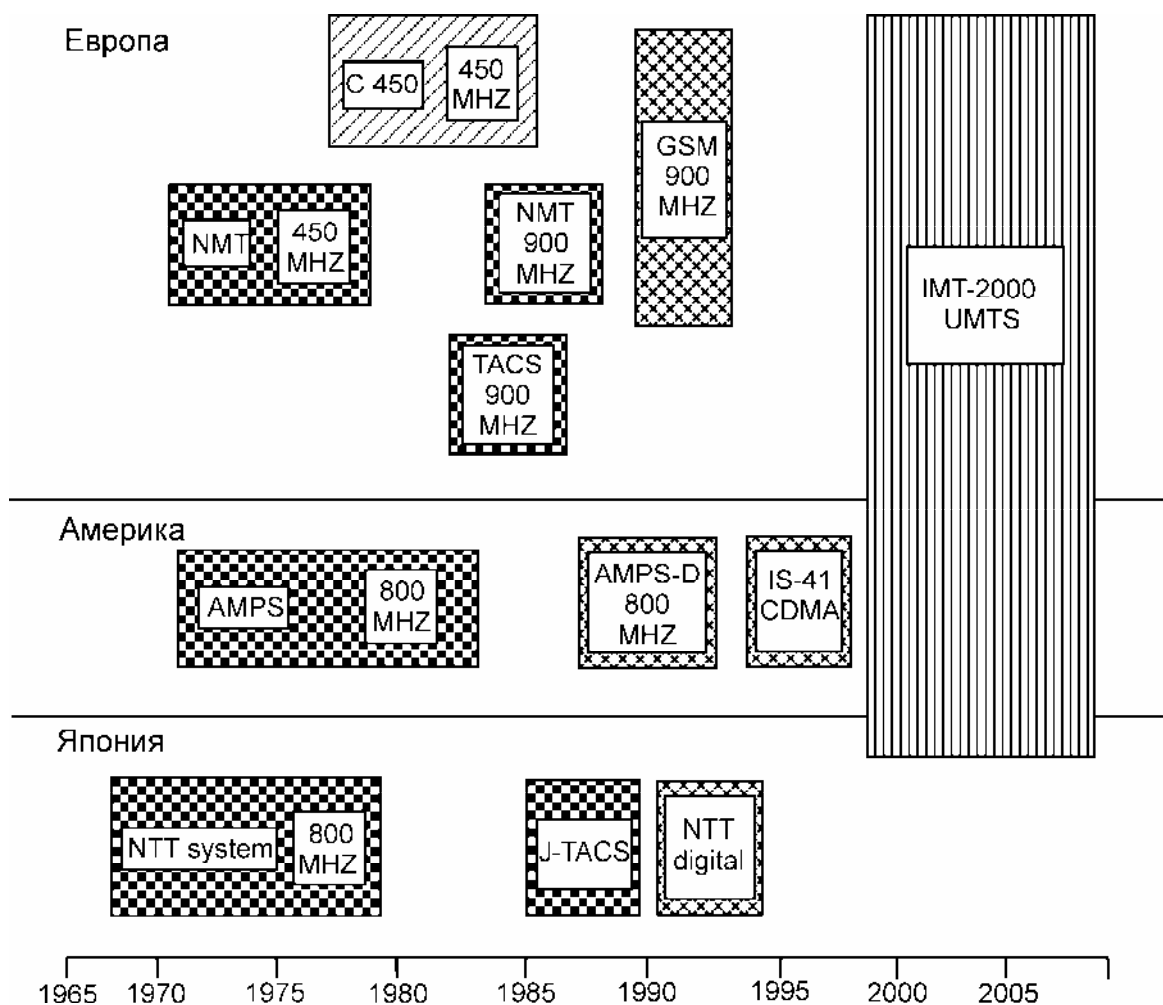


Рис. 2.16. Эволюция систем сотовой связи

C-450 — диапазон 450 МГц, использовался в Германии и Португалии;
RMTC — диапазон 450 МГц, использовался в Италии;
Radiocom-2000 — диапазоны 170, 200, 400 МГц, использовались во Франции;
NTT — диапазон 800, 900 МГц, использовался в Японии.

Так как разработки этих систем велись автономно в закрытом режиме, все системы и их телефонные аппараты полностью несовместимы между собой даже при использовании одного диапазона частот (например, NMT-450, C-450, RTMS).

В системах первого поколения для разделения каналов применялся принцип множественного доступа с делением по частоте — FDMA, при этом одному каналу в зависимости от стандарта выделялась полоса от 12,5 до 30 кГц. Для передачи речевых сигналов и сигналов управления использовались частотная и фазовая модуляции. Основным недостатком аналоговых систем первого поколения является их низкая емкость. Этот недостаток стал очевиден уже к середине 80-х годов прошлого столетия, когда с началом коммерческой эксплуатации резко возросло число абонентов, поэтому начались разработки СПСС второго поколения. Они натолкнулись на большие трудности, связанные с уже широким использованием аналоговых стандартов.

Ко **второму поколению** СПСС относятся цифровые системы:

GSM-900 и более поздний стандарт GSM-1800 (DCS-1800), которые появились в Европе вместо «лоскутного одеяла» несовместимых аналоговых стандартов, последовательно вводились фазы 1, 2, 2+, в России этот стандарт первым начал распространять оператор МТС;

D-AMPS — промежуточный стандарт (другое название — IS-54 Interim Standard), позволяющий совмещать работу аналоговой и цифровой систем в одном и том же диапазоне, с 1994 г. — версия IS-136;

GSM-1900 — американский GSM (IS-661);

JDC (с 1994 г. — PDC) — очень схожий с D-AMPS вариант, разработанный в Японии.

В этих стандартах наряду с FDMA применяется временное разделение TDMA. Но одновременно в СПСС начали использовать и кодовое разделение CDMA. В Америке разработан стандарт, основанный на CDMA в диапазонах 800 (IS-95) и 1900 МГц, он начал применяться с 1995 г. Для России был специально разработан вариант CDMA-450, который внедряется на оборудовании Московской сотовой связи под торговой маркой «Комстар».

В настоящее время ведется разработка СПСС **третьего поколения**, вызванная потребностями абонентов в широкополосной связи и стремлением создать единый общемировой стандарт. Первоначально была разработана концепция наземной общественной системы подвижной связи будущего — FPLMS (Future Public Land Mobile Telecommunications System), потом ее переименовали в IMT-2000 (International Mobile Telecommunication) — международную систему мобильной связи 2000 г.

В Евросоюзе ETSI вел работы по разработке универсальной системы подвижной связи — UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). В 1996 г. был утвержден UMTS Forum — объединение операторов, производителей и законодательных органов в поддержку систем третьего поколения.

Общепринятого понятия систем третьего поколения до сих пор не выработано. Предполагается, что они смогут обеспечить мобильную связь с глобальным роумингом и широким набором мультимедийных средств, включая видеоконференции, высокоскоростной доступ в Интернет, электронную торговлю и т. п. При этом идеальным было бы согласование единого мирового стандарта. Но уже сегодня очевидно, что достичь этого не удастся, так как национальные операторы пытаются интегрировать в третье поколение стандарты предыдущих поколений, т. е. осуществить их преемственность.

Подробно СПСС стандарта GSM и перспективы их развития будут рассмотрены в гл. 6.

2.5. Основы теории анализа и синтеза сетей связи

Создание информационных сетей требует решения ряда технических, технико-экономических, а иногда и социально-экономических проблем. Одним из важных аспектов этих проблем является динамика развития сети, учитывающая рост потребностей пользователей. Анализ затрат показывает, что основными являются расходы на линейные сооружения и на системы передачи. Поэтому в теории построения сетей связи в большинстве случаев рассматривается структура сети с точки зрения минимизации линейного оборудования.

2.5.1. Структура сети связи

Сеть, состоящая из N УК, характеризуется прежде всего расположением этих УК — географией сети, которая определяется либо перечнем координат всех УК, либо кратчайшими (по прямой) расстояниями между каждой парой УК, что может быть записано в виде матрицы $L_{кр} = \|l_{ij_{кр}}\|$.

Это расстояние всегда меньше реальных длин линий, идущих, как правило, не по прямой, и тем более меньше длин путей, проходящих через несколько узлов. Одной из важнейших задач построения сети является обеспечение высокого использования отдельных каналов. При этом, изменяя число каналов между отдельными узлами, можно увеличить общую пропускную способность и уменьшить задержки.

Структура сети связи — это совокупность узлов сети и соединяющих их линий и каналов в их взаимном расположении и с характеристиками передачи и распределения сообщений. Структура отражает способность сети к обеспечению доставки информации в различные ее узлы.

Особенностью построения сети связи является то, что число возможных структур, удовлетворяющих заданным требованиям по доставке сообщений между отдельными узлами сети, очень велико. При этом структуры неравнозначны по надежности. Повышение надежности достигается за счет использования обходных путей.

Для изучения общих структурных свойств сети используют ее представление в виде графа $G = \{A, B\}$, где $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ — совокупность узлов сети, а $B = \{b_{ij}\}$ — множество ребер между вершинами a_i и a_j соответственно. В зависимости от свойств каналов ребра могут быть направленными и ненаправленными. Для различных оценок каждому ребру может быть приписан некоторый *вес* — число (или совокупность чисел), характеризующее какое-либо свойство данного ребра как элемента пути передачи информации: длина, пропускная способность (выраженная скоростью, или числом стандартных каналов), надежность, стоимость и т. п. Узлам графа также могут быть приписаны веса (например, пропускная способность, длина очередей в буферах) или функции. Число ребер, инцидентных узлу (входящих или исходящих из него), называется рангом узла. Узел ранга 1 является тупиковым. Узлы, соединенные ребром, называются смежными.

Рассмотрим основные структуры сетей связи.

Полносвязная сеть — соединение узлов по принципу «каждый с каждым». В такой сети число ребер равно $N(N - 1)$ (рис. 2.17, а).

Древовидная сеть — между каждой парой узлов может быть только один путь. Число ребер в такой сети равно $(N - 1)$ (рис. 2.17, б). Частными случаями древовидной сети является *узловая сеть* (рис. 2.17, в) и *звезда* (рис. 2.17, г) с одним узлом, а также *линейная сеть* (рис. 2.17, д).

Ячеистая сеть (не путать с ячейками в СПСС) — сеть, в которой каждый узел является смежным только с небольшим числом других узлов, обычно ближайших, имеющих большее тяготение (рис. 2.17, е – з). Частным случаем ячеистой сети является *петлевая структура* (рис. 2.17, и).

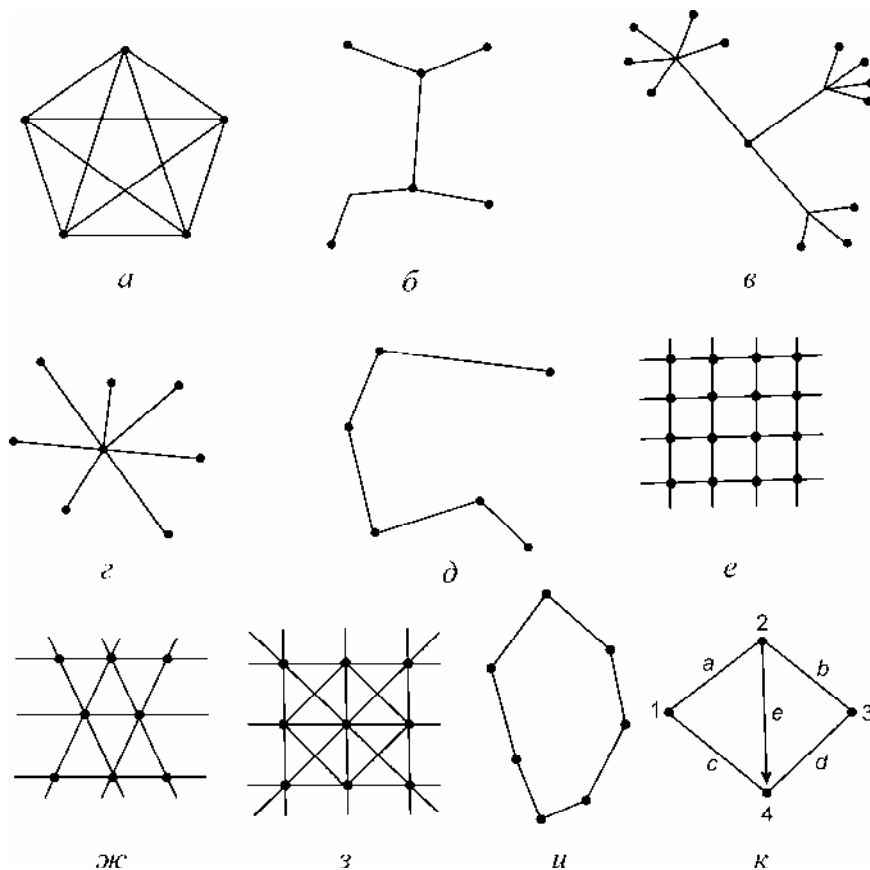


Рис. 2.17. Основные структуры сетей связи:
а — полносвязная; *б* — древовидная; *в* — *д* — узловая (*г* — звезда с одним узлом; *д* — линейная);
е — *и* — ячеистая (*и* — петлевая структура); *к* — реальная сеть

Реальная сеть, как правило, содержит области с различными структурами. Так, на ГТС с УВС (см. рис. 2.3) связь АТС внутри УР-1 осуществляется по принципу полносвязной сети, а от УВС к АТС своего УР — по сети типа звезда.

Для обозначения свойств сети введены некоторые понятия. Простейшей записью структуры может быть *матрица связности* (смежности) порядка N , в которой по главной диагонали ставятся черточки, а элементы a_{ij} принимают значения 1, если существует ребро, связывающее узел a_i с узлом a_j и 0 — в противном случае. Если в сети нет направленных ребер, то матрица будет симметричной по отношению к главной диагонали. Для сети (рис 2.17, *к*) матрица связности имеет вид

$$M_{\text{св}} = \begin{vmatrix} - & \bar{a} & - & c \\ a & - & b & e \\ - & \bar{b} & - & d \\ \bar{c} & - & \bar{d} & - \end{vmatrix}.$$

Путь μ_{ij} — (самонепересекающийся, не проходящий дважды через один и тот же узел) из узла a_i в узел a_j — это упорядоченный набор ребер, начинающихся в узле a_i и заканчивающихся в узле a_j , в котором конец каждого предыдущего ребра совпадает в промежуточном (для данного пути) узле с началом последующего ребра. Если путь состоит из ненаправленных ребер, то он будет ненаправленным, если же в нем имеется хотя бы одно направленное ребро, — направленным.

Рангом пути $r_{\mu_{ij}}$ называется число ребер, входящих в данный путь. Минимальный ранг пути равен 1, максимальный, когда путь проходит через все узлы — $(N - 1)$.

Связностью сети называют минимальное число h независимых путей, имеющих между каждой парой узлов сети. У полносвязной сети $h = N - 1$. Древовидная сеть является односвязной, петлевая — двухсвязной. Понятие связности может быть отнесено не ко всей сети, а лишь к паре узлов a_i и a_j (тогда пишут h_{ij}).

Сечением сети (графа) называют избыточную совокупность ребер, которые нужно изъять из сети, чтобы нарушилась ее связность.

Сечениями по отношению к узлам a_i и a_j называют такие сечения, для которых узлы a_i и a_j оказываются в разных подсетях (подграфах). При этом в сети с направленными ребрами различают *направленные* связи от a_i к a_j или наоборот, и *ненаправленные* связи, полностью нарушающие связи между ними.

Множество A , состоящее из N узлов, можно разбить на два непустых подмножества A_1 и A_2 в общем случае $(2^{N-1} - 1)$ способами, причем в каждом из подмножеств может быть соответственно N_1 и N_2 узлов ($N = N_1 + N_2$). В теории сетей связи рассматриваются не все возможные сечения, а лишь те, которые делят сеть на две связанные подсети (в частном случае в одной из подсетей может быть один узел).

Рангом сечения называют число входящих в него ребер.

Разрезом сети называют минимальную совокупность узлов и ребер, которые надо удалить из сети, чтобы она стала несвязной. Интерес представляют разрезы, исключаяющие все пути между двумя узлами, или квазиререзы, исключаяющие пути определенного ранга и меньше.

2.5.2. Структурные матрицы сетей и операции с ними

Для анализа сети (нахождения путей, сечений и их характеристик) целесообразно использовать структурную матрицу $G = \|\xi_{ij}\|$. *Структурной матрицей* сети с N узлами называют квадратную матрицу порядка N , в которой каждому узлу a_i соответствует i -я строка и i -й столбец. Элементы этой матрицы определяются следующим образом:

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i = j; \\ b_{ij}, & \text{если есть непосредственная связь (ребро,} \\ & \text{линии, каналы) от узла } a_i \text{ к узлу } a_j; \\ 0, & \text{если нет непосредственной связи.} \end{cases}$$

Структурная матрица сети (см. рис. 2.17, к) будет иметь вид

$$G = \begin{vmatrix} - & 1 & 0 & 1 \\ 1 & - & 1 & 1 \\ 0 & 1 & - & 1 \\ 1 & 0 & 1 & - \end{vmatrix}.$$

Если все ребра ненаправлены, то матрица будет симметричной по отношению к главной диагонали, а если есть направленные ребра, то несимметричной. Элементы структурной матрицы можно рассматривать как элементы булевой алгебры [18] с двумя значениями: связь есть (1) или связи нет (0).

Используя граф или структурную матрицу сети, можно найти множества путей (как всех, так и удовлетворяющих некоторому заданному свойству) между любой парой узлов. Из

структурной матрицы можно также найти множество всех путей между каждой парой узлов сети. Это множество находят раскрытием определителя подматрицы, полученной из структурной вычеркиванием соответствующего столбца и соответствующей строки. При раскрытии этого определителя в общем случае получают слагаемые, включающие петли и контуры, которые позже должны быть исключены за счет поглощения.

Графическим эквивалентом этого метода является построение *дерева путей* для заданного начального узла сети i , которое строят по матрице B следующим образом:

- 1) выбирают i -ю строку матрицы B ;
- 2) в этой строке выбирают номера узлов j , для которых $b_{ij} \neq 0$, и образуют множество узлов первого ранга (узлы первого яруса);
- 3) построение дерева продолжается либо до получения путей максимально допустимого ранга, либо до тех пор, пока не окажется, что все узлы уже вошли в путь.

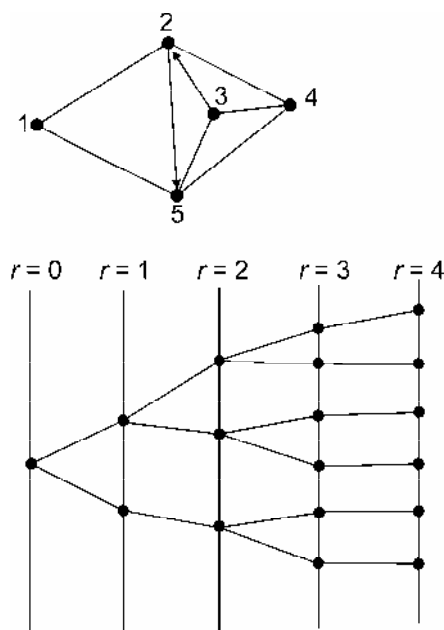


Рис. 2.18. Граф и дерево путей

На рис. 2.18 показана сеть и соответствующее дерево путей от узла 1.

2.5.3. Числовые показатели сети

Для оценки сети введены следующие матрицы.

Матрица длин ребер $L = \|l_{ij}\|$, где $l_{ii} = 0$, l_{ij} — расстояние от a_i до a_j .

Матрица пропускных способностей ребер $C = \|c_{ij}\|$, где c_{ij} — скорость данного ребра, часто выраженная в числе типовых каналов, например телефонных. Этот показатель называют емкостью (мощностью) ребра (линии).

Матрица пучков прямых каналов $U = \|u_{ij}\|$, где u_{ij} — число каналов, начинающихся в узле a_i и кончающихся в узле a_j , независимо от того, через какие еще узлы они проходят. Такая матрица характеризует возможность установления связи в сети.

Матрица надежности $P = \|p_{ij}\|$, где $p_{ij} = 1 - q_{ij}$ — вероятность надежной работы данного ребра сети, а q_{ij} — вероятность выхода его из строя.

Кроме перечисленных могут использоваться и другие показатели ребер, такие как матрица стоимостей, матрица затуханий и т. п.

Существует также понятие *мощности сети*, определяемой из матриц L и C как сумма почленных произведений по всем входам.

Пути, сечения (квазисечения) и их множества могут оцениваться следующими показателями:

длиной пути — суммой всех ребер, образующих данный путь. Выбирая кратчайшие пути, можно строить матрицу кратчайших путей;

пропускной способностью пути, которая определяется наиболее «узким местом» — минимальной пропускной способностью ребра из множества ребер, образующих путь;

емкостью пути — максимальным числом стандартных каналов, которое может быть получено в данном пути. Как и пропускная способность, емкость пути определяется минимальной емкостью ребра из множества ребер, образующих путь;

пропускной способностью и емкостью сечения (или квазисечения), которая определяется пропускной способностью (емкостью) сечения (квазисечения), имеющего минимальную пропускную способность или емкость для данного множества путей;

надежностью пути, которая определяется как вероятность исправного состояния всех его ребер.

2.5.4. Структурная надежность путей и связей

Надежностью $p_{ij}^{(k)}$ k -го пути называется вероятность исправного состояния всех ребер, образующих этот путь, т. е.

$$p_{ij}^{(k)} = \rho(\mu_{ij}^{(k)}) = \prod_{b_{lm} \in \mu_{ij}^r} p_{lm} = \prod_{b_{lm} \in \mu_{ij}^r} (1 - q_{lm}).$$

Надежностью связи от пункта x_i к пункту x_j называют вероятность исправного состояния хотя бы одного пути из заданного множества m_{ij} . Для нарушения связи от x_i к x_j достаточно, чтобы вышли из строя все ребра хотя бы одного из множества сечений, соответствующего множеству m_{ij} путей.

Рассмотрение всех зависимых путей, работающих параллельно, позволяет оценить верхнюю границу надежности связи, а всех сечений, включенных последовательно, — ее нижнюю границу.

Повысить структурную надежность группы путей можно как за счет добавления новых путей, так и за счет устройства перемычек — поперечных сечений между существующими путями. Оптимальный вариант выбирают после соответствующих исследований в конкретных случаях с учетом того, что перемычки могут использоваться в сети для других целей.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Почему Международный союз электросвязи рекомендует разрабатывать национальные схемы нумерации на столь длительный срок?
2. Каким может быть максимальное число географических зон АВС в России?
3. Определите максимальную емкость всех СПСС России, если негеографические коды DEF начинаются только с цифры 9, а соединение со спецслужбами осуществляется с помощью цифры 1.
4. Сколько номеров может быть предоставлено различным компаниям для предоставления услуги оплаты за счет вызываемого абонента?

5. Сколько двухзначных и трехзначных кодов стран может быть в одном телефонном континенте при их следующих процентных соотношениях: а) 10:90; б) 30:70; в) 50:50; г) 60:40; д) 80:20?

6. Почему на ГТС с четырехзначной нумерацией часто строят концентраторы с внутренним замыканием нагрузки?

7. Чем нерентабельны районированные сети?

8. Почему на УПАТС, показанной на рис. 2.2, идет две входящих линии?

9. Опишите по рис. 2.3 трассы связи абонентов АТС-61 и АТС-79.

10. Дополните каждый УР на рис. 2.4 концентраторами и УПАТС.

11. Как осуществляется в Москве выход абонентов старых механических АТС к операторам СПСС? Почему после построения ТУ Московская ГТС перешла на тарификацию вызовов, исходящих к СПСС?

12. Изучив схему на рис. 2.7, укажите пути первого и последнего выбора между: а) Санкт-Петербургом и Мурманском; б) Москвой и Комсомольском-на-Амуре; в) Екатеринбург и Тулой; г) Сургутом и Ярославлем; д) Омском и Томском; е) Читой и Улан-Удэ.

13. Изобразите схему связи через модем ЭВМ, находящейся в Москве, с ЭВМ Нью-Йорка, если: а) соединение устанавливается через ТфОП; б) соединение устанавливается через Интернет.

14. Дайте определения протокола и интерфейса.

15. Сколько уровней в стеке протоколов?

16. На каких уровнях семиуровневой модели OSI можно осуществить: а) шифрование данных; б) коррекцию ошибок?

17. Опишите выбор маршрута сообщения на сетевом уровне при ДР и ВК.

18. Когда применяются механизмы коррекции ошибок на транспортном уровне, а когда на канальном?

19. Всегда ли при коррекции ошибок на канальном уровне передается квитанция?

20. За какое время пакет длиной 2048 бит передается по интегральной линии, построенной на ИКМ-30 (ИКМ-24), если для КК используется 6, 10, 15 временных каналов?

21. Для чего нужен ТА в ЦСИО?

22. Почему в Америке используется стандарт GSM-1900?

23. Если в CDMA используется трехразрядный двоичный код, сколько абонентов могут одновременно разговаривать в одной соте?

24. Почему ведутся работы по стандартизации мобильных сетей третьего поколения?

25. Какие оценки могут быть даны ребру сети?

26. Сколько ребер в полносвязной семи- (девяти-, одиннадцати-, двадцати четырех-) узловой сети?

27. Опишите, какие структуры сетей используются на ГТС с УИС и УВС. Есть ли здесь направленные и ненаправленные пути?

28. Дайте определения сечения и разреза сети.

29. Чем отличается матрица пропускных способностей от матрицы прямых пучков каналов?

30. Как повысить структурную надежность сети связи?

31. Приведите структуру сети в двух зонах семизначной нумерации ТфОП, в каждой из которых располагается по две местные сети. Покажите связи между зонами. Обходные пути

организуите с помощью двух УАК первого класса. Емкости и типы местных сетей приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Номер варианта	Типы и емкости местных сетей в зоне 1	Типы и емкости местных сетей в зоне 2
1	СТС — 8 тыс., ГТС — 20 тыс.	ГТС — 120 тыс., ГТС — 65 тыс.
2	ГТС — 100 тыс., СТС — 18 тыс.	СТС — 17 тыс., ГТС — 250 тыс.
3	ГТС — 70 тыс., ГТС — 450 тыс.	СТС — 11 тыс., ГТС — 85 тыс.
4	СТС — 14 тыс., ГТС — 135 тыс.	ГТС — 80 тыс., СТС — 16,5 тыс.
5	СТС — 17,5 тыс., ГТС — 140 тыс.	ГТС — 50 тыс., ГТС — 500 тыс.
6	СТС — 12,5 тыс., ГТС — 200 тыс.	ГТС — 250 тыс., СТС — 14,5 тыс.
7	СТС — 9,5 тыс., СТС — 5 тыс.	СТС — 20 тыс., ГТС — 200 тыс.
8	ГТС — 75 тыс., СТС — 7,5 тыс.	СТС — 10 тыс., ГТС — 90 тыс.
9	ГТС — 96 тыс., ГТС — 35 тыс.	ГТС — 900 тыс., СТС — 9,5 тыс.
10	ГТС — 75 тыс., ГТС — 300 тыс.	СТС — 8 тыс., ГТС — 90 тыс.

Количество и емкость станций местных сетей выберите так, чтобы показать структуру сети и нумерацию абонентов. При присвоении нумерации абонентам местных сетей используйте закрытую систему нумерации. Выберите коды местных сетей и коды зон семизначной нумерации. Запишите последовательности цифр, которые должен набирать абонент каждой зоны при местной, внутризоновой, междугородной и международной связи, а также при выходе на мобильные сети.

3. ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Соединительные линии (магистралы) между УК строили сначала с помощью пар проводов, а затем коаксиальных кабелей и радиорелейных линий. В настоящее время для магистралей используют оптическое волокно и спутниковые каналы. Уже в первой половине XX века для лучшего использования этих дорогих каналов начали применять различные *системы передачи* — СП, которые тогда называли системами уплотнения (*мультиплексирования*). Идея передачи нескольких телеграфных каналов по одной линии была впервые осуществлена в 1918 г. с помощью механического коммутатора.

Под **мультиплексированием** понимают объединение нескольких меньших по емкости входных каналов связи в один канал большей емкости для передачи по одному выходному каналу связи.

В *аналоговых системах передачи* использовали системы частотного разделения FDM, при которых доступная полоса частот делится на несколько подканалов. Речевые телефонные каналы (0,3...3,4 кГц) размещаются в этих подканалах при помощи их частотной модуляции соответствующими несущими. Так, первый канал не модулируется, второй модулируется частотой 6 кГц, третий — 10 кГц, и т. д. В настоящее время на магистральных линиях все частотные аналоговые системы передачи заменены на цифровые с временным мультиплексированием или с временным разделением каналов — TDM. В основу построения этих систем было положено цифровое преобразование речи, т. е. преобразование аналогового сигнала в цифровой. Первоначально были разработаны цифровые СП для магистральных с.л., а затем при появлении широкополосного абонентского доступа — цифровые СП для а.л. Напомним, что основной характеристикой аналогового сигнала является ширина спектра F_{\max} , а основной характеристикой цифрового сигнала — скорость его передачи.

3.1. Принципы цифрового преобразования непрерывных сигналов

3.1.1. Импульсно-кодовая модуляция

Все виды модуляции делят на непрерывные и импульсные. Известно, что модуляция преобразует поступивший в сеть электросвязи сигнал в соответствующий вид, однако при этом его основные свойства сохраняются. К *непрерывным видам модуляции* относятся амплитудная, частотная и фазовая.

При *импульсной модуляции* в качестве переносчика сигнала используются периодические последовательности прямоугольных импульсов. В соответствии с функцией преобразуемого непрерывного сигнала может изменяться один из параметров двоичной последовательности импульсов: амплитуда импульса (амплитудно-импульсная модуляция — АИМ), частота следования импульсов (частотно-импульсная модуляция — ЧИМ), ширина импульса (широотно-импульсная модуляция — ШИМ), а также фаза импульса, т. е. положение импульсов относительно тактовых (синхронизирующих) моментов времени (фазоимпульсная модуляция — ФИМ).

В современных системах электросвязи применяется *импульсно-кодовая модуляция* — ИКМ (Pulse Code Modulation — PCM), которая основана на кодировании амплитуд импульсов, полученных с помощью АИМ. Для определения дискретных моментов времени, в которых происходит замер амплитуды импульсов (частоты следования амплитуд, которую назы-

вают частотой дискретизации), служит **теорема В.А. Котельникова**, связывающая ширину спектра аналогового сигнала с частотой дискретизации. Она гласит: **Аналоговый сигнал может быть полностью восстановлен по своим дискретным отсчетам, если частота его дискретизации в два или более раз превышает ширину его спектра $F_d = 2F_{\max}$** .

Таким образом, частота дискретизации телефонного сигнала должна быть не менее 6800 Гц, однако для удобства представления частоты дискретизации в двоичной форме она принимается равной для телефонного сигнала 8000 Гц.

При такой частоте скважность импульсов (промежутки между импульсами) составит $t_d = 1/F_d = 1/8000 = 125$ мкс. При этом длительность импульсов, соответствующих мгновенным амплитудам, может быть сколь угодно малой.

Кодирование амплитуд импульсов в двоичной системе осуществляется после измерения их амплитуды, для чего служит процедура квантования. Расстояние между уровнями квантования называется шагом квантования. Значение мгновенной амплитуды импульса, как правило, оказывается между двумя уровнями квантования. Однако в зависимости от построения системы амплитуде приписывается значение верхнего или нижнего уровней, из-за чего восстановленный сигнал искажается. Эти искажения носят название шумов квантования. Очевидно, что чем больше уровней квантования, тем точнее будет измерена амплитуда сигнала, но это приведет к увеличению скорости цифрового сигнала. После многочисленных исследований было выбрано 256 уровней квантования (от 0 до 255), поэтому размер амплитуды кодируется восьмизначным двоичным числом. Телефонному сигналу соответствует скорость основного информационного канала $B_0 = F_d \cdot 8 = 8000 \cdot 8 = 64000$ бит/с = 64 кбит/с.

Существуют системы ИКМ с равномерным квантованием, когда шаги квантования имеют одинаковую длину. Но часто передаются сигналы с большим динамическим диапазоном (ДД) — отношением максимальной амплитуды сигнала к его минимальной амплитуде, выраженным в децибелах (дБ). Типичное значение ДД составляет 30 дБ, тогда при мгновенном увеличении ДД 256 уровней недостаточно [19]. Таким образом, в системах ИКМ с равномерным квантованием размер каждого шага квантования определяется требованиями к отношению сигнал/шум по наименьшему уровню кодируемого сигнала. Поэтому подобные системы обладают излишним качеством, особенно если вероятность появления сигнала с большой амплитудой невелика, так как кодовое пространство в такой системе используется неэффективно.

Повысить эффективность процедуры дискретизации можно, если шаг квантования сделать не постоянным, а возрастающим вместе со значениями отсчетов. Иными словами, если шаг квантования будет пропорционален значениям отсчетов, то отношение сигнал/шум будет постоянным для всех уровней сигналов. При этом между отсчетами и соответствующими им восьмибитовыми последовательностями существует нелинейная связь. На рис. 3.1 показан процесс, при котором отсчеты аналогового входного сигнала сначала сжимаются (с помощью диодов с нелинейной характеристикой), а затем квантуются с равномерным шагом квантования.

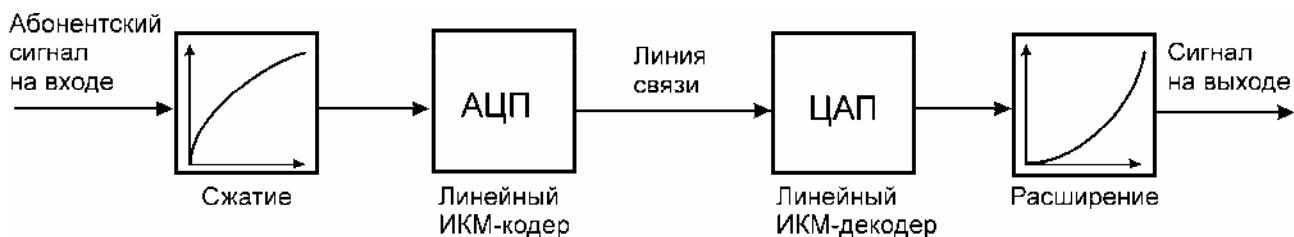


Рис. 3.1. Системы ИКС с компандированием и аналоговым сжатием

Таким образом, чем выше значение отсчета, тем больше он подвергается сжатию перед кодированием. Как показано на рисунке, ИКМ-декодер с неравномерным квантованием расширяет сжатое значение, используя для восстановления обратную характеристику. Процесс сжатия и последующего расширения сигнала называют *компандированием*. Для реализации компандера могут быть использованы разнообразные нелинейные характеристики сжатия-расширения. Увеличивая степень сжатия, расширяют динамический диапазон, уменьшая тем самым отношение сигнал/шум для сигналов с большой амплитудой.

3.1.2. Принципы сжатия речевых сигналов

Обычные системы с ИКМ кодируют каждый отсчет входного сигнала независимо от остальных. Однако имеется значительная избыточность речевых сигналов от отсчета к отсчету. Снижение этой избыточности позволит значительно сэкономить на скорости передачи оцифрованного сигнала, если при этом использовать более эффективные алгоритмы сжатия речи. Кроме того, при диалоге двух абонентов около 70 % времени разговора каждого из них составляют паузы.

Техника сжатия речевых сигналов начала развиваться в связи с появлением систем пакетной передачи речи с помощью протокола IP, называемых также системами голосовой телефонии — VoIP [19]. Ее развитие стало возможным после появления микросхем процессоров цифровой обработки сигналов Digital Signal Processor — DSP, которые выполняют типичные операции: умножение с накоплением, выборку операндов с бит-инверсной адресацией для выполнения быстрого преобразования Фурье. Наличие в DSP встроенной памяти обеспечивает быстрый доступ ядра к ее содержимому для получения максимальной производительности. Именно на DSP строятся кодеки речи, применяемые в приложениях VoIP.

Кодеки осуществляют снижение скорости сигнала и подавление пауз речи. Специальные детекторы активных периодов речи (Voice Activity Detection — VAD) определяют моменты времени, в которые абонент говорит, прерывистая передача (Discontinuous Transmission — DTX) выключает кодек на время пауз и для абонента включается генератор комфортного шума (Comfort Noise Generator — CNG), создающий ощущение присутствия собеседника. При этом объем передаваемой в канал информации снижается до 50 %. В большинстве кодеков применяется дифференциально-импульсная кодовая модуляция, или дельта-модуляция, при этом используются схемы линейного предсказания (Linear Predictive Coding — LPC) и предсказаний более высоких порядков.

Для выбора кодека существуют различные оценки качества, из которых наиболее популярной является оценка MOS (Mean Opinion Score). Она определяется как среднее оценок данных большой группы слушателей по пятибалльной шкале. Здесь 4...5 соответствует высокому качеству, 3,5...4 — качеству фиксированной ТфОП, 3...3,5 — удовлетворительному качеству, ухудшение которого уже заметно на слух, а 2,5...3 — разборчивой речи, для понимания которой требуется концентрация внимания слушателя.

В табл. 3.1 для сравнения качества приведены оценки речи по MOS некоторых типов кодеков речи.

Кодеки обрабатывают информацию небольшими кадрами, размер кадра определяет задержку информации. Протоколы передачи добавляют к кадру заголовки: IP — 20 байт, UDP — 8 байт, RTP — 12 байт. Обычно при передаче пакета в нем собирают несколько кадров, число которых ограничено максимально допустимой задержкой. Как правило, в пакете передают 120 мс речевой информации.

Эффект задержки при кодировании и декодировании речи различен для различных алгоритмов сжатия. Опыт работы с речевыми спутниковыми каналами показывает, что задержка

при передаче сигнала порядка 200 мс удовлетворительно воспринимается абонентами. Большинство алгоритмов сжатия речи не превосходят этот предел.

Таблица 3.1

Кодек	Скорость кодирования, кбит/с	Оценка по MOS
ИКМ (G.711)	64	4,3
Адаптивная дифференциальная ИКМ (G.721)	32	4,2
LD-CTLP (G.728)	16	4,0
MP-MLQ (G.723.1)	6,4	3,9 – 3,4
RPE-LTP (GSM)	13	3,5
LPC	2,4	2,4

3.2. Кодирование цифровых сигналов при передаче по линии

Для передачи цифровых сигналов применяют волоконно-оптические, симметричные и коаксиальные кабели.

Волоконный кабель содержит большое количество оптических волокон круглого сечения, изготовленных из кварцевого стекла. В зависимости от числа типов электромагнитных волн (мод), которые могут распространяться в волокне, различают многомодовые и одномодовые кабели.

На абонентских линиях и линиях ГТС применяют симметричные многопарные телефонные кабели. Их основным недостатком являются переходные помехи. С целью повышения переходного затухания для различных направлений передачи используются пары, размещенные в разных повивах.

На магистральных междугородних соединительных линиях применяют коаксиальные кабели. Они характеризуются высоким переходным затуханием. Помехи в коаксиальном кабеле определяются уровнем термического шума.

При передаче цифровых сигналов по линиям связи применяют различные схемы кодирования, которые соответствуют особенностям среды передачи. При этом должны выполняться следующие условия.

1. Передаваемая по линии цифровая последовательность должна обеспечивать возможность выделения синхронизирующего сигнала.
2. Должна обеспечиваться возможность постоянного контроля верности передачи информации в линейном тракте без перерыва связи.
3. В энергетическом спектре линейного сигнала не должно быть постоянной составляющей, а низкочастотные составляющие должны быть незначительными.
4. Используемые коды не должны вносить ошибки в передаваемый сигнал независимо от структуры исходной информационной последовательности.

Выполнение указанных условий требует введения избыточности в линейный сигнал. Введение избыточности может осуществляться либо за счет увеличения частоты, либо за счет повышения числа уровней путем перехода к многоуровневым кодам. Скорость передачи информации в линейном тракте $c = f_0 \log_2 m$, где f_0 — частота следования кодовых символов; m — число возможных значений кодового символа.

Полученные при оцифровке аналоговых сигналов двухуровневые линейные сигналы широко применяются в волоконно-оптических трактах, они позволяют обнаруживать и исправ-

лять ошибки с помощью дополнительных символов. Здесь используются блочные коды 3В4В (три двоичных (бинарных) символа информационной последовательности преобразуются в четыре бинарных символа линейного сигнала), а также коды 5В6В.

В линейных трактах, организуемых по симметричным и коаксиальным кабелям, передача цифровых сигналов в двоичной форме по линии связи неэффективна с точки зрения как затрат мощности, так и противостояния помехам. Например, используемые в компьютерных системах уровни +3 и 0 В требуют затратить 4,5 Вт при сопротивлении 1 Ом. На линии при этом постоянно присутствует положительный потенциал, который больше подвержен помехам. Здесь двоичные сигналы лучше кодировать с помощью равных положительного и отрицательного уровней, расположенных симметрично относительно 0 В, т. е. использовать *трехуровневые коды*. При кодировании сигналами +1,5 В и –1,5 В то же самое качество передачи может быть достигнуто при уменьшении требований по мощности вдвое (2,25 Вт). В трехуровневых кодах каждый символ эквивалентен по количеству передаваемой информации $\log_2 3 = 1,59$ двоичным символам. Поэтому необходимая для исправления ошибок избыточность достигается без увеличения скорости передаваемого сигнала.

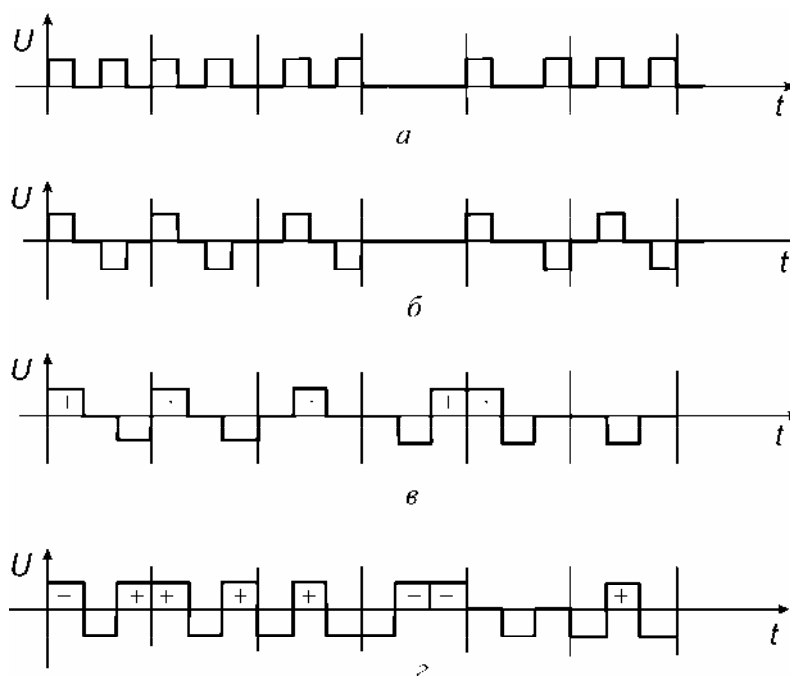


Рис. 3.2. Преобразование двухуровневого сигнала в трехуровневый:
а — исходный двоичный сигнал; б — код с ЧПИ;
в — код 4В3Т с двумя модами; г — код 4В3Т типа FOMOT

Наиболее простым трехуровневым кодом, применяемым в цифровых СП, является код с чередованием полярности импульсов (ЧПИ), называемый также квазитроичным кодом. В этом коде импульсы исходной двоичной последовательности (рис. 3.2, а) передаются поочередно импульсами положительной и отрицательной полярности, а пробелы двоичной последовательности — пробелами троичного сигнала (рис. 3.2, б). Любая ошибка — формирование положительного или отрицательного импульса вместо пробела, изменение полярности кодового импульса — вызывает нарушение закона чередования полярности импульсов, и это может быть легко обнаружено. Недостатком кода ЧПИ является трудность выделения синхронизирующего сигнала при длинных сериях пробелов.

Для устранения этого недостатка были разработаны коды, сокращающие избыточность трехуровневого сигнала при использовании блочного кодирования. В отличие от ЧПИ здесь двоичная последовательность разделяется на блоки из C символов, каждый такой блок передается по тракту группой из D троичных символов, при этом $D < C$, а $3^D > 2^C$. Троичные блочные коды такого вида называют кодами типа CBDT (C бинарных импульсов преобразуются в D тринарных). При заданном соотношении D/C увеличение длины блока C повышает значение разности ($3^D - 2^C$), что, с одной стороны, позволяет получать более помехоустойчивый линейный сигнал, но с другой стороны, усложняет построение преобразователей кода. Ниже приведены виды кодов типа CBDT при $C \leq 10$:

Длина блока C	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Троичный код	2B2T	3B2T	4B3T	5B4T	6B4T	7B5T	8B6T	9B6T	10B7T
Избыточность, %	59	6	19	27	6	13	19	6	11

В настоящее время в линейных трактах большой протяженности получили широкое распространение коды типа 4B3T. В этих кодах для передачи 16 возможных комбинаций из четырех двоичных символов может быть использовано 26 комбинаций из трех троичных символов (комбинация 000 исключается). Из этих 26 комбинаций шесть имеют цифровую сумму равную нулю, десять — положительную цифровую сумму (равную от +1 до +3) и десять — отрицательную цифровую сумму (от -1 до -3). Простейший вариант кода 4B3T показан в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Символы двоичного кода	Символы троичного кода					
	M_+			M_-		
0000	0	-1	+1	0	-1	+1
0001	-1	+1	0	-1	+1	0
0010	-1	0	+1	-1	0	+1
0011	+1	-1	+1	-1	+1	-1
0100	0	+1	+1	0	-1	-1
0101	0	+1	0	0	-1	0
0110	0	0	+1	0	0	-1
0111	-1	+1	+1	+1	-1	-1
1000	0	+1	-1	0	+1	-1
1001	+1	-1	0	+1	-1	0
1010	+1	0	-1	+1	0	-1
1011	+1	0	0	-1	0	0
1100	+1	0	+1	-1	0	-1
1101	+1	+1	0	-1	-1	0
1110	+1	+1	-1	-1	-1	+1
1111	+1	+1	+1	-1	-1	-1

В этом коде используются два троичных алфавита, называемых модами. Положительная мода M_+ содержит комбинации с нулевой и положительной цифровой суммой, а отрицательная мода M_- — комбинации с нулевой и отрицательной суммой. При преобразовании кодов после каждой троичной группы определяется значение текущей цифровой суммы. Если эта сумма равна нулю или отрицательна, то передается комбинация положительной моды. Если же текущая цифровая сумма положительна, передается комбинация отрицательной моды

(рис. 3.2, в). Текущая цифровая сумма может принимать одно из шести значений: -2 ; -1 ; 0 ; $+1$; $+2$; $+3$. В моменты передачи первого и второго символов цифровая сумма колеблется от -3 до $+4$.

Ошибки при передаче троичной последовательности в линейном тракте обнаруживаются при помощи контроля пределов изменения текущей суммы. Ошибочная передача 0 вместо 1 или передача -1 вместо 0 приводит к уменьшению текущей суммы на единицу, что будет зафиксировано, когда цифровая сумма искаженной последовательности достигнет отрицательного предельного значения. Так, вместо -3 будет зафиксировано -4 . Ошибки противоположного знака (передача 0 вместо -1 или $+1$ вместо 0) приводят к повышению положительного предела текущей цифровой суммы. В коде 4В3Т (см. табл. 3.2) вероятность появления предельных значений текущей цифровой суммы значительно ниже, чем вероятность значений, находящихся в середине диапазона: $P_{-2} = P_{+3} = 1/30$, $P_{-4} = P_{+2} = 4/30$, $P_0 = P_{+1} = 10/30$. Это увеличивает время, необходимое для обнаружения ошибок.

Увеличивая число используемых троичных алфавитов (мод), можно уменьшить диапазон изменения текущей цифровой суммы и выровнять вероятность отдельных значений в пределах диапазона. Это позволяет повысить точность контроля верности передачи.

В модификации кода 4В3Т типа FOMOT (сокращение от англ. *Four Mode Ternary* — четырехмодовый троичный) используются четыре моды. Текущая цифровая сумма после окончания кодовой группы с равной вероятностью может принимать значения -1 ; 0 ; $+1$; $+2$. Каждая мода соответствует определенному значению цифровой суммы (табл. 3.3), рис. 3.2, г).

Таблица 3.3

Символы двоичного кода	Символы троичного кода											
	M_{-1}			M_0			M_{+1}			M_{+2}		
0000	-1	+1	+1	-1	0	0	-1	+1	+1	-1	0	0
0001	-1	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0
0010	+1	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0
0011	+1	0	0	+1	-1	-1	+1	0	0	+1	-1	-1
0100	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1
0101	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	-1
0110	+1	0	+1	+1	0	+1	-1	0	-1	-1	0	-1
0111	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0	-1
1000	0	+1	+1	0	+1	+1	-1	-1	0	-1	-1	0
1001	0	+1	0	0	-1	0	0	+1	0	0	-1	0
1010	+1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	+1
1011	+1	+1	0	+1	+1	0	0	-1	-1	0	-1	-1
1100	0	0	+1	-1	-1	+1	0	0	+1	-1	-1	+1
1101	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1	-1
1110	0	-1	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0	-1	+1
1111	+1	+1	-1	0	0	-1	+1	+1	-1	0	0	-1

В настоящее время применяются коды с числом уровней больше трех. Многоуровневые передающие системы приводят к большим скоростям в пределах заданной полосы частот, но требуют значительного увеличения отношения сигнал/шум для заданной вероятности ошибки. В системе T1G, разработанной корпорацией AT&T, с целью удвоения пропускной способности (с 48 до 96 каналов) двухуровневой системы T1C используется четырехуровневый код.

3.3. Магистральные цифровые системы передачи

3.3.1. Принципы построения систем плейохронной цифровой иерархии

В системах передачи с ИКМ применяются схемы временного мультиплексирования каналов, в которых коммутатор (мультиплексор) на передающей стороне поочередно подключает каждый входной канал на определенный временной интервал (который также называют тайм-слотом). Сформированный таким образом поток выборок импульсов от разных каналов направляется в передающую линию. На приемной стороне демультиплексор с помощью аналогичного коммутатора выделяет отдельные выборки и распределяет их по соответствующим каналам. Для синхронизации передающего и приемного коммутаторов должен использоваться синхроимпульс или его цифровой аналог.

Ранее уже говорилось о системах асинхронной и синхронной передачи. В цифровых системах передачи с ИКМ используется синхронная передача. Требования синхронизации приводят к определенным дополнительным расходам на передачу, так как приемник должен синхронизировать задающий генератор по входящему потоку импульсов. Среди способов восстановления синхронизации можно выделить:

- передачу специальных битов синхронизации (эти биты вставляются через одинаковые интервалы, независимо от исходных данных, т. е. выделяется специальный канал синхронизации);

- вставку битов по мере необходимости (эта процедура аналогична вставке нулевого бита в высокоуровневом протоколе управления каналом (High Level Data Link Control — HDLC) [7, 8], т. е. процесс синхронизации сводится к вставке дополнительного выравнивающего бита, или группы бит после нескольких выборок);

- скремблирование данных (здесь используются скремблеры данных, подобные тем, что применяются для шифрования, однако они предназначены для предотвращения передачи повторных комбинаций — больших последовательностей нулей).

В мире существует несколько стандартов ИКМ-систем, при этом существует значительная разница между европейскими и американскими стандартами.

В Европе в качестве первичной принята система ИКМ 30/32, с выходным потоком E_1 , скорость 2048 кбит/с, в которой 30 временных каналов (ВрК) используются в качестве информационных для передачи речи и данных, один канал для синхронизации и один канал для передачи служебных сигналов при установлении связи — сигнализации (рис. 3.3).

В США в качестве первичной принята система ИКМ 24 с выходным потоком T_1 , скорость 1544 кбит/с.

Эти системы являются базовыми модулями (первичными группами) для создания систем с большим числом каналов. На их основе создаются иерархические системы, в которых используются вторичные, третичные и т. д. группы. В начале 1980-х гг. были разработаны три таких иерархических системы.

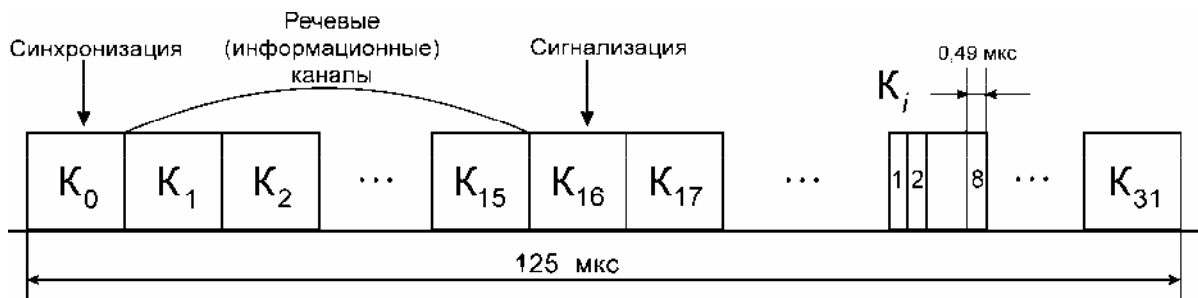


Рис. 3.3. Цикл системы ИКМ 30/32 ($K_1, \dots, K_i, \dots, K_{31}$ — временные каналы)

В *первой* из них, принятой в США и Канаде, порожденной скоростью 1544 кбит/с, создавалась последовательность 1,544 – 6,312 – 44,736 – 274,176 Мбит/с (часто описывается приближенными величинами 1,5 – 6 – 45 – 274 Мбит/с), соответственно с коэффициентами мультиплексирования $n = 24$, $m = 4$, $l = 7$, $k = 6$ (рис. 3.4). Эта иерархия позволяет передавать соответственно 24, 96, 672 и 4032 каналов по 64 кбит/с, часто ее называют просто американской схемой (АС).

Во *второй*, принятой в Японии, использовалась та же скорость для первичной и вторичной групп, затем последовательность менялась 1,544 – 6,312 – 32,064 – 97,728 Мбит/с (приближенные величины 1,5 – 6 – 32 – 98 Мбит/с), что соответствовало коэффициентам мультиплексирования $n = 24$, $m = 4$, $l = 5$, $k = 3$ (см. рис. 3.4). Эта иерархия позволяет соответственно передавать 24, 96, 480 и 1440 каналов по 64 кбит/с, часто ее называют просто японской схемой (ЯС).

В *третьей* иерархии, принятой в Европе и Южной Америке, в качестве первичной была выбрана скорость 2048 кбит/с, затем был выбран постоянный коэффициент мультиплексирования $n = m = l = k = 4$ (см. рис. 3.4). Это создало последовательность скоростей 2,048 – 8,448 – 34,368 – 139,264 – 564,992 Мбит/с (приближенные величины 2 – 8 – 34 – 140 – 565 Мбит/с). Эта иерархия позволяет передавать соответственно 30, 120, 480, 1920 и 7680 каналов со скоростью 64 кбит/с. Отсюда взялись названия ИКМ-30, ИКМ-120, ИКМ-480 и т. д. Эта иерархия называется европейской и принята на территории России.

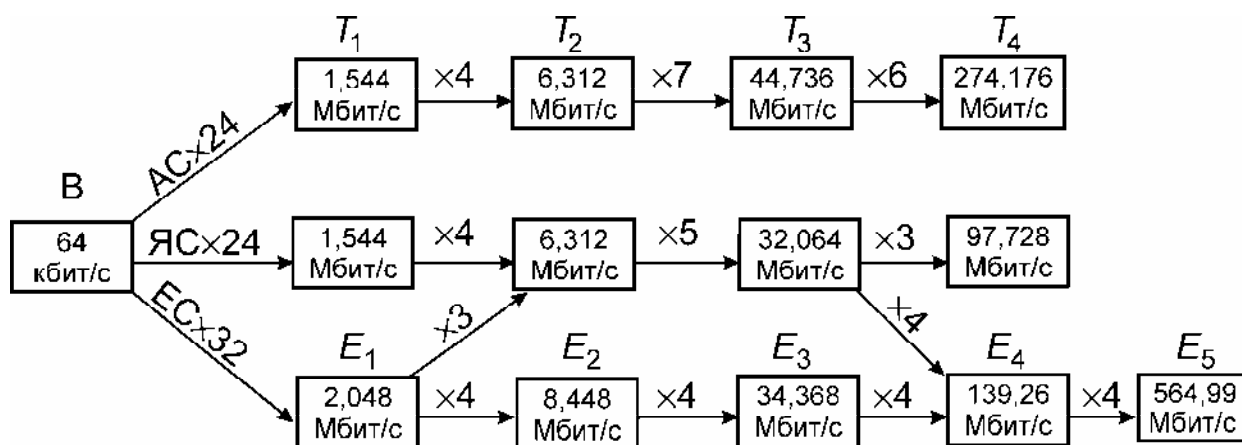


Рис. 3.4. Схемы мультиплексирования в американской (АС), японской (ЯС) и европейской (ЕС) цифровых иерархиях

Параллельное существование сразу нескольких иерархий препятствовало развитию глобальных общемировых сетей электросвязи, так как при соединении разных систем требовалась организация переходов. Все указанные иерархии носят название *плезеохронных цифровых иерархий* (Plesiochronous Digital Hierarchy — PDH). В этих иерархиях для формирования цифровых сигналов первого уровня применен метод мультиплексирования с чередованием байт. Это позволяет идентифицировать каждый канал в общем потоке. Но, учитывая, что общая синхронизация первичных потоков отсутствует, в схемах второго и более высоких уровней мультиплексирования был использован метод мультиплексирования с чередованием бит (а не байт). Так как при этом не формировалась структура, которая могла бы быть использована для определения позиции бита каждого канала, а входные скорости различных первичных потоков могли не совпадать, то использовалась внутренняя побитовая синхронизация, при которой мультиплексор сам выравнивает скорости входных потоков путем добавления нужного числа выравнивающих бит в каналы с относительно меньшими скоростями

передачи. Информация о вставленных битах передавалась по нулевому служебному каналу. На последующих уровнях мультиплексирования эта процедура повторялась, при этом добавлялись новые выравнивающие биты. Такой процесс передачи получил название *плезеохронного* (почти синхронного).

Все основные недостатки систем PDH вызваны добавлением выравнивающих битов, что делает невозможным вывод, например, потока со скоростью 64 кбит/с или 2 Мбит/с, «заши- того» в поток E_4 (со скоростью 140 Мбит/с), без полного демультиплексирования («расшив- ки») этого потока и удаления выравнивающих бит. Когда эти системы использовались для организации междугородных и международных телефонных сетей, процедуры «сшивки» и «расшивки» применялись довольно редко, но при создании ISDN-сетей, корпоративных (ведомственных) сетей и наличии многих разрозненных пользователей эти процедуры пришлось бы выполнять довольно часто. Отсутствие средств маршрутизации в таких системах привело к тому, что от применения этих систем начали постепенно отказываться, заменяя их системами синхронной цифровой иерархии (Synchronous Digital Hierarchy — SDH) [20]. В связи с тем, что системы PDH до сих пор находятся в эксплуатации, их замена на системы SDH проводится постепенно, при этом поддерживаются основные скорости PDH 1,5; 2; 6; 8; 34; 45 и 140 Мбит/с.

3.3.2. Принципы построения систем синхронной цифровой иерархии

Идея синхронной цифровой иерархии впервые была предложена фирмой А. Белла в 1984 г. Первые рекомендации в качестве международных стандартов были приняты в 1988 г. и развиты в 1992 г.

В этих системах принята иерархическая структура формирования транспортных кадров. Несколько структур одного уровня могут быть объединены в одну более общую структуру. Для этого сам кадр представляется в виде некоторого *контейнера* стандартного размера (в силу синхронности сети его размеры не должны меняться), имеющего сопровождающую документацию (*заголовок*), где собраны все необходимые для управления и маршрутизации параметры в виде определенных полей стандартной длины. Общая длина заголовка равна 81 байт, что составляет 3,33 % нагрузки. Передача заголовков соответствует потоку служебной информации со скоростью 5,184 Мбит/с. В полезной части контейнера размещаются однотипные контейнеры меньших размеров (нижних уровней), которые организованы по принципу матрешки (метод инкапсуляций).

По типоразмеру контейнеры делят на четыре уровня, соответствующие уровням PDH. На каждый контейнер наклеивают *ярлык*, содержащий управляющую информацию для сбора статистики прохождения контейнера, его маршрутизации. Контейнер используется для переноса информации, т. е. является логическим (а не физическим) объектом, поэтому его называют *виртуальным контейнером* (VC).

Группирование контейнеров может осуществляться по жесткой синхронной схеме, при которой место отдельного контейнера в поле для его размещения строго фиксировано, а может и с помощью указателей, содержащих фактический адрес начала виртуального контейнера в поле полезной нагрузки контейнера более высокого уровня. Указатель дает контейнеру некоторую степень свободы и при этом гарантирует, что он не будет потерян.

Размеры контейнеров различны и емкость их в верхних уровнях достаточно велика, но может оказаться, что она все равно недостаточна. Для этого в технологии SDH предусмотрена возможность сцепления (склеивания) нескольких контейнеров (составление их в одну структуру).

Для вычисления ряда стандартных скоростей иерархии SDH значение первого члена ряда можно получить только после определения структуры кадра и его размера. Поле полезной нагрузки кадра должно вмещать максимальный виртуальный контейнер VC-4, формируемый

при инкапсуляции потока E_4 со скоростью 140 Мбит/с, а добавление к нему поля заголовков определило скорость синхронного транспортного модуля STM-1 — 155,52 Мбит/с.

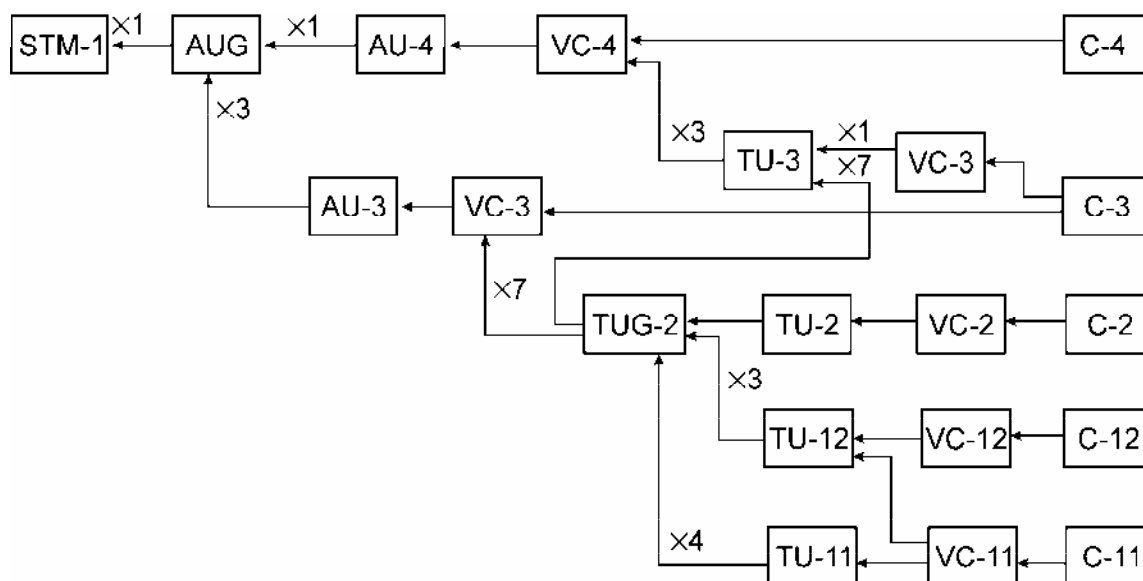


Рис. 3.5. Обобщенная схема мультиплексирования потоков PDN по технологии SDH (редакция ITU-T 1990 г.)

В обобщенной схеме мультиплексирования (рис. 3.5) используются следующие обозначения:

C-N — виртуальные контейнеры уровня N ($N = 1, 2, 3, 4$), содержащие входные потоки, соответствующие рядам AC и EC (см. рис. 3.4) иерархии PDN. Контейнеры уровня n разбиваются на следующие контейнеры подуровней C-NM: 1) C-1 разбивается на контейнер C-11, инкапсулирующий поток $T_1 = 1,5$ Мбит/с и контейнер C-12, инкапсулирующий поток $E_1 = 2$ Мбит/с; 2) C-2 разбивается на контейнер C-21, инкапсулирующий поток $T_2 = 6$ Мбит/с и контейнер C-22, инкапсулирующий поток $E_2 = 8$ Мбит/с; 3) C-3 разбивается на контейнер C-31, инкапсулирующий поток $T_3 = 45$ Мбит/с, и контейнер C-32, инкапсулирующий поток $E_3 = 34$ Мбит/с; 4) C-4 не имеет контейнеров подуровней и инкапсулирует поток $E_4 = 140$ Мбит/с;

VC-N — виртуальные контейнеры уровня N ($N = 1, 2, 3, 4$), при этом VC-1 и VC-2 (виртуальные контейнеры нижних уровней 1 и 2) и VC-3 и VC-4 (виртуальные контейнеры верхних уровней 3 и 4) — элементы SDH, формат которых состоит из заголовка и полезной нагрузки; также как и контейнеры C-n, виртуальные контейнеры уровней 1, 2 и 3 разбиваются на контейнеры подуровней VC-NM;

TU-N — подчиненные субблоки (подблоки) уровня N — элементы структуры мультиплексирования SDH, формат которых прост и определяется суммой указателя субблока и соответствующего виртуального контейнера, также как контейнеры и виртуальные контейнеры субблоки разбиваются на субблоки подуровней TU-NM;

TUG-N — группа подчиненных блоков уровня N (первоначально использовался только уровень 2, а затем добавился уровень 3), формируемая в результате мультиплексирования нескольких подчиненных субблоков более низкого уровня, TUG-2 также разбивается на два подуровня TUG-21 и TUG-22.

Виртуальные контейнеры верхних уровней VC-3 и VC-4, позволяют сформировать соответствующие административные блоки:

AU-3 — административный блок уровня 3 — элемент структуры мультиплексирования SDH, разбивается на два подуровня AU-31 и AU-32, полезная нагрузка которых формируется из VC-31 и VC-32 соответственно;

AU-4 — административный блок уровня 4, не имеет подуровней, использует поле полезной нагрузки VC-4.

Также в обобщенной схеме присутствуют:

AUG — группа административных блоков, которая формируется путем мультиплексирования с различными коэффициентами блоков AU-3 и AU-4, впоследствии эта группа является полезной нагрузкой STM-1;

STM-1 — основной элемент структуры мультиплексирования SDH, состоящий из секционного заголовка SOH и блока AUG.

Дальнейшее наращивание скоростей иерархии SDH первоначально предполагалось осуществлять в арифметической прогрессии, но желание иметь постоянный коэффициент мультиплексирования 4 привело к тому, что в результате многочисленных обсуждений иерархия трансформировалась в геометрическую прогрессию вида: 1, 4, 16, 64, 256.

Мультиплексирование STM-1 в STM-N может осуществляться как *каскадно*: $4 \times 1 = 4$, $4 \times 4 = 16$, $4 \times 16 = 64$, $4 \times 64 = 256$, так и *непосредственно* по схеме $N/1 = N$, где $N = 4, 16, 64, 256$.

Для схемы непосредственного мультиплексирования используется чередование байтов. Например, если 16 STM-1 каналов (в шестнадцатеричном исчислении их порядковые номера будут 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F) на входе мультиплексора создают 16 последовательностей: $b_0^1, b_0^2, b_0^3, \dots, b_0^i$; $b_1^1, b_1^2, b_1^3, \dots, b_1^i$; $b_2^1, b_2^2, b_2^3, \dots, b_2^i$; ...; $b_F^1, b_F^2, b_F^3, \dots, b_F^i$, то в результате мультиплексирования на выходе STM-16 формируется последовательность $b_0^1, b_1^1, b_2^1, \dots, b_F^1$; $b_0^2, b_1^2, b_2^2, \dots, b_F^2$; ...; ..., $b_0^i, b_1^i, b_2^i, \dots, b_F^i$.

Если же при формировании модуля STM-N используется каскадное мультиплексирование, то оно осуществляется по схеме чередования байтов, причем число байтов в группе равно кратности мультиплексирования предыдущего каскада. Например, если формирование STM-16 происходит по двухкаскадной схеме $4 \times \text{STM-1} = \text{STM-4}$; $4 \times \text{STM-4} = \text{STM-16}$, то в первом каскаде мультиплексирование осуществляется по байтам, во втором — по группам, состоящим из четырех байтов. Очевидно, что формирование STM-64 происходит по схеме $4 \times \text{STM-1} = \text{STM-4}$; $4 \times \text{STM-4} = \text{STM-16}$; $4 \times \text{STM-16} = \text{STM-64}$. Подробно структура кадров и заголовков STM-N описана в [20].

Сеть SDH состоит из ограниченного набора отдельных функциональных модулей:

- для сбора входных потоков имеются *терминальные мультиплексоры* (Terminal Multiplexer — TM);

- для транспортировки потоков по сети с возможностью ввода/вывода используются *мультиплексоры ввода/вывода* (Add/Drop Multiplexer — ADM);

- для коммутации SDH-потоков по первичной сети при изменении тяготений между узлами используются *кроссовые коммутаторы*;

- для объединения нескольких однотипных потоков используются *концентраторы*, позволяющие организовать ответвление от основного потока (или кольца), или наоборот подключение внешних ветвей;

- для увеличения допустимого расстояния между узлами используются *регенераторы* (аналог усилителей).

Можно выделить шесть различных функций, выполняемых коммутатором (рис. 3.6):

- *маршрутизация* (routing) виртуальных контейнеров, осуществляемая на основе использования информации в маршрутном заголовке PDH соответствующего контейнера (рис. 3.6, а);

- *объединение* виртуальных контейнеров, проводимое в режиме концентратора (рис. 3.6, б);

- трансляция потока к нескольким потребителям (циркулярная передача), осуществляемая по схеме точка — многоточка (рис. 3.6, в);
- сортировка или перегруппировка виртуальных контейнеров, например с целью выделения их из общего потока (рис. 3.6, г);
- доступ к виртуальному контейнеру, осуществляемый при тестировании оборудования (рис. 3.6, д);
- ввод/вывод виртуальных контейнеров (рис. 3.6, е).

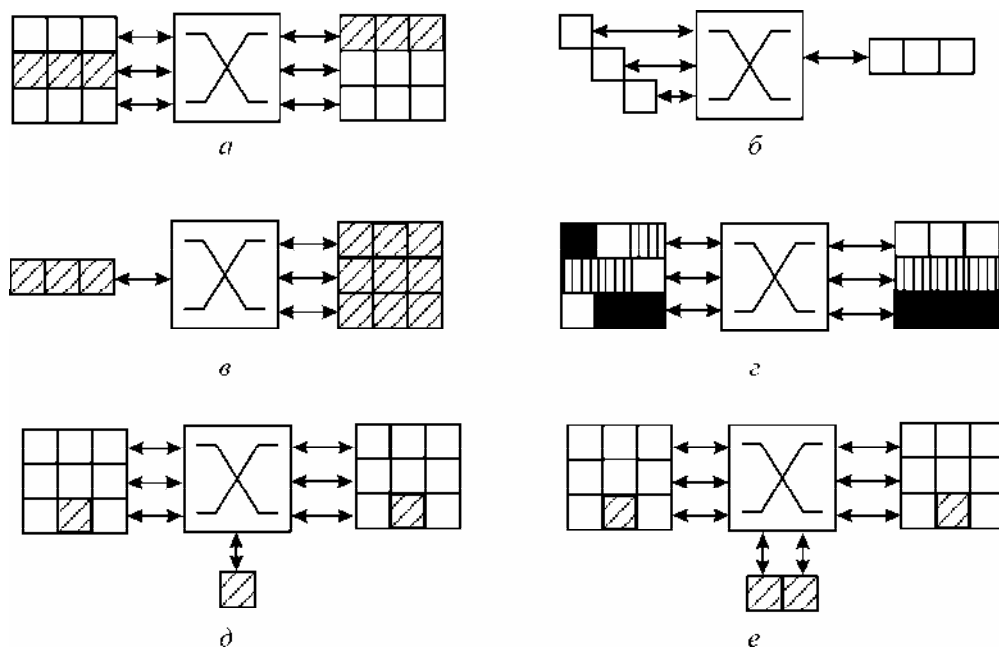


Рис. 3.6. Функции, выполняемые коммутатором в SDN:
а — маршрутизация; б — объединение; в — трансляция;
г — сортировка; д — доступ; е — ввод

Существует несколько основных (базовых, стандартных) топологий SDN: точка — точка, последовательная линейная цепь, звезда и кольцо. С помощью набора этих стандартных топологий можно составить топологию любой сети.

3.4. Цифровые системы передачи по абонентским линиям

Мы уже отмечали, что мировая ТфОП является одной из самых больших в мире открытых технических систем, а проведенные почти что во все дома мира абонентские телефонные медные линии — одной из ее самых важных частей. Сеть абонентского доступа, которую часто называют «последняя миля», претерпела значительные изменения в начале 1990-х гг., когда магистральные сети были уже высокоскоростными, а аналоговая абонентская линия, передающая данные с помощью модема на низкой скорости стала «горлышком бутылки», ограничивающим стремительное развитие таких услуг связи, как передача изображений с высоким качеством, высокоскоростная передача больших объемов данных, широковещательная проводная передача телевизионных программ [21].

Именно в начале 1990-х гг. появились технологии, позволяющие снять напряженность на участке абонентского доступа. Это, в первую очередь, технологии xDSL, позволяющие эффективно использовать старые абонентские медные линии, достигая скоростей и качества передачи, доступных лишь для волоконно-оптических линий связи.

Существует несколько вариантов xDSL:

- HDSL (High-data-rate Digital Subscriber Line) — высокоскоростная цифровая абонентская линия, которая организуется двумя модемами (один устанавливается у абонента, а другой на станции), соединенными двумя телефонными абонентскими линиями. При этом, как в ИКМ-30, обеспечивается симметричная дуплексная передача цифровых потоков со скоростью 2,048 Мбит/с. Для передачи используется четырехуровневое кодирование линейным кодом 2B1Q (ANSI). Так как затухание в кабеле возрастает с увеличением частоты, благодаря узкому спектру кода 2B1Q дальность передачи в HDSL значительно выше, чем в ИКМ-30. Оборудование HDSL применяется для работы по кабелю любого типа, главным для него являются параметры линии связи:

- затухание сигнала;
- нелинейность амплитудно-частотной характеристики;
- перекрестные наводки на ближнем и дальнем окончаниях;
- радиочастотная интерференция;
- групповое время задержки.

- SDSL (Single-line Digital Subscriber Line) представляет собой однопарную версию HDSL. Она обеспечивает симметричную дуплексную передачу цифрового потока со скоростью 2048 кбит/с по одной паре телефонного кабеля.

- ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line) — ассиметричная цифровая абонентская линия. Эти системы возникли при предоставлении услуги «видео по запросу», которая позволяет абоненту выбрать из библиотеки видеозаписей фильм для просмотра или предоставить дистанционно обучаемому студенту фильм по заданной теме. При этих услугах скорость ассиметрична: от сети к абоненту до 9 Мбит/с, а от абонента к сети — до 1 Мбит/с. Максимальная длина линии при этом составляет 5,5 км.

- RADSL (Rate-adaptive ADSL) — ADSL с адаптируемой скоростью позволяет управлять скоростью передачи и за счет этого достигать максимальной пропускной способности в реальных условиях.

- VDSL (Very-high-data-rate Digital Subscriber Line) — сверхскоростная цифровая абонентская линия со скоростью передачи до 52,8 Мбит/с, основанная на модуляции DMT, разработанной ANSI.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Какой должна быть частота дискретизации при оцифровке записей концертов симфонической музыки? Сколько стандартных цифровых телефонных каналов займет передача такого концерта в цифровом виде?

2. Какой будет скорость оцифрованного телефонного сигнала, если отчеты закодировать семибитными последовательностями? Какой будет скорость, если в телефонном сигнале принять $F_{\max} = 3,5$ кГц?

3. Чему равна длина одного слота в СП ИКМ-30/32? За какое время в ИКМ-30/32 передается один импульс?

4. Зачем нужно компандирование?

5. Почему при передаче по линии цифровые сигналы кодируются тринарными кодами? Какой из кодов имеет наибольшую избыточность?

6. Закодируйте последовательность двоичных чисел, отображающих сегодняшнее число, месяц и год, с помощью кода 4B3T с двумя модами и с помощью кода 4B3T типа FOGOT.

7. Возможны ли переходы между различными иерархическими схемами PDH без расширения до первичных потоков?

8. Сколько бит в потоке E_4 используется для выравнивания каждого потока E_2 ?
9. В чем принципиальное отличие СП SDH от СП PDH?
10. Всегда ли группирование контейнеров осуществляется по жесткой схеме?
11. Какой объем (в %) занимают заголовки в STM-1?
12. Какое мультиплексирование может применяться при формировании потока STM-N?
13. Какие типы функциональных модулей используются при построении сетей SDH?
14. С помощью каких стандартных топологий строятся сети SDH?
15. Сколькими пакетами передается одна секунда речи?
16. Сколько линий VDSL можно подключить к потоку STM-1?
17. В чем различие систем HDSL и ADSL?

4. СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ

Первые системы коммутации были механическими и работали с пространственным разделением каналов [11]. Сначала появились декадно-шаговые АТС — ДШАТС (первое десятилетие XX века), построенные на шаговых и декадно-шаговых искателях. Это были АТС с непосредственным управлением, в них не было специальных управляющих устройств, коммутационными приборами управляли самими абоненты. Искатели «шагали» под действием импульсов, которые абонент посылал с телефонного аппарата.

Затем возникла идея осуществлять коммутацию в точках пересечения координатных реек. В середине двадцатых годов XX века во Франции появились координатные станции — АТСК, в которых использовались многократные координатные соединители — МКС, работающие под управлением специальных устройств управления — *маркеров*. В этих станциях впервые были применены запоминающие устройства — *регистры*, которые запоминали вызываемый номер. Маркеры взаимодействовали с регистрами и управляли установлением соединения в АТСК. Первоначально схемы маркеров и регистров строили с помощью различных реле, с появлением электронных приборов для этого стали применять диоды и транзисторы.

Появление ЭВМ сразу навело разработчиков коммутационной техники на идею использования их для управления АТС. Но они пытались перенести в электронные АТС идеологию пространственных систем коммутации — искали способы замены механического контакта на электронный. А электронные контакты (диоды, другие электронные ключи) имели на низких частотах очень большое сопротивление. В середине пятидесятых годов XX века появились квазиэлектронные АТС — КЭАТС, в которых использовалось механическое коммутационное поле, построенное на герконах (герметичных контактах), а управление было электронным, соединения осуществлялись с помощью ЭВМ.

Полностью цифровые АТС (ЦАТС) появились только после внедрения цифровых СП, основанных на TDMA — систем ИКМ, на которых были построены временные цифровые коммутаторы.

В большинстве систем коммутации можно выделить следующие виды оборудования:

- *оборудование для подключения различных а.л.* — модули аналоговых а.л. (МАЛ) и модули цифровых а.л. (МЦЛ);

- *оборудование для подключения цифровых с.л.* — цифровые линейные комплекты (ЦЛК);

- *оборудование коммутации разговорных каналов* — *коммутационная система* (КС);

- *оборудование для управления системой коммутации* — *управляющее устройство* (УУ).

Процессы установления соединений осуществляются с помощью сигналов *телефонной сигнализации*.

Оборудование для подключения а.л. было частично рассмотрено в гл. 2, а в данной главе мы рассмотрим принципы построения КС и УУ для ЦАТС и опишем для примера цифровую систему коммутации типа EWSD фирмы Siemens.

4.1. Принципы построения коммутационных систем и их блоков

Коммутационные системы, используемые в УК, характеризуются емкостью (числом входящих N и исходящих M каналов), они строятся из стандартных коммутационных блоков (КБ). Цифровые КС используют временной и пространственный принципы построения КБ.

Временной коммутатор (Time Switch Module — TSM), или временной КБ, при коммутации изменяет временную позицию канала, соответственно, при этом сигнал получает некоторую задержку. Рассмотрим принцип синхронной временной коммутации (рис. 4.1, а). Сигналы каждого ВрК поступают на вход временного КБ из входящей ИКМ-линии (ИКМ-32_{вх}). Внутри КБ скорость понижается за счет преобразования последовательного сигнала в параллельный. Для этого служит верхняя вспомогательная ячейка (ВЯ₁), которая накапливает 8 разрядов каждого ВрК, а затем параллельно записывает их в ячейку буферного запоминающего устройства (БЗУ), соответствующую номеру канала в ИКМ-32_{вх}. Все операции по записи в БЗУ происходят в первой половине следующего ВрК, т. е. имеется сдвиг на один ВрК, который в дальнейшем не рассматривается.

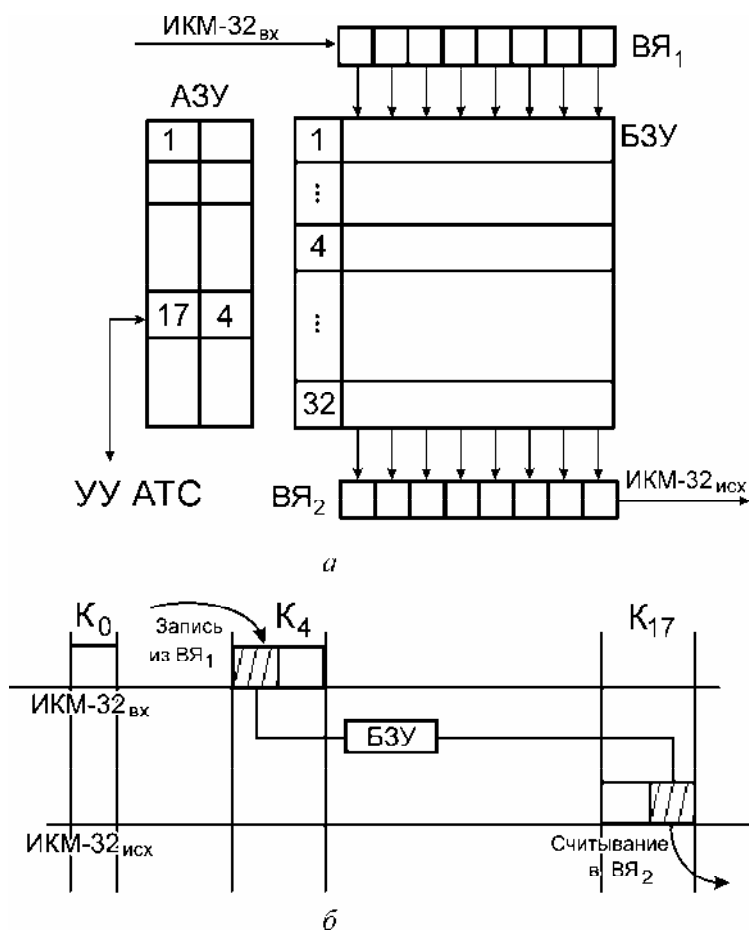


Рис. 4.1. Принципы построения временного коммутатора:
 а — схема синхронной временной коммутации;
 б — упрощенная временная диаграмма соединения

Номера ВрК в исходящей ИКМ-линии (ИКМ-32_{исх}), в которые должна быть считана входящая информация, задаются с помощью адресного ЗУ (АЗУ). Порядок ячеек в нем соответствует расположению ВрК в ИКМ-32_{исх}. В каждую ячейку АЗУ записывается номер ячейки БЗУ, откуда нужно считать информацию. В указанный в АЗУ момент времени информация из БЗУ считывается параллельно в нижнюю вспомогательную ячейку (ВЯ₂), а затем последовательно в соответствующий канал ИКМ-32_{исх}. Таким образом организован временной коммутатор, имеющий 32 входа и 32 выхода.

Рассмотрим процесс установления соединения в этом коммутаторе. Например, необходимо соединить 4-й вход с 17-м выходом. Во время 4-го ВрК его 8 бит выстраиваются в

верхней ВЯ₁, а затем параллельно записываются в 4-ю ячейку БЗУ. При этом в 17-ю ячейку АЗУ записывается цифра 4. Когда наступит время 17-го ВрК, в его второй половине времени сигнал из 4-й ячейки БЗУ будет считан в нижнюю ВЯ₂, а затем вставлен в 17-й ВрК ИКМ-32_{исх}. При этом сигнал получит задержку на 14 ВрК. Упрощенная временная диаграмма установления соединения показана на рис. 4.1, б.

Емкость временного коммутатора ограничена скоростью передачи импульсов. На первичной скорости потока E_1 можно построить КБ емкостью 32×32 ВрК, в котором импульсы записываются из ВЯ₁ в БЗУ и считываются из БЗУ в ВЯ₂ за время $t = 1,95$ мкс. Для построения больших УК необходимо увеличить емкость временного коммутатора. Это можно осуществить двумя способами: за счет увеличения скорости и за счет «распараллеливания» импульсов одного временного канала.

Первый способ позволяет увеличить емкость за счет увеличения скорости, т. е. можно построить КБ на вторичной скорости потока E_2 , емкостью 128×128 ВрК, в котором уже $t = 0,49$ мкс. Для коммутационной системы 5ESS (США) был разработан КБ на третичной скорости — потоке E_3 емкостью 512×512 ВрК, но для передачи сигналов между такими КБ использовалось оптическое волокно, т. е. дополнительно происходила модуляция электрических сигналов в оптические и наоборот.

Второй способ увеличения емкости временных коммутаторов состоял в «распараллеливании» восьми импульсов ВрК при коммутации. При этом каждый импульс коммутировался в своем временном коммутаторе. Это позволит осуществить отдельную передачу отдельных символов из ячеек памяти и передавать кодовые группы восьми каналов по отдельным путям.

Объединение этих двоих способов позволило создать микросхему КБ временного коммутатора емкостью 512×512 ВрК, работающую со скоростью 8,192 Мбит/с, (рис. 4.2, а), на вход которого поступает четыре потока E_2 , на выходе также выходит четыре потока E_2 , блок позволяет соединять любой канал любого входного потока с любым каналом любого выходного потока.

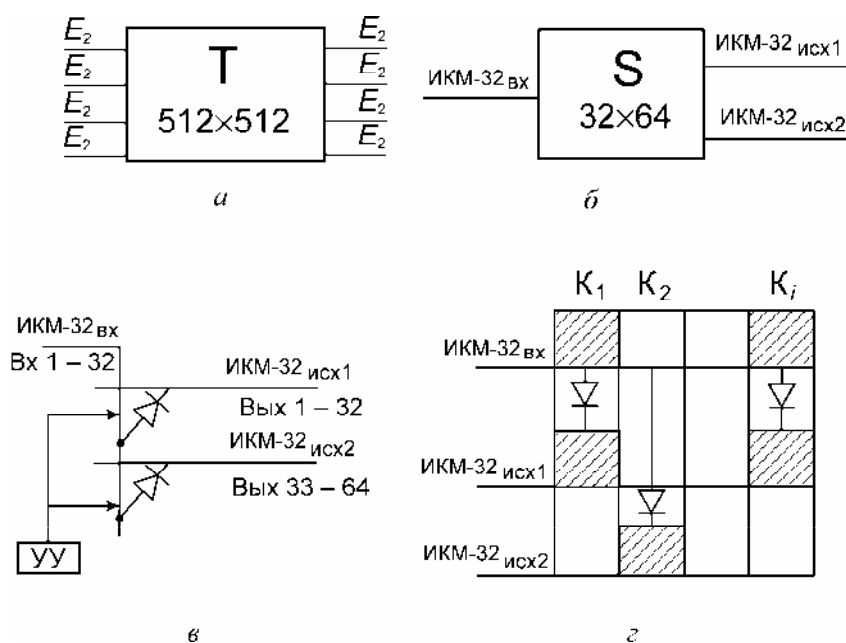


Рис. 4.2. Построение временных и пространственных КБ различной емкости: а — обозначение временного коммутатора 512×512 ; б — обозначение пространственного коммутатора 32×64 ; в — функциональная схема пространственного коммутатора 32×64 ; г — временная диаграмма работы пространственного коммутатора 32×64

Емкость современных ОУК и ТУК может составлять от 60 000 до 90 000 портов, поэтому применения временных коммутаторов недостаточно, необходимо применять также пространственные цифровые коммутаторы.

В КБ, осуществляющих пространственную цифровую коммутацию (Space Switch Module — SSM), временная позиция сигнала остается неизменной, сигнал просто переписывается из одного ИКМ-тракта в другой. То есть при пространственной коммутации каналу на входе доступны не все каналы на выходе, что характерно для неполнодоступных схем [11]. Например, нам необходимо создать КБ пространственного коммутатора емкостью 32×64 ВрК. Для этого нам потребуется одна ИКМ-32_{вх} и две ИКМ-32_{исх} (рис. 4.2, б). для соединения входящей и исходящих линий установим два диода (рис. 4.2, в), которые будут открываться в нужные для соединений моменты времени под действием управляющего устройства (УУ). Очевидно, что в этом случае 1-й вход можно соединить только с 1-м и 33-м выходами, 2-й вход — только со 2-м и 34-м выходами и т. д. (см. временную диаграмму на рис. 4.2, г). Неполнодоступность пространственных КБ привела к тому, что они могут использоваться только совместно с временными КБ, причем временные КБ всегда ставят на входе и на выходе КС. В зависимости от емкости КС можно применять схемы типа T-S-T (Time — Space — Time) или схемы типа T-S-S-S-T.

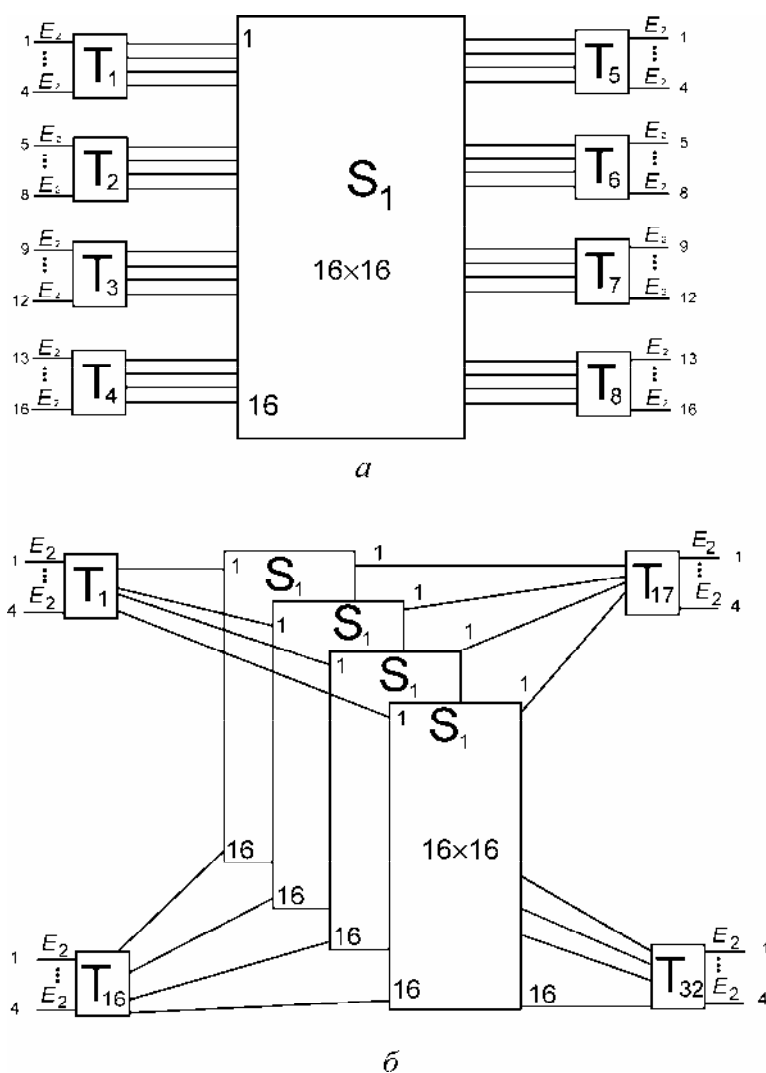


Рис. 4.3. Принципы построения КС цифровой системы EWSD фирмы Siemens:
 а — на 2048×2048 портов; б — на 8192×8192 портов

Для примера рассмотрим построение КС цифровой системы коммутации EWSD фирмы Siemens. Для этого используются временные КБ — Т емкостью 512×512 ВрК и пространственные КБ трех типов: S_1 емкостью $16 \times 16 E_2$; S_2 емкостью $8 \times 15 E_2$; S_3 емкостью $15 \times 8 E_2$. Минимальная КС емкостью 2048×2048 ВрК (портов со скоростью 64 кбит/с) показана на рис. 4.3, а. Для ее построения необходимо 8 КБ Т и 1 КБ S_1 . Максимальная емкость КС типа Т-S-T может составить 8192×8192 порта, здесь имеется четыре плоскости S_1 , от каждого коммутатора к каждой плоскости пойдет только один поток E_2 (рис. 4.3, б). Для построения КС большей емкости необходимо уже три пространственных звена.

Минимальная КС типа Т-S-S-S-T имеет емкость 16384×16384 порта. Для ее построения необходимо 64 КБ Т (32 на входе и 32 на выходе), 15 КБ S_1 , 16 КБ S_2 и 16 КБ S_3 .

Максимальная емкость КС типа Т-S-S-S-T составляет 65536×65536 портов. Для ее построения используются четыре плоскости пространственных коммутаторов, в каждую из которых включено по одному выходу от временных коммутаторов. При этом необходимо 256 КБ Т (128 на входе и 128 на выходе), 60 КБ S_1 , 64 КБ S_2 и 64 КБ S_3 .

В настоящее время каждый коммутатор (Т, S_1 , S_2 или S_3) представляет собой микросхему, поэтому КС самой большой емкости занимает всего несколько плат.

4.2. Принципы построения управляющих устройств ЦАТС

Эволюция принципов построения УУ ЦАТС повторяет эволюцию ЭВМ. Первоначально управление на ЦАТС было *централизованным* (рис. 4.4, а). Для УУ построения применяли однопроцессорные ЭВМ, считалось даже, что это некоторые специализированные управляющие машины (ЭУМ). ЭУМ работала в многопрограммном режиме:

- сканировала а.л. с целью выявления вновь поступивших вызовов и определения состояния вызываемых абонентов;
- принимала номера, набираемые абонентами при исходящем соединении, подключаясь к МАЛ и МЦЛ;
- искала свободные с.л. в требуемых направлениях, подключаясь к ЦЛК;
- осуществляла соединения в КС между абонентами своей станции, или к абонентам других АТС, при этом ей приходилось искать свободные пути между КБ КС;
- проводила тарификацию разговоров, вела статистические наблюдения и т. д.

Очевидно, что ЭУМ должна была быть очень надежной. Поэтому всегда применяли дублирование: одна из машин работала в горячем резерве, а сравнивающее устройство (СУ) следило за правильностью работы УУ. Емкость ЦАТС при этом ограничивалась быстродействием УУ. Этот способ применялся в АТС типа МТ 20/25, ESS-1 и КЭАТС.

Появление микропроцессоров привело к созданию ЦАТС с *децентрализованным* принципом управления (рис. 4.4, б). Часть рутинных функций управления (сканирование а.л. и с.л., прием абонентского номера, поиск свободных путей в КС) была вынесена в периферийные управляющие устройства (ПУУ), расположенные непосредственно на различных модулях и выполненные на микропроцессорах. Они выполняли первичную обработку информации и передавали результаты в центральное управляющее устройство (ЦУУ), которое проводило только общие операции. При этом ЦУУ сначала базировались на однопроцессорной ЭВМ, а затем стали применяться многопроцессорные комплексы. Этот принцип построения УУ ЦАТС в настоящее время является доминирующим, он применяется в большинстве современных станций.

Дальнейшее развитие вычислительной техники привело к тому, что функции ЦУУ все больше передавались в ПУУ, а затем ЦУУ стало не нужным. В настоящее время разработаны ЦАТС с *распределенным* принципом управления (рис. 4.4, в). Здесь все операции по управ-

лению распределены по ПУУ, которые связаны между собой в ЛВС. Очевидно, за этим принципом будущее.

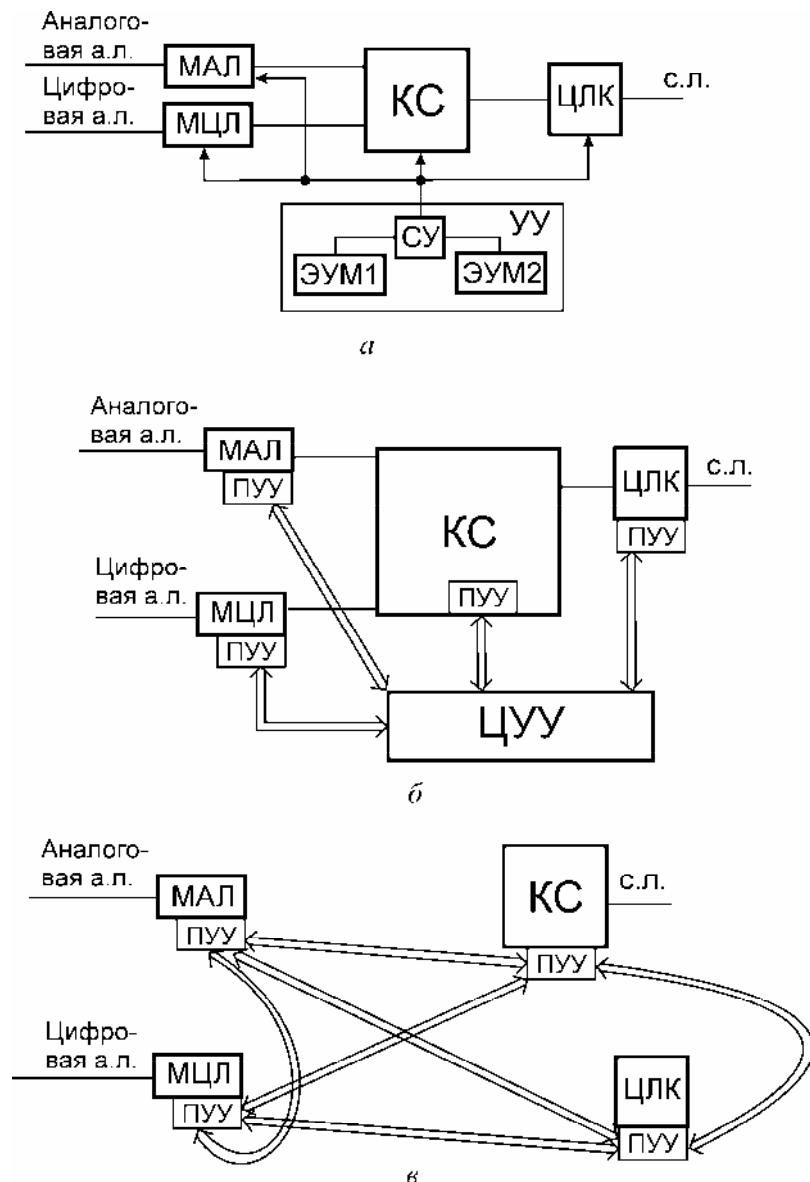


Рис. 4.4. Принципы построения управляющих устройств ЦАТС:
а — централизованный; *б* — децентрализованный; *в* — распределенный

4.3. Классификация систем телефонной сигнализации

Телефонная сигнализация — это способ взаимодействия двух удаленных объектов ТфОП. Принципы функционирования систем телефонной сигнализации зависят от способов построения КС и методов управления обслуживанием вызовов в коммутационных узлах и на станциях этих сетей, а также от технических средств организации межстанционных соединительных линий.

В зависимости от участка сети различают следующие виды сигнализации (рис. 4.5):

– *абонентская* (на участке между абонентским терминалом и коммутационной станцией);

– *внутристанционная* (между различными функциональными блоками внутри коммутационной станции) — на рис. 4.5 не показана;

– *межстанционная* (между различными узлами сети).

Внутристанционная сигнализация зависит от архитектуры и принципов построения системы коммутации, используемой элементной базы и является специфической для систем каждого типа.

Межстанционная сигнальная информация передается различными способами, которые можно разделить на три основных класса [4]:

– *способы передачи сигналов непосредственно по телефонному каналу* (разговорному тракту);

– *сигнализация по выделенному сигнальному каналу* (ВСК);

– *системы общеканальной сигнализации*.

До появления цифровых АТС с программным управлением все сигналы, необходимые для создания, поддержания и разрушения соединения, передавались по тому же тракту, что и речь, т. е. непосредственно по телефонным каналам. Этот способ также называют внутриволосной сигнализацией (in-band).

С появлением цифровых межстанционных соединительных линий (ИКМ) и при наличии на сети большого числа механических АТС, распространился способ сигнализации по 16-му выделенному сигнальному каналу тракта ИКМ (ВСК). С начала 1980-х гг. в мире началась модернизация ТфОП. В это время фирма А. Белла разработала систему общеканальной межстанционной сигнализации (ОКС). Здесь для обмена между управляющими ЭВМ станций служебными сигналами используется специальный канал передачи данных — сигнальный канал, общий для некоторой группы межстанционных каналов. Сигналы обо всех соединениях передаются по этому каналу в соответствии со своими адресами; при этом используется система с ожиданием с общим буфером. Системы телефонной сигнализации будут подробно описаны в гл. 5.

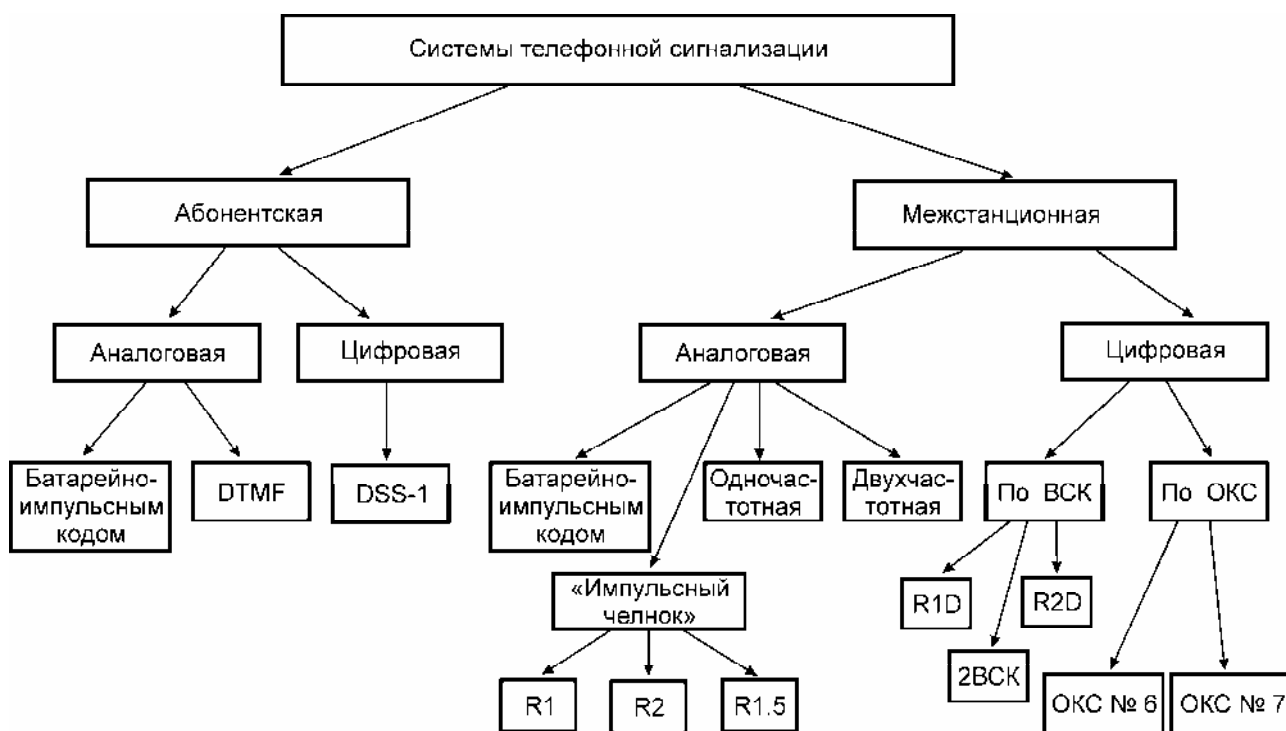


Рис. 4.5. Классификация систем телефонной сигнализации

4.4. Цифровая АТС типа EWSD

Рассмотрим цифровую АТС на примере АТС типа EWSD фирмы Siemens. Во-первых, это типичная схема цифровой АТС с децентрализованным управлением (аналогичные схемы имеют АТС типа АХЕ-10, DX-200 и др.), во-вторых, эта система является одной из самых распространенных в России. Она широко применяется на городских, междугородных, международных сетях, сетях подвижной связи.

Первая из таких станций введена в эксплуатацию в 1981 г. на сетях Южной Африки. В 1987 г. на ее базе начали предоставлять услуги ISDN, а в 1992 г. в EWSD была реализована поддержка АТМ и широкополосного ISDN. Система является морально не стареющей. Введение новых функций осуществляется программным обеспечением. Система поддерживает все виды телефонной сигнализации: R1.5, R2D, ОКС № 7. Для поддержки более старых систем сигнализации (двухчастотная, одночастотная шаговая и т. д.) необходима покупка дополнительного программного обеспечения.

Механическая конструкция АТС обеспечивает простой и быстрый монтаж, экономичное техобслуживание и гибкое расширение системы. Ее главными блоками являются съемные модули стандартизированных размеров, модульные кассеты, в которых модули устанавливаются с передней стороны, а кабели — с задней, стивы с защитной обшивкой, организованные в стивные ряды.

4.4.1. Области применения системы

Цифровые телефонные станции типа EWSD имеют различные области применения:

1. **Местная телефонная станция.** Число абонентов, подключенных к телефонной станции EWSD, может быть как малым (несколько сотен), так и большим (до 350 тыс.).

2. **Транзитный узел коммутации (ТУК).** К транзитной городской или междугородной телефонной станции, а также коммутатору подвижной связи типа EWSD может быть подключено до 60 тыс. входящих, исходящих или двухсторонних соединительных линий. EWSD обеспечивает выполнение всех специальных функций, используемых в международных телефонных станциях, таких как международные системы сигнализации, эхокомпенсация на межконтинентальных соединениях и спутниковых каналах связи, а также сбор статистических данных по расчету с администрациями предприятий связи других стран. Эти функции при необходимости могут быть включены также в национальные телефонные станции.

3. **Опорно-транзитная телефонная станция (ОТАТС).** Эти станции обрабатывают транзитную или междугородную нагрузку, а также входящую и исходящую местную нагрузку. Количество абонентских и соединительных линий определяется максимальной возможной нагрузкой 25 000 Эрл.

4. **Сельская/контейнерная телефонная станция.** Для малонаселенных районов предусмотрены компактные сельские телефонные станции, обслуживающие от нескольких сотен до 7 тыс. абонентов. Сельские телефонные станции укомплектованы кроссом, блоками электропитания и кондиционерами воздуха. Эти станции могут быть также смонтированы в контейнерах. К телефонной станции в контейнерном исполнении можно подключить до 6 тыс. абонентов.

Телефонные станции EWSD могут эксплуатироваться и обслуживаться как на местах, так и из общего центра эксплуатации и техобслуживания (ОМС). Эксплуатация и техобслуживание нескольких телефонных станций EWSD из одного центра позволяют рационально размещать персонал, гибко приспосабливаться к организационным структурам телефонных компаний и централизованно хранить данные.

4.4.2. Функциональная схема EWSD

Функциональная схема АТС типа EWSD показана на рис. 4.6. Аппаратное обеспечение станции построено по модульному принципу. Модули имеют четко определенные интерфейсы, что позволяет строить множество гибких комбинаций для всех областей применения. Имеется пять основных типов модулей:

- цифровые абонентские блоки (DLU) для подключения аналоговых и цифровых абонентов;
- линейные коммутационные модули (LTG) для подключения модулей DLU и комплектов цифровых соединительных линий;
- цифровое коммутационное поле (SN) (см. разд. 4.1);
- управляющее устройство сети сигнализации по общему каналу (CCNC);
- УУ — координационный процессор (CP).

Станция построена по децентрализованному принципу управления. Каждый модуль имеет по крайней мере один собственный микропроцессор.

Программное обеспечение (ПО) ЦАТС организовано с ориентацией на выполнение определенных задач соответственно подсистемам EWSD. Внутри подсистемы ПО имеет функциональную структуру. Операционная система станции состоит из программ, приближенных к аппаратным средствам и обычно являющихся одинаковыми. Программы пользователя зависят от конкретного проекта и варьируются в зависимости от конфигурации станции. Современная автоматизированная технология, жесткие правила разработки ПО, а также язык программирования CHILL (в соответствии с рекомендациями ITU-T) обеспечивают функциональную ориентированность программ, а также поэтапный контроль процесса их разработки.

Абонентский доступ. Абоненты подключаются к системе EWSD через цифровые абонентские блоки (DLU). Блоки DLU могут размещаться как на самой станции, так и дистанционно, на удалении от нее. Удаленные DLU — RDLU — используют в качестве концентраторов, их устанавливают вблизи групп абонентов. Внутри DLU размещаются модули абонентских линий (SLM), это могут быть SLMA для подключения аналоговых абонентских линий и/или SLMD для подключения абонентских линий ЦСИО.

Емкость одного DLU — до 952 абонентских линий, в зависимости от их типа (аналоговые, ISDN), предусмотренных функциональных блоков и требуемых значений коэффициента сжатия входящего трафика. Сжатие может происходить с коэффициентами 10:1; 6:1; 4:1; 2:1. Кроме того, в настоящее время используют новую разработку DLUB — компактный абонентский блок. К нему может быть подключено до 880 аналоговых абонентских линий.

К DLU можно подключать аналоговые абонентские линии как от телефонных аппаратов с батарейно-импульсным набором номера, так и с тональным набором номера, а также линии от монетных таксофонов, аналоговых учрежденческих АТС — PABX, цифровых PABX малой и средней емкости и абонентские линии для базового доступа ISDN. Модули абонентских линий (SLM) являются наименьшей единицей наращивания цифрового абонентского блока. В зависимости от типа модуля DLU может содержать 8 или 16 комплектов SLM.

DLU можно подключать к линейным коммутационным модулям различного типа — LTGB, LTGF, LTGG, LTGM (тип LTG зависит от его функций) — в зависимости от предусмотренной в нем степени сжатия по одной, двум или четырем трактам ИКМ-30 (E_1).

Высокая эксплуатационная надежность достигается благодаря подключению DLUB к двум LTG, дублированию компонентов DLU, выполняющих центральные функции и работающих с разделением нагрузки, постоянному самоконтролю. При одновременном отказе всех первичных цифровых систем передачи цифрового абонентского блока гарантируется, что все абоненты этого цифрового абонентского блока еще смогут звонить друг другу (аварийная работа DLU).

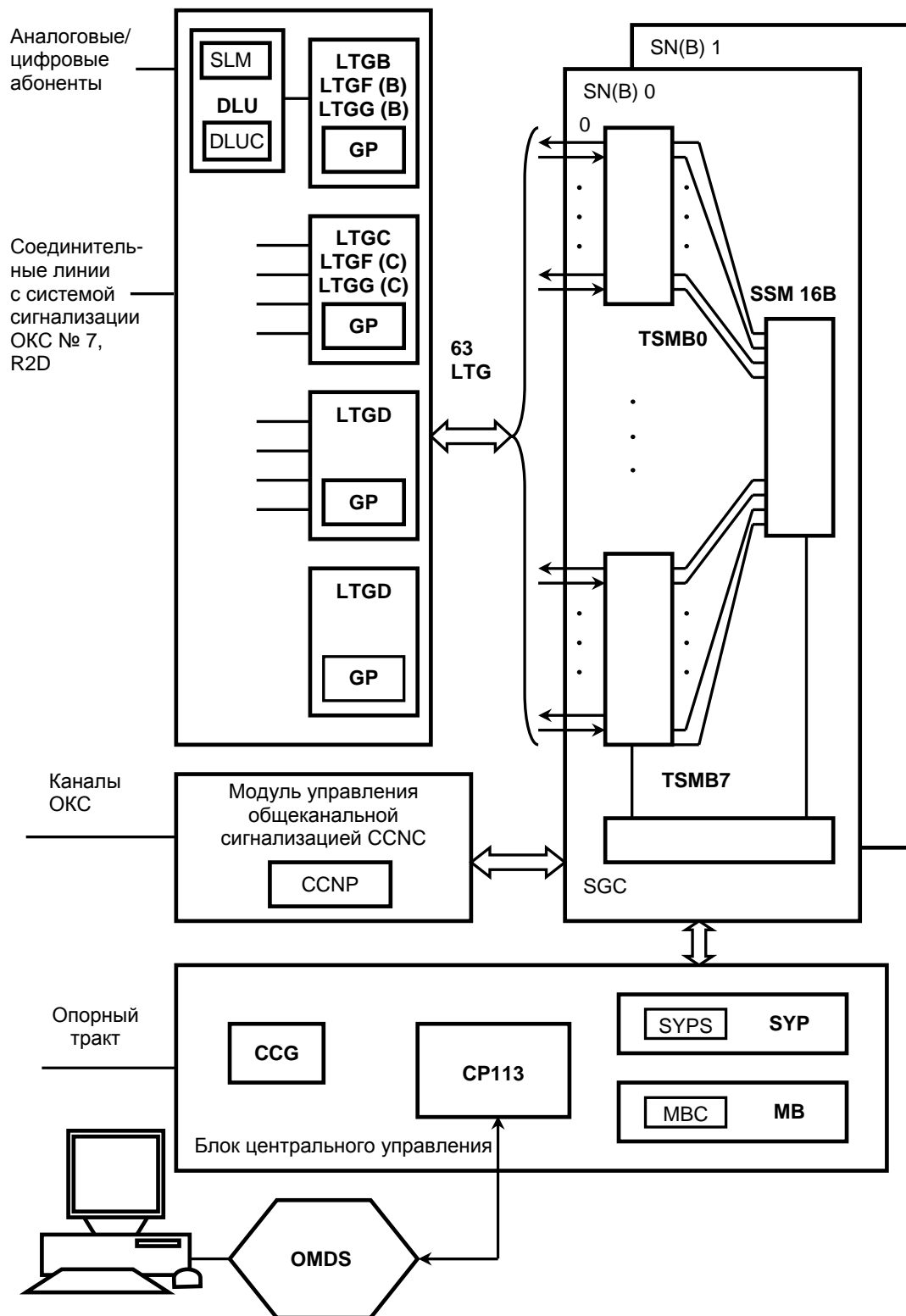


Рис. 4.6. Функциональная схема АТС типа EWSD

Подключение цифровых с.л. Линейные коммутационные модули LTG создают интерфейс между а.л. и с.л. и цифровым коммутационным полем. Все линейные коммутационные модули выполняют функции обработки вызовов, внутренней коммутации, а также функции эксплуатации и техобслуживания.

Каждая линейная группа содержит следующие функциональные единицы:

- групповой процессор (GP);
- групповой коммутатор (GS);
- интерфейс соединения с коммутационным полем (LIU);
- сигнальный комплект (SU) для подачи абоненту акустических сигналов, напряжений постоянного тока для питания микрофонов, обработки сигналов многочастотного набора и тестирования абонентских комплектов;
- цифровые интерфейсы (DIU).

Для оптимальной реализации подключения различных типов линий и процедур сигнализации разработано несколько типов линейных коммутационных модулей.

Для подключения DLU могут использоваться LTG типа В, которые могут подключаться как магистральные цифровые соединительные линии (E_1), так и цифровые абонентские блоки (DLU).

Линии доступа на первичной скорости (PRA) для включения учрежденческих АТС (РАВХ) подключаются непосредственно в LTG типа В, F или G.

Соединительные линии к другим станциям (или от них) могут подключаться в LTG типа В или С (причем в LTGC включаются только цифровые соединительные линии). Соединительные линии к отдаленным УАК или к станциям спутниковой связи подключаются в линейный коммутационный модуль LTGD, где предусмотрена активизация эхоподавителей.

Подключение рабочих мест телефонисток осуществляется через LTGB или LTGG.

Линейный коммутационный модуль типа Н (LTGH) представляет собой особый, новый вариант LTG. Его используют в коммутационных станциях, в которых абоненты сети ISDN применяют канал D для коммутации пакетов.

Вышеуказанные варианты LTG, предназначенные для различных типов подключаемых линий, имеют единый принцип построения и одинаковый принцип действия. Они отличаются друг от друга только отдельными аппаратными блоками и специальными программами в групповом процессоре (GP). Линейные коммутационные модули типа G (LTGG) и типа М (LTGM) представляют собой новые разработки. На телефонной станции модуль линейной LTGG используется для автоответчиков и тестовых функций.

Коммутационное поле соединяет подсистемы LTG, CP и CCNC друг с другом. Оно обеспечивает полнодоступность всех соединений.

Коммутационное поле EWSD описано в разд. 4.1. Добавим, что оно является дублированным и состоит из двух плоскостей (SN0 и SN1). Его главная задача — проключение соединений между группами LTG. Каждое соединение одновременно проключается через обе плоскости поля, так что в случае отказа в распоряжении всегда имеется резервное соединение.

В станции EWSD применяются коммутационные поля типов SN и SN(B).

Поле SN(B) представляет собой новую разработку. В нем применен ряд усовершенствований: более высокая доступность, сниженная потребляемая мощность и, как следствие, меньшая занимаемая площадь.

Благодаря модульному принципу построения коммутационное поле EWSD может комплектоваться частично (по мере необходимости) и постепенно расширяться. Каждая ступень емкости может наращиваться от минимальной конфигурации до максимальной.

Благодаря высокой скорости передачи данных коммутационное поле способно устанавливать соединения для различных видов служб связи (например, для телефонии, телетекса и передачи данных).

Управление. Как уже было отмечено выше, станция типа EWSD имеет децентрализованную систему управления: наряду с координационным процессором (CP), выполняющим функции ЦУУ, имеются ПУУ, построенные на микропроцессорах, такие как:

- групповой процессор (GP) в линейной группе (LTG);
- управляющее устройство цифрового абонентского блока (DLUC);

- процессор сигнализации по общему каналу (CCNP);
- управляющее устройство коммутационного поля (SGC)
- управляющее устройство буфера сообщений (MBC);
- управляющее устройство системной панели (SYPC).

При использовании станции в контейнерном исполнении применяется координационный процессор CP112. Он полностью дублирован. В больших станциях и транзитных узлах применяется координационный процессор CP113 или CP113C, представляющий собой многопроцессорную систему, емкость которой может наращиваться ступенями. Благодаря этому процессор может управлять станцией любой емкости. Его максимальная производительность по обработке вызовов составляет свыше 2 700 000 вызовов в час наибольшей нагрузки (ЧНН).

В CP113 два или несколько идентичных процессоров работают параллельно с разделением нагрузки. Главными функциональными блоками мультипроцессора являются: основной процессор для эксплуатации и технического обслуживания, а также обработки вызовов; процессор обработки вызовов, предназначенный только для обработки вызовов; оперативное запоминающее устройство; контроллер ввода / вывода; процессоры ввода / вывода.

К CP113 подключаются также большое число внешних устройств: буфер сообщений для координации внутреннего обмена информацией между CP, SN, LTG и CCNC в пределах одной станции; центральный генератор тактовой частоты для обеспечения синхронизации станции (и при необходимости сети); системная панель для индикации внутренней аварийной сигнализации, сообщений по рекомендации и загрузки CP; внешняя память для хранения программ и данных, которые не должны постоянно храниться в CP и всей системы прикладных программ для автоматического восстановления, данных по тарификации телефонных разговоров и измерению трафика, терминал для эксплуатации и технического обслуживания.

Панель SYP обеспечивает вывод текущей информации о рабочем состоянии системы. На панель также выводится внешняя аварийная сигнализация, например, пожар, выход из строя системы кондиционирования воздуха и прочее. Для контроля за всеми станциями одной зоны обслуживания в центре эксплуатации и техобслуживания (ОМС) может устанавливаться центральная системная панель (CSYP), на которую выводятся как акустические, так и визуальные аварийные сигналы и сообщения — рекомендации, поступающие со всех станций.

CP выполняет следующие функции: обработка вызовов, перевод цифр набираемого номера в коды сигнализации, управление маршрутизацией, выбор пути в коммутационном поле, учет стоимости телефонных разговоров, административное управление данными о пропущенном трафике, управление сетью.

Сигнализация по общему каналу. Станции EWSD с сигнализацией по общему каналу по системе № 7 ITU-T (CCS7) оборудованы специальным ПУУ — устройством сигнализации по общему каналу (CCNC). К CCNC можно подключить до 254 звеньев сигнализации через аналоговые или цифровые линии передачи данных. Для обеспечения надежности CCNC имеет дублированный процессор (процессор сети сигнализации по общему каналу, CCNP), который подключается к CP через систему шин, которая в свою очередь, также является дублированной.

4.5. Методы расчета коммутационных систем и других систем связи

4.5.1. Понятие о системах массового обслуживания

Для оценки характеристик качества функционирования действующих и проектируемых систем связи используются математические модели систем массового обслуживания (СМО) [10, 23]. Дадим *определение*: **СМО** — это такие системы, в которых случайный поток требований (заявок) встречает ограниченное число обслуживающих приборов. Приме-

рами СМО являются магазины, вокзалы, морские порты, аэропорты, телефонные станции, телекоммуникационные сети и т. д. Для всех этих СМО, появившихся в XIX и XX веках, была разработана *теория массового обслуживания* (ТМО) — один из разделов теории вероятностей. Предмет ТМО — установление зависимости между характером потока заявок, производительностью отдельного обслуживающего прибора, числом обслуживающих приборов и эффективностью (успешностью) обслуживания.

В зависимости от условий и целей задачи в качестве характеристик эффективности могут применяться различные величины и функции, например: средний процент заявок, получающих отказ и покидающих систему необслуженными; среднее время простоя отдельных каналов и системы в целом; среднее время ожидания в очереди; вероятность того, что поступившая заявка немедленно будет принята к обслуживанию. Каждая из этих характеристик описывает с той или другой стороны степень приспособленности системы к выполнению потока заявок, иными словами — ее пропускную способность.

Под пропускной способностью в узком смысле обычно понимают среднее число заявок, которое система может обслужить в единицу времени. Пропускная способность часто зависит не только от параметров системы, но и от характера потока заявок.

В СМО каждая заявка (далее вызов) характеризуется парой случайных величин (с.в.): 1-я с.в. — *время поступления* вызова (чтобы не привязываться к шкалам времени оценивают промежутки времени между поступлениями двух соседних вызовов) — t_i ; 2-я с.в. — *длительность* вызова τ_i .

В зависимости от характера распределений этих с.в. СМО делят на *простейшие* (пуассоновское распределение t_i и пуассоновское распределение τ_i), для которых возможно построение математической модели, позволяющей получить явное решение, и *сложные*, характеристики которых находятся только с помощью алгоритмического решения (например, рекуррентного анализа) или с помощью имитационного моделирования.

Каждая СМО описывается набором из пяти параметров: $A/B/m/r/N$, где A описывает закон распределения с.в. t_i ; B — закон распределения с.в. τ_i ; m — число обслуживающих приборов в СМО; r — число мест ожиданий для вызовов (в него будем включать и число обслуживающих приборов); N — число источников нагрузки (в нашем случае число абонентов, которым доступна данная система).

Параметры A и B могут принимать следующие значения:

M — простейший поток (Марковский — Markovian);

E_k — поток Эрланга k -го порядка;

D — регулярный (детерминированный, постоянный) поток;

G — распределение общего вида.

По способу обслуживания клиентов все СМО можно разделить на два больших класса: *СМО с отказами* (с явными потерями, выраженными процентом отказов) и *СМО с ожиданием* (здесь потери неявные, они выражены во времени ожидания обслуживания).

При бесконечном числе источников нагрузки $N = \infty$ в обозначении это число не указывают, *системы с отказами* обозначают как $A/B/m/m$. Если при этом в *системе с ожиданием* предполагается бесконечная очередь $r = \infty$, систему обозначают как $A/B/m$. При таком обозначении обычно предполагается, что в системе имеется общая очередь и требования обслуживаются в порядке очереди. Если же СМО характеризуется какими-либо особенностями, для них также дается дополнительное описание. Например, говорят «система $M/M/2$ с инверсным (последний пришел — первый обслужился) порядком обслуживания», или «система $M/G/4$ с приоритетным обслуживанием коротких вызовов».

Для расчетов телекоммуникационных СМО разработана специальная наука — теория телетрафика. В переводе с греческого «теле» означает «далеко», а «трафик» — перевезти. Теория телетрафика представляет собой общетехническую дисциплину, в которой изучаются

методы анализа и оптимального синтеза структурно-сложных систем распределения информации для передачи речи и данных, а также систем управления.

Основоположником теории телетрафика является датский ученый Карл Эрланг. Его основные работы появились в 1909–1920 гг.

В теории телетрафика используют понятие нагрузки (от англ. *traffic* — нагрузка). Согласно одному из определений, это суммарное время занятия всех обслуживающих приборов. Нас больше интересует такое понятие, как *интенсивность нагрузки*, т. е. нагрузка в единицу времени. В ТМО величину интенсивности нагрузки оценивают в эрлангах (Эрл). Один эрланг — это часозанятие за один час. Таким образом, если один абонент говорил по телефону 1 ч, при этом была создана нагрузка в 1 Эрл. Но если в течение этого часа говорили 20 абонентов, каждый по 3 мин, они тоже создали нагрузку 1 Эрл. Очевидно, что нагрузка на одну линию в течение часа не может превысить 1 Эрл.

Основное свойство нагрузки — аддитивность, нагрузка за различные периоды работы телекоммуникационной системы может складываться. Нагрузка подвержена резким колебаниям в течение суток, по временам года и т. п. Наблюдения за телефонной нагрузкой показывают, что наибольшая нагрузка приходится на 11–12 часов дня и на 19–20 часов вечера. При этом в эти периоды обслуживается 12...15 % суточной нагрузки. Это время носит название *часа наибольшей нагрузки* (ЧНН) (BHCA — Busy Hour Call Attempts).

4.5.2. Системы массового обслуживания с отказами

СМО с отказами рассматривается как физическая система с конечным множеством состояний. Введем некоторые допущения: 1) поток вызовов простейший с интенсивностью λ ; 2) время обслуживания каждого вызова показательное с параметром μ . Это позволит нам сделать вывод, что процесс, протекающий в СМО, является Марковским и для него можно составить дифференциальные уравнения состояний. Эти уравнения называются уравнениями Эрланга [24]. Решение уравнений в стационарном (установившемся) режиме даст нам *первую формулу Эрланга*:

$$p_{v,y} = E_v(y) = \frac{\frac{y^v}{v!}}{\sum_{i=0}^v \frac{y^i}{i!}},$$

где y — интенсивность поступающей нагрузки; v — число линий, или обслуживающих приборов. Эта формула позволяет определить долю времени занятости всех приборов (вероятность $p_{v,y}$). По ней подбором определяют число линий (приборов), обеспечивающих при известной нагрузке заданную норму потерь.

Даже при современных вычислительных средствах расчеты по первой формуле Эрланга очень громоздки и для ее использования применяют таблицы. Они имеются на кафедре «Защита информации».

Несмотря на то, что эта формула справедлива только при простейшем потоке заявок, ее можно с известным приближением использовать и в случае, когда поток заявок отличается от простейшего (например, является стационарным потоком с ограниченным последствием). Кроме того, эту формулу можно использовать и для расчета систем с постоянным временем обслуживания. Но она будет давать верхнюю (завышенную) оценку.

В системах с отказами различают: *потери по времени* — доля времени в течение которого появляются блокировки в телекоммуникационной системе к общему времени обслуживания; *потери по вызовам* — численно равны отношению потерянных вызовов к числу поступивших за определенное время; *потери по нагрузке* — численно равны отношению

потерянной нагрузки к поступившей. В модели Эрланга потери по времени, вызовам и нагрузке совпадают.

В зависимости от типа сети приняты различные нормы потерь. На ГТС суммарные потери от абонента до абонента не должны превышать 2,5 %, на междугородней сети — 0,1 %.

4.5.3. Системы массового обслуживания с ожиданием

В СМО с ожиданием вызов, заставший все каналы занятыми, становится в очередь и ждет, пока не освободится какой-нибудь канал. Если время ожидания заявки в очереди ничем не ограничено, то мы имеем дело с чистой системой с ожиданием. Если же ожидание ограничено какими-либо условиями, то мы имеем дело с системой смешанного типа, в которой присутствуют и ожидание, и отказы. Часто такие системы называют комбинированными, они являются промежуточными между чистой системой с отказами и чистой системой с ожиданием.

В этом случае потери по времени равны вероятности того, что все линии заняты. Для оценки систем с ожиданием служит *вторая формула Эрланга*

$$P_t = P(\gamma > 0) = \frac{E_v(y)}{1 - \frac{y}{v}(1 - E_v(y))},$$

где $E_v(y)$ — вероятность потерь в аналогичной системе с отказами, определенная по первой формуле Эрланга.

В общем случае вероятность потерь в системе без ожидания меньше вероятности ожидания начала обслуживания в системе с ожиданием. Это объясняется тем, что вызовы не покидают системы с ожиданием. В настоящее время наиболее исследованы одноканальные СМО с ожиданием.

Формулы для систем $M/M/1$ и $M/G/1$ можно найти в [10].

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Назовите виды оборудования, присутствующие в любой системе коммутации.
2. Всегда ли временной коммутатор вносит постоянную задержку в сигнал?
3. Зачем нужны во временном коммутаторе ВЯ₁ и ВЯ₂?
4. Временные коммутаторы какой емкости можно создать, используя европейские СП?
5. Является ли пространственный коммутатор полнодоступным?
6. Сколько пространственных коммутаторов S_1 , S_2 и S_3 используется при построении КС типа Т-S-S-S-T емкостью 32768×32768 портов?
7. Почему при централизованном способе управления на АТСЭ ЭУМ полностью дублировалась?
8. Какие меры по увеличению надежности нужно предпринять в децентрализованной управляющей системе ЦАТС, если ЦУУ выполнено в виде многомашинного комплекса?
9. Какое ПУУ должно выполнять функции администрирования управляющей ЛВС при распределенном способе построения системы управления в ЦАТС?
10. В каком блоке EWSD будет установлено дополнительное программное обеспечение для поддержки старых систем сигнализации?
11. Какие требования по надежности Вы предъявили бы к АТС в контейнерном исполнении?

12. Какие основные типы модулей используются в АТС типа EWSD?
13. В чем особенности построения ПО в АТС типа EWSD?
14. Почему на ступени абонентского доступа применяется сжатие трафика с различными коэффициентами?
15. Чем определяется тип LTG?
16. Как в EWSD включаются PABX?
17. Как оператор дежурной смены осуществляет техническую эксплуатацию АТС типа EWSD?
18. Приведите примеры СМО.
19. Абонент говорил 3, 6, 9, 12, 40 мин. Какова созданная при этом нагрузка?
20. Обозначьте СМО с отказами, имеющую один обслуживающий прибор, на вход которой поступает простейший поток заявок и каждая заявка обслуживается одно и то же строго определенное время.
21. Обозначьте СМО с ожиданием, имеющую три обслуживающих прибора, которой может воспользоваться: а) любой гражданин города, б) любой сотрудник небольшого офиса.
22. Объясните физический смысл 1 Эрл.
23. В каких случаях применяют первую формулу Эрланга?

5. СИГНАЛИЗАЦИЯ В СЕТЯХ СВЯЗИ

В первых телефонных сетях соединение устанавливалось вручную: вызывающий абонент сообщал телефонистке номер вызываемого абонента, при междугородних и международных соединениях телефонистки передавали номер эстафетно. После внедрения АТС для передачи номера между абонентом и оконечной станцией и между различными транзитными узлами были разработаны *системы телефонной сигнализации*, определяющие набор правил взаимодействия абонентов с сетью и междоузеловое взаимодействие коммутационных узлов. В 70-е годы XX века создатели сетей ЭВМ назвали аналогичные правила протоколами.

Как было отмечено ранее (см. рис. 4.5), имеются две основные системы телефонной сигнализации: *абонентская* и *межстанционная*. Каждую из этих систем, в свою очередь, делят на *аналоговую* и *цифровую*.

5.1. Аналоговые системы абонентской телефонной сигнализации

Повсеместное распространение аналоговых абонентских телефонных линий в мире, а особенно в России, вызвано тем, что они обладают малым затуханием, их длина может достигать 7 км.

Старейшим способом абонентской сигнализации является *батареино-импульсный*, при котором шлейф абонентской линии замыкается и размыкается, передавая серии импульсов. Каждая цифра представлена соответствующим количеством импульсов в серии. Нормальная скорость передачи — 10 импульсов в секунду. Формат импульса различен в различных национальных сетях: в Европе отношение паузы (т. е. времени, в течение которого шлейф замкнут) к посылке (т. е. времени, в течение которого шлейф разомкнут) составляет 50:50, в России 60:40; в Южной Америке 67,7:33,3.

В 1960 г. был разработан многочастотный способ передачи абонентских сигналов DTMF (Dual-Tone Multiple-Frequency — Q.231 ITU-T), или тональный набор. Однако реальное распространение он получил в 1980-е гг., когда микросхему, реализующую этот способ, стали применять во всех телефонных аппаратах. При этом способе каждая цифра набираемого номера передается двумя сигналами тональной частоты: одна выбирается из нижней, а вторая — из верхней группы частот (рис. 5.1). Частоты в так называемой нижней частотной группе равны 697, 770, 852 и 941 Гц, а в верхней частотной группе — 1209, 1336, 1447 и 1663 Гц. Частоты в DTMF подобраны негармонически. Для приема сигналов DTMF на АТС должны быть установлены специальные приемники тонального набора.

Таким образом, аналоговая двухпроводная абонентская линия до сих пор является наиболее массовым телефонным интерфейсом.

Абонентские комплекты аналоговых абонентских линий современных АТС — МАЛ — выполняют набор функций, первые буквы которых составляют аббревиатуру BORSCHT [21]. Это означает:

В (Battary) — питание оконечного устройства и станционных выносов, которое обеспечивается от АТС. В России это питание осуществляется постоянным напряжением 60 В. В большинстве стран мира стандартизировано напряжение 48 В;

О (Overvoltage) — защита технических средств от опасных напряжений, вызванных соприкосновением с линией высокого напряжения, молний и т. п.;

R (Ringing) — функции послышки вызова абонентскому устройству. Каденции (длительности посылок и пауз) могут задаваться непосредственно внутри МАЛ. В России используют сигналы с частотой 25 Гц и напряжением до 95 В, рассчитанным на подключение трех параллельных телефонных аппаратов. Каденция местного вызова предусматривает 1 с вызова и 4 с паузы. Для автоматического междугородного вызова каденция паузы сокращена до 2 с. В США, Канаде и большинстве стран Европы сигнал вызова имеет частоту 20 Гц и состоит из посылок длительностью 2 с и пауз длительностью 4 с;

S (Signalling) — сигнализация по абонентской линии между АТС и оконечным устройством. Это описанные выше либо батарейно-импульсный способ, либо тональный набор;

C (Coding) — кодирование/декодирование (АЦП/ЦАП) полученных от абонента речевых аналоговых сигналов, здесь же могут применяться кодеры;

H (Hibrid) — переход с помощью дифсистемы от двухпроводной схемы двунаправленной передачи сигналов (симплексная передача) в четырехпроводную с разделением передающей и приемной цепей (дуплексная передача) и в обратную сторону — переход от двух направлений передачи при полной дуплексной связи к двухпроводной абонентской линии с устранением эхо-сигналов;

T (Testing) — ручной или автоматический контроль системы подключения абонентов и абонентского устройства с помощью контрольно-проверочной аппаратуры или обслуживающего персонала.

		Группа верхних частот (Гц)			
		1209	1336	1477	1633
Группа нижних частот (Гц)	697	1	2	3	A
	770	4	5	6	B
	852	7	8	9	C
	941	*	0	#	D

Рис. 5.1. Принцип частотного (тонального) набора номера

5.2. Цифровые системы абонентской телефонной сигнализации

Цифровая абонентская телефонная сигнализация впервые появилась в цифровых сетях интегрального обслуживания — ЦСИО (см. разд. 2.3). На рис. 2.10 изображено подключение абонента ЦСИО к узлу коммутации. Между сетевым окончанием (NT) абонента и стационарным линейным окончанием (LT) при активизации абонента происходит непрерывная передача цифровых сигналов в обоих направлениях со скоростью 192 кбит/с (рис. 5.2). Среди этих сигналов передается информация двух основных (базовых) каналов В по 64 кбит/с и одного сигнального канала D со скоростью 16 кбит/с, служебная информация для синхронизации и техобслуживания физического уровня передается со скоростью 48 кбит/с ($64 + 64 + 16 + 48 = 192$ кбит/с).

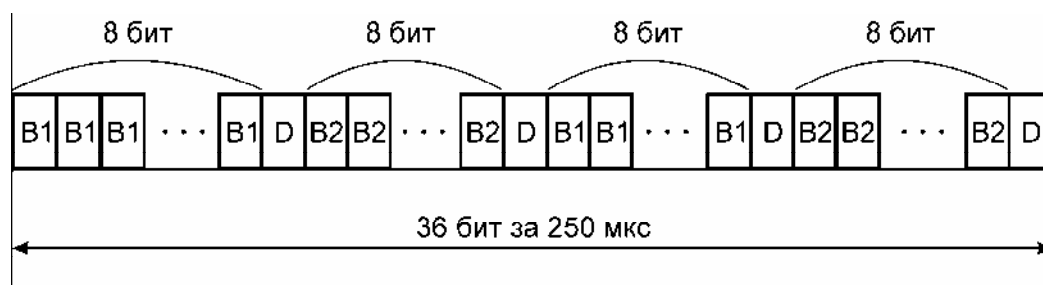


Рис. 5.2. Структура цикла абонентского доступа между NT и LT

Циклы имеют длину 250 мкс и передают по 48 бит. Среди этих 48 бит передается 16 бит канала В1 (два раза по 8), 16 бит канала В2 (два раза по 8) 4 бита канала D и 12 служебных бит: F, N — основные и дополнительные биты цикловой синхронизации, L — бит симметрирования по постоянному току, E — бит эхозаграждения, A — бит активизации, M — бит сверхцикла, S — бит, используемый для служебных целей. Этот доступ называют базовым доступом ЦСИО (BRA — Base Rate Access) и обозначают 2B + D.

Для сигнального канала D сектор телекоммуникаций ITU-T разработал протокол цифровой абонентской сигнализации DSS-1 (Digital Subscriber Signaling). Его архитектура базируется на семиуровневой модели BOC и соответствует трем ее первым уровням. На уровне 1 выполняются функции формирования каналов В и D, на этом уровне подключаются терминалы и осуществляется их доступ к основным и служебным каналам, а также подача электропитания от АТС в случае отказа местного питания и обеспечение работы в режиме «точка — точка» и в широкополосном (циркулярном) режиме. На уровне 2 осуществляется управление соединениями от абонента и к абоненту. Протокол уровня 2 имеет название LAPD по аналогии с известным прикладным балансным протоколом звена (Link Application Protocol Balance — LAPB [25]. Здесь формируются кадры, которые могут передаваться с подтверждением (получением квитанции о доставке). При подтверждаемой передаче кадры нумеруются, используется механизм борьбы с перегрузками, ширина окна $W = 3$. Если обнаруживается ошибка или пропажа кадра, осуществляется его повторная передача. Уровень 3 поддерживает известные протоколы: протокол сигнализации для установления основных соединений (Q.931) и протокол передачи данных X.25.

5.3. Межстанционная аналоговая сигнализация

Системы *межстанционной аналоговой сигнализации* бывают следующих видов (см. рис. 4.5):

- *сигнализация батарейно-импульсным кодом*, которая была разработана для ДШ АТС;
- *многочастотная сигнализация* между маркерами и регистрами АТСК методом «импульсный челнок», (к данной категории можно отнести сигнализацию R1 кодом «2 из 5» (американский стандарт), сигнализацию R2 кодом «2 из 6» (европейский стандарт) и сигнализацию R1.5 кодом «2 из 6» (российский стандарт)). При этой сигнализации каждая цифра абонентского номера кодируется двумя частотами, которые передаются одновременно. Рассмотрим сигнализацию R₂ кодом «2 из 6» (табл. 5.1);

Таблица 5.1

Номер сигнала	Частоты	Расшифровка сигнала	
		В прямом направлении	В обратном направлении
1	f_0, f_1	Цифра 1	Запрос первой цифры номера
2	f_0, f_2	Цифра 2	Запрос следующей цифры номера
3	f_0, f_3	Цифра 3	Запрос ранее переданной цифры
4	f_0, f_4	Цифра 4	Вызываемый абонент свободен
5	f_1, f_5	Цифра 5	Вызываемый абонент занят
6	f_2, f_4	Цифра 6	Запрос ранее переданной цифры
7	f_0, f_7	Цифра 7	Перегрузка
8	f_1, f_7	Цифра 8	Запрос передачи всего номера декадным способом

Номер сигнала	Частоты	Расшифровка сигнала	
		В прямом направлении	В обратном направлении
9	f_2, f_7	Цифра 9	Запрос передачи следующей и остальных цифр номера декадным способом
10	f_4, f_7	Цифра 0	Запрос передачи ранее переданной цифры, а затем и остальных цифр номера вызываемого абонента декадным способом
11	f_1, f_{11}	Резерв	Резерв
12	f_2, f_{11}	Подтверждение сигналов обратного направления	Резерв
13	f_3, f_{11}	Запрос повторения сигнала	Резерв
14	f_4, f_{11}	Резерв	Резерв
15	f_5, f_{11}	Резерв	Отсутствие приема информации

– *одночастотная сигнализация токами тональной частоты*, широкое распространение получила система сигнализации на частоте 2600 Гц. На ведомственных сетях использовались системы сигнализации на частотах 1600 или 2100 Гц (табл. 5.2). Недостатком одночастотных систем сигнализации является ограниченный набор сигналов;

Таблица 5.2

Сигнал	Направление	Длительность, мс	Время распознавания, мс	Примечание
Занятие линии	→	Один импульс, 200	100 – 150	Однократный импульс, посылается при новом занятии
Разъединение	→	Непрерывный, максимальной длительностью 550 – 850	280 – 420	Если освобождения за 20 – 30 с не происходит, прекратить подачу импульса
Повторный вызов	→	Серия импульсов 200 и пауз 100	Импульс 120 – 180, пауза 20 – 30	Посылается при полуавтоматическом вызове
Абонент Б свободен	←	Непрерывный, максимальной длительностью 195	100 – 150	Непрерывно до ответа абонента Б
Ответ	←	Прекращение сигнала, абонент Б свободен	—	—
Отбой абонента Б	←	Серия импульсов 200 и пауз 100	Импульс 100 – 150, пауза 20 – 30	—

Окончание табл. 5.2

Сигнал	Направление	Длительность, мс	Время распознавания, мс	Примечание
Повторный ответ	←	Прекращение подачи импульсов	—	Прекращение сигнала отбоя
Абонент Б занят	←	Два импульса 200 с паузой 100	100 – 150	—
Освобождение линии	←	Непрерывный	—	—
Блокировка линии	←	Непрерывный	—	Уровень на 3 дБ ниже других сигналов

– двухчастотная сигнализация токами тональной частоты (1600 и 1200 Гц). На ведомственных сетях использовали систему сигнализации на частотах 600 или 700 Гц (табл. 5.3);

Таблица 5.3

Сигнал	Направление	Частота, Гц	Длительность, мс	Время распознавания, мс
Занятие линии	→	1600	До прихода готовности к приему кода	55 – 75
Готовность к набору кода	←	1200 / 1600	До прекращения занятия	85 – 130
Готовность к набору номера	←	1200 / 1600	Более 500	50 – 100
Набор номера (АВС, номер)	←	1200	Импульс 50, пауза 50, интервал 600	20 – 250
Разъединение (отбой абонента А)	→	1200 / 1600	До получения сигнала освобождения	500 – 700
Повторный вызов	→	1600	На время нажатия ключа	360 – 520
Абонент Б свободен	←	1200 / 1600	До ответа	50 – 100
Абонент Б занят	←	1200	500	50 – 100
Ответ	←	—		65 – 100
Отбой абонента Б	←	1200 / 1600		270 – 470
Повторный ответ	←	—		65 – 100
Освобождение линии	←	1600	До прекращения разъединения	100 – 170
Блокировка линии	←	1200	Непрерывный	60 – 100

Одно- и двухчастотные системы сигнализации были широко распространены в аналоговых междугородных и международных сетях, когда там применялись системы передачи (СП) с частотным разделением. Они предусматривают и полуавтоматические соединения, т. е. участие телефонистки.

5.4. Межстанционная цифровая сигнализация по выделенному сигнальному каналу

С появлением цифровых СП с временным разделением применение аналоговой сигнализации становится невозможным, так как при оцифровке сигнала необходимо перекодировать аналоговые частотные комбинации в цифровые коды.

Первоначально цифровую межстанционную сигнализацию организовывали по выделенному сигнальному каналу (ВСК). В ИКМ-30/32 используется цифровая сигнализация по ВСК — R2D (цифровой вариант междрегистровой аналоговой сигнализации R2 — см. табл. 5.1) [21]. Для передачи всех 15 сигналов этой сигнализации в двоичной системе достаточно четырех бит. Так как в 16-м канале тракта ИКМ-30/32 (см. рис. 3.3) имеется 8 бит, в нем одновременно может передаваться сигнальная информация для двух разговорных каналов. Для передачи сигнальной информации всех 30 разговорных каналов используется вторичное временное уплотнение: организуются *сверхциклы*. Каждый сверхцикл (рис. 5.3) содержит 16 циклов ИКМ (с 0 по 15) по 125 мкс, т. е. имеет период $0,125 \cdot 16 = 2$ мс. В 16-м ВрК нулевого цикла передается информация о начале сверхцикла, т. е. осуществляется его синхронизация. В 16-м ВрК первого цикла передается сигнальная информация 1-го и 17-го разговорных каналов, 8 импульсов ВрК разделены пополам: 4 импульса — 1-му разговорному каналу, 4 импульса — 2-му. В 16-м ВрК второго цикла передается сигнальная информация 2-го и 17-го разговорных каналов. Далее в i -м ВрК передается сигнальная информация i -го и $(i + 16)$ -го разговорных каналов. В 16-м ВрК последнего 15-го цикла передается сигнальная информация 15-го и 31-го разговорных каналов. Таким образом, за один сверхцикл передается сигнальная информация всех 30 разговорных каналов, но за это время речевая информация в каждом канале передается 16 раз, т. е. передача одной цифры осуществляется за 2 мс.

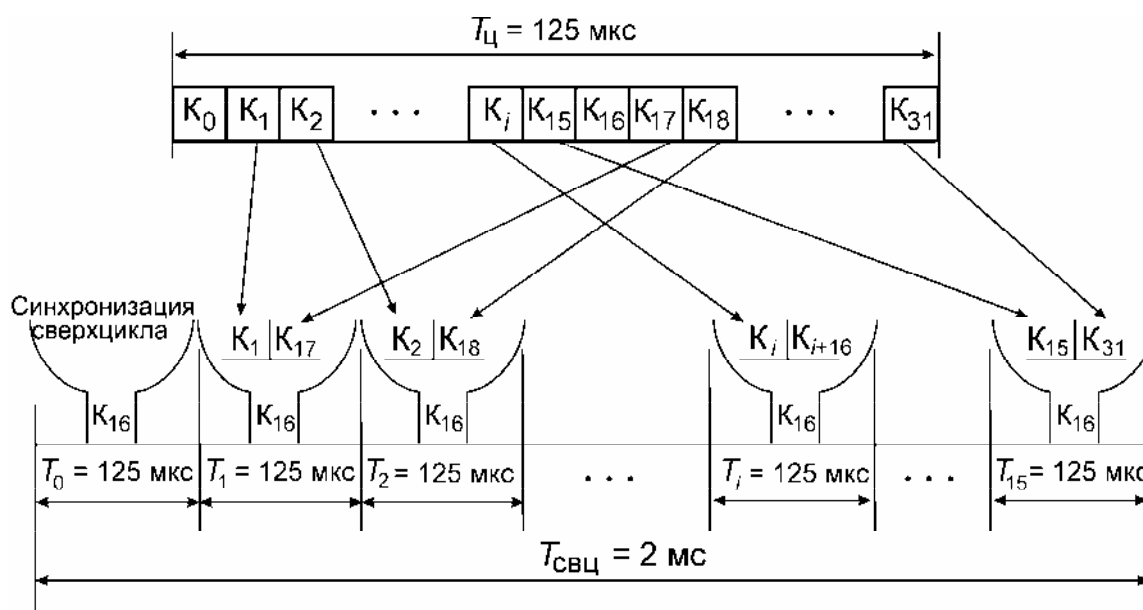


Рис. 5.3. Организация сверхцикла

Для передачи сигнальной информации каждому каналу за сверхцикл выделяется 4 бита. В двоичной системе с помощью 4 бит можно передать 16 кодовых комбинаций. Первые 10 комбинаций — это цифры абонентского номера, остальные 6 комбинаций используются для управления сетью. Например, с их помощью можно передавать информацию о состоянии каналов, их блокировке, нехватке транзитных участков.

Рассмотрим для сравнения СП ИКМ-24. В ней применяется сигнализация R1D, здесь нет ВСК, все 24 канала — разговорные, сигнализация организуется отдельно в каждом из каналов. Обычно в ИКМ-24 информация каждого временного канала передается восемью импульсами (т. е. для квантования используются 256 отсчетов). Каждый шестой цикл меняется схема кодирования речи — вместо 256 уровней квантования применяется 128, следовательно, для кодирования необходимо 7 отсчетов, а 8-й импульс используется для сигнализации. Таким образом, одна цифра абонентского номера передается за 24 цикла, поскольку для ее передачи необходимо 4 бита: 1-й бит передается в 6-м цикле, 2-й бит — в 12-м цикле, 3-й бит — в 18-м цикле, 4-й бит — в 24-м цикле. При этом одна цифра абонентского номера передается за 3 мс. Очевидно, что сигнализация R1D не относится к системам с ВСК, в ней сигнальная информация передается отдельно по каждому разговорному каналу. Мы рассмотрели ее здесь только для того, чтобы показать, что человек может разработать любые системы сигнализации. Вопрос в том, чтобы согласовывать их при создании глобальных телекоммуникационных сетей. Желательно иметь единую систему телефонной сигнализации всем мире. К сожалению, этого не удалось сделать даже в наше время всеобщей глобализации в сетях мобильной связи.

Часто СП ИКМ-32 используются на городских телефонных сетях для соединения аналоговых АТС, например, АТСДШ и АТСК. В этом случае применяют сигнализацию 2ВСК (два выделенных сигнальных канала), которая преобразует в цифровую форму сигналы батарейно-импульсной сигнализации. Здесь имеется ограниченный набор символов: каждая цифра абонентского номера состоит из набора нулей и единиц. В 16-м канале, в соответствующей данному временному каналу позиции из четырех бит, сигналы занимают позиции a, b, c и d. Для передаваемых сигналов вводят разные таймеры, увеличивая тем самым количество возможных передаваемых сигналов (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Сигнал	Направление сигнала	Состояния бит				Примечание
		a	b	c	d	
Подтверждение занятия линии	←	1	1	0	1	Ожидается в течение 1 с после посылки сигнала «Занятие»
Ответ/запрос АОН	←	1	0	0	1	Передается после ответа вызываемого абонента
Снятие ответа	←	1	1	0	1	
Абонент Б занят	←	0	0	0	1	Передается со стороны входящей станции, если абонент Б недоступен
Отбой абонента Б	←	0	0	0	1	Передается со стороны входящей станции, если абонент Б вешает трубку
Блокировка линии	←	1	1	0	1	Передается на исходящую станцию в случае блокировки линии входящей станции
Контроль исходного состояния	←	0	1	0	1	Передается входящей станцией после получения сигнала разъединения и освобождения с.л.
Занятие линии	→	1	0	0	1	Время распознавания 14 – 20 мс
Набор номера: импульс	→	0	0	0	0	Длительность 16 – 150 мс
пауза		1	0	0	1	Длительность 16 – 150 мс
Серийное время		1	0	0	1	Длительность более 250 мс

Сигнал	Направление сигнала	Состояния бит				Примечание
		a	b	c	d	
Разъединение	→	1	1	0	1	Может быть принят на любом этапе соединения. Время распознавания 120 – 500 мс
Отбой	→	0	0	0	1	Если встречная АТС организует систему с двухсторонним отбоем. Время распознавания 200 мс

5.5. Межстанционная цифровая сигнализация по общему каналу

Системы сигнализации по общему каналу (ОКС) появились, когда для управления АТС стали применяться ЭВМ. Две ЭВМ различных АТС, устанавливая соединения, связываются каналом передачи данных (каналом ОКС), который передает информацию между системами коммутации не для одного конкретного разговорного канала, а для всего пучка линий, соединяющих эти АТС, объем пучка может достигать 1000 каналов. Общий канал сигнализации может быть организован в любом временном интервале (кроме нулевого) одного из первичных трактов ИКМ, входящих в пучок, который напрямую соединяет две взаимодействующие АТС.

В конце 1960-х гг. компания AT&T (American Telephone & Telegraph Co.) еще на аналоговых сетях для КЭАТС сначала разработала общеканальную сигнализацию, которая называлась системой сигнализации № 6. Преимущества коммутации с программным управлением позволили создать наложенную сеть сигнализации, а в сущности — сеть передачи данных. При первом применении ОКС № 6 для нее использовались аналоговые каналы междугородной сети США со скоростью передачи данных 2,4 кбит/с, позднее скорость была увеличена до 4,8 кбит/с. Сигнальная информация передавалась в форме блоков данных, которые имели постоянную длину 28 бит и могли переносить 12 различных типов сообщений.

Для цифровых станций была разработана система сигнализации № 7. В отличие от ОКС № 6, ОКС № 7 использует блоки данных (сигнальные единицы — СЕ) переменной длины, что значительно увеличивает функциональные возможности системы. Кроме того, в ОКС № 7 используются цифровые каналы со скоростью передачи 64 кбит/с, (но имеется вариант передачи и по аналоговым линиям со скоростью 4,8 кбит/с).

В сетях мобильной связи первого поколения (NMT-450) уже использовали ОКС № 7. Позднее возможности системы ОКС № 7 стали широко применяться для поддержки взаимодействия в интеллектуальных сетях (Intelligent Network — IN) [3].

В настоящее время ОКС № 7 широко распространена в сетях фиксированной и мобильной телефонной связи. Она служит не только для установления соединения, но и для предоставления дополнительных услуг (ДУ). При этом объем сигнальной информации, передаваемой на одно разговорное соединение, постоянно растет, поэтому сигнальную нагрузку необходимо нормировать.

5.5.1. Структура общеканальной сети сигнализации

Сеть общеканальной сигнализации состоит из пунктов сигнализации, соединенных звеньями сигнализации. Пункты сигнализации — это сигнальные процессоры коммутационных станций, транзитных узлов сетей подвижной и фиксированной связи, центры эксплуатационного управления сетью связи, узлы коммутации услуг в интеллектуальных сетях, способные формировать, передавать, принимать и распознавать сигнальные сообщения.

Основными типами пунктов сигнализации являются: SP (Signalling Point) — пункт сигнализации с функциями подсистем пользователей и прикладных подсистем ОКС № 7; STP (Signalling Transfer Point) — транзитный пункт сигнализации, обеспечивающий только функции подсистемы передачи сообщений ОКС № 7; SRP (Signalling Relay Point) — транзитный пункт сигнализации, дополненный функциями подсистемы управления сигнальными соединениями; SSP (Signalling Switching Point) — пункт коммутации услуг интеллектуальной сети; SCP (Signalling Control Point) — пункт управления услугами интеллектуальной сети.

Пункты сигнализации всех перечисленных типов могут быть построены на базе оборудования электронных станций, а пункты STP, SPR и SCP могут быть выделенными узлами сети сигнализации. В литературе можно встретить понятие оконечного пункта сигнализации SEP (Signalling End Point). Пункты сигнализации, применяемые в сетях сотовой подвижной связи, имеют свою специфику.

Звено сигнализации SL (Signalling Link) предназначено для передачи сигнальных сообщений между двумя пунктами сигнализации. Физически звено сигнализации представляет собой один временной канал какой-либо системы передачи (как правило, один временной интервал ИКМ). Если между двумя пунктами сигнализации существует несколько звеньев сигнализации, то говорят о наличии между ними пучка звеньев сигнализации SLS (Signalling Link-Set). Работа ОКС в зависимости от его связи с информационными каналами может осуществляться в связанном, несвязанном и квазисвязанном режимах.

1. В *связанном режиме* (associated mode) сообщение передается по пучку звеньев, который непосредственно соединяет эти два пункта (рис. 5.4, а). Пути передачи информации пользователя и сигнальных сообщений совпадают. В большинстве случаев применяют общий тракт ИКМ. Связанный режим сигнализации целесообразно использовать при сильном тяготении между коммутационными станциями.

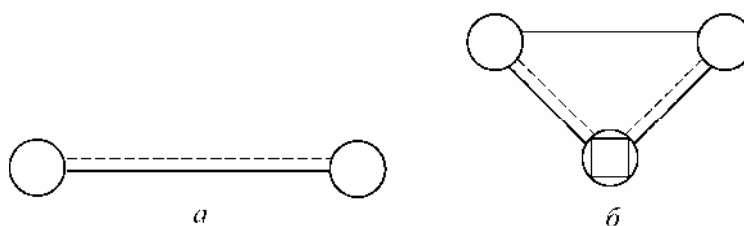


Рис. 5.4. Примеры режимов сигнализации
а — связанного; б — квазисвязанного (— — — информационные каналы; - - - - - сигнальные каналы; ○ — пункт сигнализации (хотя бы с одной функцией пользователя); ◻ — пункт сигнализации с функциями пользователя и транзитного узла)

2. В *несвязанном режиме* (no-associated mode) сигнальное сообщение, относящееся к данному сигнальному соотношению, передается по двум и более пучкам звеньев (путь сообщения сигнализации заранее не определен), последовательно проходя один или несколько звеньев сигнализации, при этом пути передачи информации пользователя и сигнальных сообщений не совпадают.

3. В *квазисвязанном режиме* (quasi-associated mode) — частном случае несвязанного режима — путь, по которому проходит сообщение в сети сигнализации, заранее определен и в каждый данный момент зафиксирован (рис. 5.4, б). Сигнальные сообщения проходят через транзитные пункты сигнализации, при этом пути передачи информации пользователя и сигнальных сообщений не совпадают.

Сигнальный маршрут SR (Signalling Route) — это заранее установленный путь по сети сигнализации от исходящего пункта к пункту назначения, состоящий из пунктов сигнализа-

ции, последовательно соединенных звеньями сигнализации. Совокупность всех маршрутов между исходящим пунктом и пунктом назначения называют пучком сигнальных маршрутов (Signalling Route Set — SRS). Маршруты, используемые в нормальных условиях функционирования сети, называются основными, а маршруты, используемые в случаях повреждений или перегрузок — альтернативными.

Для сети сигнализации введено также понятие разделения сигнальной нагрузки — распределения сигнального трафика в процессе маршрутизации по двум или более звеньям сигнализации с целью выравнивания трафика в сети и/или обеспечения надежности. Маршруты сигнализации в сети ОКС № 7 выбирают в соответствии с таблицами маршрутизации. В таблицах маршрутизации обычно указывают два маршрута, один из которых, как правило, используется при нормальных условиях, а второй — при отказе первого. Однако возможно использование обоих маршрутов в режиме разделения нагрузки, при этом может быть достигнуто более равномерное распределение сигнальной нагрузки по сети сигнализации. Необходимость и возможность использования режима работы с разделением нагрузки должны быть рассмотрены на этапе начального проектирования сети сигнализации.

Систему ОКС № 7 используют в связанном и квазисвязанном режимах. В подсистеме пользователя нет средств, позволяющих избежать нарушения последовательности поступления сообщений, которое возможно при полностью несвязанном режиме с динамической маршрутизацией сообщений.

Международные и национальные сети сигнализации рассматривают как независимые с точки зрения их структуры. Хотя отдельный пункт сигнализации может принадлежать и к национальной и к международной сети, коды пунктам сигнализации присваиваются в соответствии с правилами, определенными для каждой из этих сетей.

С функциональной точки зрения всемирная сеть сигнализации имеет структуру, состоящую из двух независимых уровней: международного и национального (рис. 5.5).

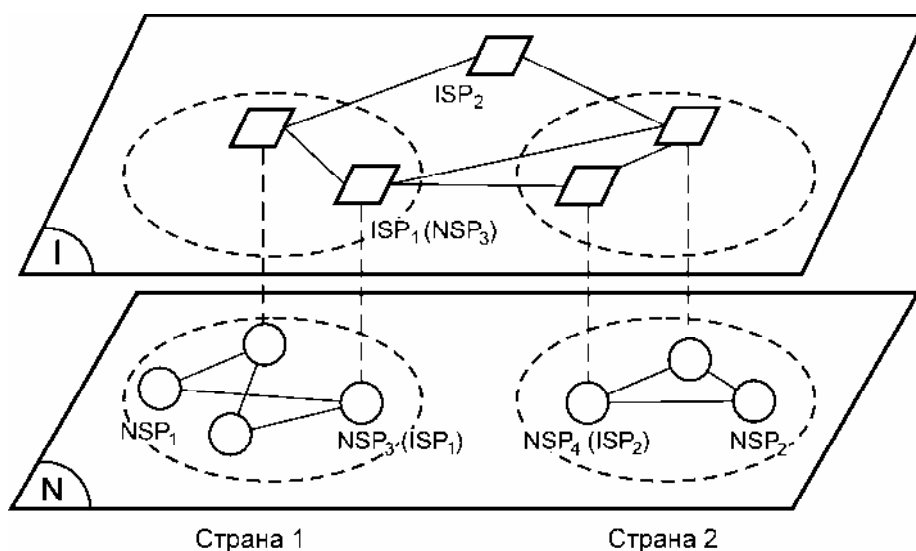


Рис. 5.5. Международные и национальные сети сигнализации:
 NSP_i ($i = 1, \dots, 4$) — национальный пункт сигнализации;
 ISP_j ($j = 1, 2$) — международный пункт сигнализации

Пункт сигнализации SP, включая транзитные пункты сигнализации STP, может входить в одну из трех категорий:

– *национальный пункт сигнализации (NSP)*, относящийся лишь к национальной сети и идентифицируемый кодом исходящего пункта отправления (OPC) или пункта назначения (DPC) в соответствии с национальным планом нумерации пунктов сигнализации;

– *международный пункт сигнализации (ISP)*, относящийся только к международной сети и идентифицируемый OPC и DPC в соответствии с международным планом нумерации пунктов сигнализации;

– узел, одновременно работающий как ISP и NSP, который относится и к национальной, и к международной сети. В каждой из сетей он идентифицируется своими OPC и DPC.

При нормальных условиях в международной сети число транзитных пунктов сигнализации между исходящим пунктом сигнализации и пунктом сигнализации назначения должно быть не более двух. В случае отказов их может быть до трех, а на короткий промежуток времени — до четырех.

5.5.2. Соответствие протоколов ОКС № 7 семиуровневой модели ВОС

Архитектура протоколов системы ОКС № 7 соответствует семиуровневой модели ВОС (рис. 5.6). Множество всех функций системы представлено в виде совокупности функциональных модулей (подсистем), определенным образом взаимодействующих между собой через транспортную сеть.

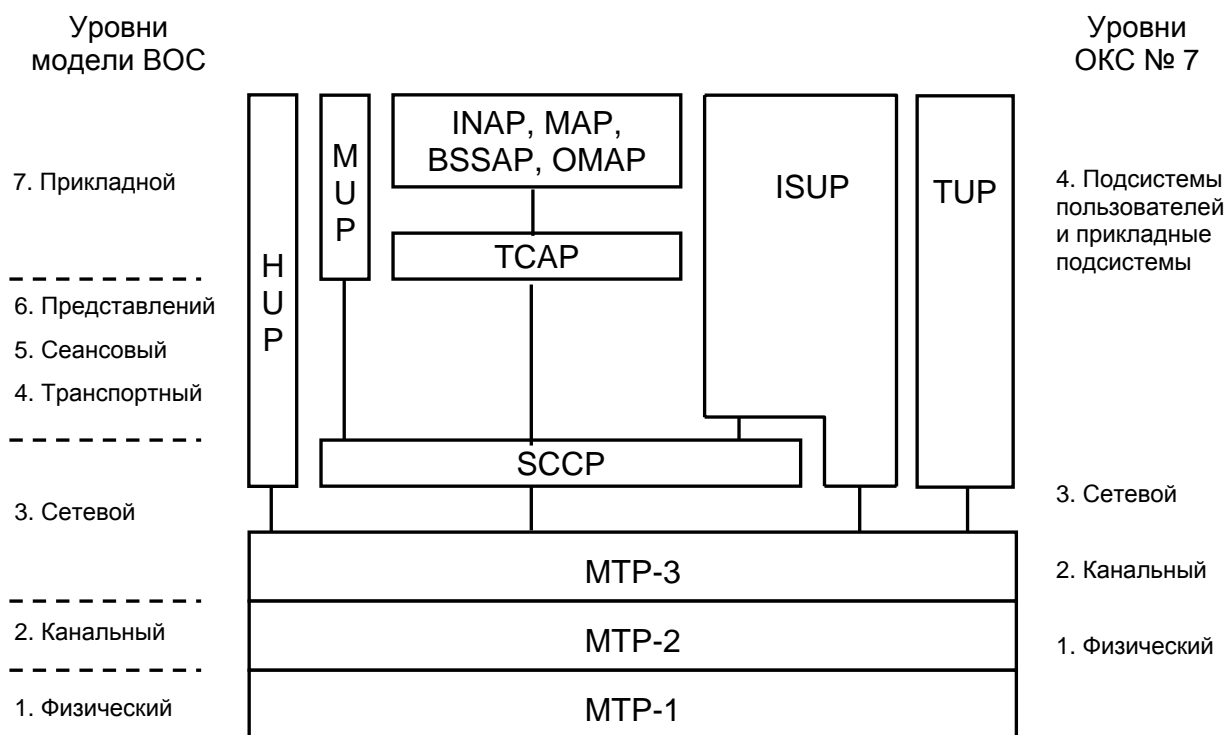


Рис. 5.6. Соответствие уровней ОКС № 7 модели ВОС

Первоначально система ОКС №7 имела четыре уровня: транспортную подсистему, охватывающую уровни 1 – 3 модели ВОС, и подсистемы пользователей (уровень 4). Для удовлетворения новых требований (например, для обмена информацией с базами данных) систему ОКС № 7 дополнили новыми функциями.

Таким образом, основными подсистемами ОКС № 7 являются:

– *транспортная подсистема* МТР (Message transfer part);

– *подсистемы пользователей* UP (User Part) услуг MTP: TUP (Telephone User Part) — подсистема телефонного пользователя; DUP (Data User Part) — подсистема пользователя передачи данных (с появлением ЦСИО эти две системы были объединены в ISUP (ISDN User Part) — подсистему пользователя цифровой сети интегрального обслуживания ISDN); HUP (Handover User Part) — подсистема организации эстафетной передачи (хендовера) в мобильных сетях стандарта NMT-450; MUP (Mobile User Part) — подсистема мобильного пользователя в мобильных сетях стандарта NMT.

Позднее были разработаны *прикладные подсистемы* AP (Application Part): INAP (Intelligent Network Application Part) — подсистема интеллектуальной сети; MAP (Mobile Application Part) — подсистема для роуминга в мобильных сетях стандарта GSM; BSSAP (Base Station System Application Part) — подсистема для хендовера в мобильных сетях стандарта GSM; OMAP (Operation, Maintenance and Administration Part) — подсистема для организации технической эксплуатации самой сети ОКС № 7.

5.5.3. Транспортная подсистема ОКС № 7

Транспортная подсистема ОКС № 7 (МТР-1, МТР-2, МТР-3) служит для переноса сигнальных сообщений различных протоколов. Подсистема МТР обеспечивает передачу информации в неискаженной форме, без потерь и дублирования ошибок, в установленной последовательности, от одного пункта сигнализации к другому. Эта подсистема не анализирует значения передаваемых сигнальных сообщений, формируемых различными подсистемами пользователей. Благодаря такой независимости работы МТР от передаваемых сообщений имеется возможность реконфигурации и гибкого управления сигнальным трафиком при отказах или перегрузках в сети сигнализации. Следует заметить, что функции переноса сообщений в некоторых случаях осуществляются совместно подсистемами МТР и SCCP. Используя услуги МТР, подсистема SCCP обеспечивает организацию в сети ОКС № 7 виртуальных соединений и может предоставлять сетевые услуги как в датаграммном режиме, так и в режиме виртуального канала. Уровни МТР и подсистему SCCP совместно рассматривают как сетевую подсистему обслуживания (Network Service Part — NSP), которую можно считать системой доставки сообщений.

Функции подсистемы МТР делят на три группы, образующих три нижних уровня системы в соответствии с уровнями модели ВОС: МТР-1 соответствует физическому уровню, МТР-2 — канальному уровню, МТР-3 частично соответствует сетевому уровню, в нем реализован только датаграммный режим.

Уровень МТР-1 соответствует первому уровню модели ВОС; он определяет параметры физической среды для передачи информации между двумя пунктами сигнализации. Как правило, это двухсторонний тракт передачи данных, выделенный в ИКМ-тракте канал (иногда 16, иногда 1, а в принципе может быть любой) со скоростью передачи 64 Кбит/с (также имеется вариант сигнализации по аналоговым линиям через модемы со скоростью 4,8 кбит/с).

Уровень МТР-2 обеспечивает надежную передачу сигнальных сообщений между двумя непосредственно соединенными пунктами сигнализации, т. е. по звену (Signaling Link — SL). Любая информация передается через звено сигнализации с помощью пакетов данных, называемых сигнальными единицами — СЕ (Signal Unit — SU). Сигнальная единица состоит из поля сигнальной информации переменной длины, в котором передается сигнальное сообщение, и нескольких полей фиксированной и переменной длины, в которых передается информация, служащая для управления передачей сообщения. Основными функциями, выполняемыми на уровне МТР-2, являются:

- отделение СЕ друг от друга посредством флагов при передаче и выделение их при приеме;
- обнаружение ошибок с помощью проверочных битов, включенных в каждую СЕ;

- исправление ошибок посредством повторной передачи и контроля порядка следования сигнальных единиц по протоколу с N возвращениями;

- обнаружение отказов с помощью контроля интенсивности ошибок в сигнальных единицах (подсчета коэффициента ошибок) и восстановление работоспособности системы сигнализации с помощью специальных процедур.

Для этого имеются три типа сигнальных единиц, форматы которых представлены на рис. 5.7:

- значащая сигнальная единица (Message Signal Unit — MSU), которая и используется для передачи сигнальных сообщений;

- сигнальная единица состояния звена (Link Status Signal Unit — LSSU), которая используется для контроля состояния звена сигнализации при его настройке и для устранения неисправностей;

- заполняющая сигнальная единица (Fill-In Signal Unit — FISU), которая передается по каналу непрерывно при отсутствии сообщений и используется для обеспечения фазирования сигнального звена; она также может приносить квитанции.

Заполняющие сигнальные единицы FISU не повторяются в случае ошибки и имеют постоянную длину 6 байт. LSSU служат для обмена информацией между протокольными тестерами, настраивающими каналы, они также не повторяются в случае ошибки передачи и кроме полей, имеющих в FISU, содержат поле настройки длиной 1 или 2 байта. При настройке звена сигнализации сигнальные единицы передаются только между соседними пунктами сигнализации. Пункт сигнализации, определивший сбой в работе звена вследствие нарушения фазирования передачи сигнальных единиц, уведомляет смежный пункт о недоступности звена.

Значение сигнальные единицы MSU служат для передачи сигнальной информации. Непосредственное формирование полей сигнальных единиц выполняется на уровне MTP-2.

Рассмотрим назначение полей сигнальной единицы MSU.

Флаг (Flag — F) — отмечает начало каждой СЕ. В качестве флага используется байт вида 01111110. Чтобы избежать имитации флага другой частью сигнальной единицы, после каждого встречающихся пяти следующих подряд битов со значением 1, содержащихся в любой части сигнальной единицы, кроме флага, вставляется 0, который изымается принимающим сигнальным терминалом после обнаружения и отделения флага. Такая операция называется битстаффингом.

Поля FSN (Forward sequence number — прямой порядковый номер) и BSN (Backward sequence number — обратный порядковый номер) занимают по 7 бит и представляют соответственно номер и квитанцию (BSN) передаваемой сигнальной единицы. В MTP-2 используется протокол с N возвращениями и шириной окна $W = 128$ (BSN, FSN принимают значение от 0 до 127) [25]. FSN передается в прямом направлении и несет информацию о порядковом номере той MSU, в состав которой он входит. BSN передается в обратном направлении в составе подтверждающей сигнальной единицы (ею может быть MSU или FISU) и несет информацию о порядковом номере той MSU, к которой это подтверждение относится.

Биты-индикаторы FIB (Forward indicator bit) и BIB (Backward indicator bit) указывают, какой раз передается сигнальная единица и квитанция.

Индикатор длины (Length indicator — LI) указывает, сколько байт содержит СЕ в полях, расположенных между LI и проверочными битами СК (см. рис. 5.7). LI идентифицирует тип сигнальных единиц следующим образом:

LI = 0, если это заполняющая сигнальная единица FISU;

LI = 1 или 2, если это сигнальная единица состояния звена LSSU;

LI > 2, если это значащая сигнальная единица MSU.

Максимальная длина СЕ ограничена 255 байтами.

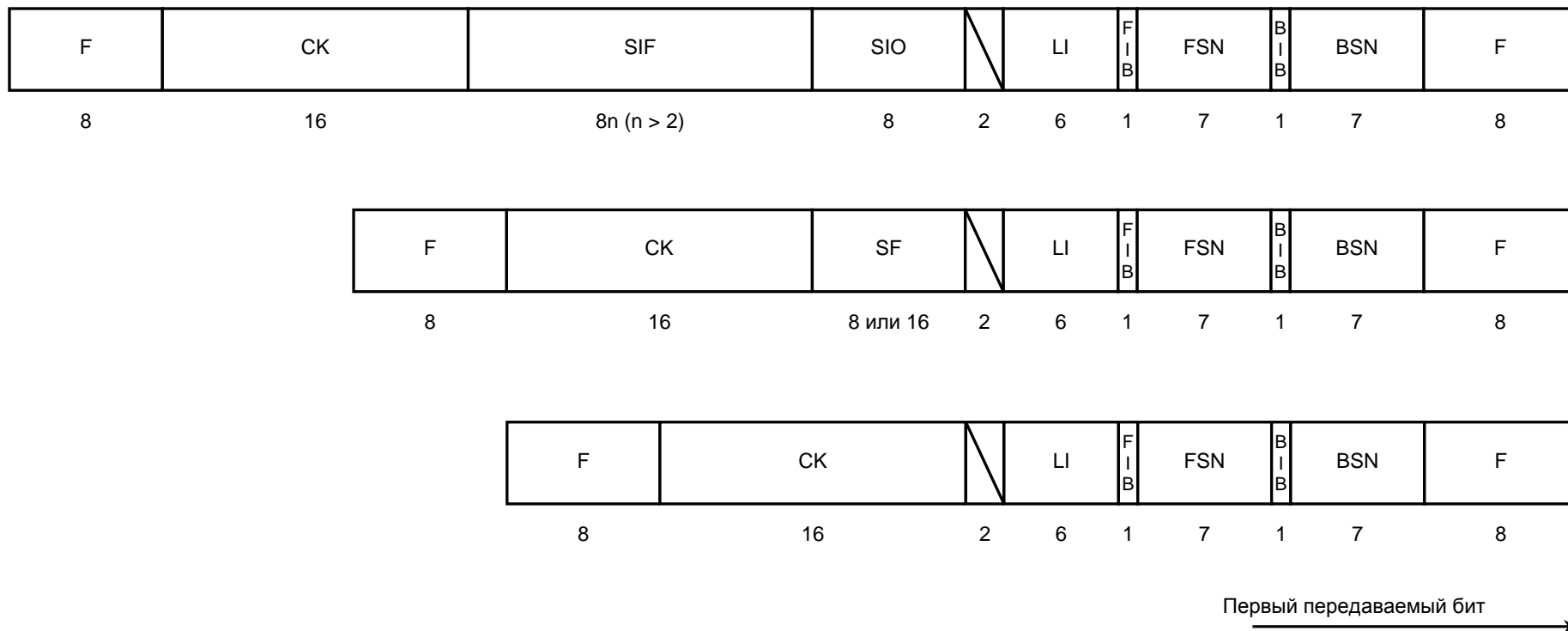


Рис. 5.7. Форматы сигнальных единиц

Байт служебной информации (SIO — service information octet) указывает на подсистему пользователя или прикладную подсистему, сообщение которой переносит данная СЕ. Байт состоит из двух частей:

- индикатор вида службы (Service Indicator — SI);
- поле подвида службы (Subservice Field — SSF).

Поле индикатора вида службы SI занимает 4 старших бита в байте SIO. Оно содержится только в значащих сигнальных единицах MSU и указывает, к какой подсистеме пользователя относится сообщение. Индикатор используется функцией обработки сигнальных сообщений для распределения их по подсистемам пользователей и прикладным подсистемам. В некоторых специальных подсистемах он используется для маршрутизации сообщений. Поле подвида службы SSF занимает 4 младших бита поля SIO и содержит индикатор сети (биты C и D) и 2 резервных бита (биты A и B). Индикатор сети позволяет различать, к какой сети принадлежат сообщения: международной или национальной.

Поле сигнальной информации (Signaling Information Field — SIF) предназначено для передачи информации подсистем-пользователей через сеть ОКС № 7. Сигнальная информация содержит сведения о реальном пользователе (один или более сигналов по обслуживанию телефонного вызова или передачи данных, информацию по управлению и техобслуживанию и т. п.) и информацию, определяющую тип и формат сообщения. Кроме сообщения подсистемы-пользователя поле SIF содержит адрес (этикетку), по которому сообщение должно быть передано. Структура поля сигнальной информации будет рассмотрена ниже для конкретных протоколов.

Этикетка, входящая в состав поля SIF, позволяет подсистеме-пользователю:

- с помощью функций уровня МТР-3 маршрутизировать сообщения в сети сигнализации к определенному пункту назначения; эта часть этикетки называется этикеткой маршрутизации;
- связывать сообщение с определенным каналом, вызовом или транзакцией.

За исключением этикетки маршрутизации подсистема МТР не распознает содержимое поля SIF, т. е. без обработки передает содержащуюся в SIF информацию от 4-го уровня одного пункта сигнализации к 4-му уровню другого.

Проверочные биты (Check bits — СК) составляют проверочную комбинацию, которую формирует пункт сигнализации, передающий СЕ. Комбинация содержит 16 бит, значения которых вычисляются путем применения образующего полинома к информации, содержащейся в подготавливаемой к передаче СЕ [25]. Наличие проверочных бит в заполняющих сигнальных единицах FISU позволяет вести постоянный контроль качества сигнального звена на уровне МТР-2 и информировать уровень МТР-3 в случае снижения качества ниже допустимого.

В сигнальных единицах LSSU байт служебной информации SIO и поле сигнальной информации SIF заменяются однобайтовым или двухбайтовым полем статуса (SF — status field). В этих СЕ номер сигнального звена не указывается, поскольку информация о статусе всегда относится как раз к тому звену, по которому передается LSSU. Формат однобайтового поля статуса SF показан на рис. 5.8.

Сигнальной единице состояния звена соответствует индикатор длины LI, равный 1 или 2. Если LI = 1, то поле статуса содержит один байт, если LI = 2, то два байта. Когда сигнальный терминал, способный обработать только однобайтовое поле статуса, получает СЕ с двухбайтовым полем, он игнорирует второй байт, но первый байт обрабатывается обычным образом.

Предусмотрены следующие индикаторы статуса сигнального звена:

- OS (Out of service — вне обслуживания) — указывает, что сигнальный терминал, передающий этот индикатор, не может ни передавать, ни принимать сигнальные единицы MSU по причинам, отличным от отказа процессора. Приняв OS (сигнал SIOS), встречный сигнальный терминал также прекращает передачу любых СЕ. Индикатор OS передается также после включения питания сигнального терминала до момента запуска процедуры начального фазирования;

- O (Out of alignment — не сфазировано);
- N (Normal — нормальное фазирование);
- E (emergency — аварийное фазирование);
- PO (Processor outage — отказ процессора) — указывает, что передающий сигнальный терминал не может связаться с процессорами, осуществляющими обработку сообщений на уровнях МТР-3 и МТР-4. Это может быть обусловлено отказом процессора сигнального терминала или полным отказом пункта сигнализации. PO (сигнал SIPO) передается для того, чтобы оповестить удаленный сигнальный терминал о необходимости прекратить передачу значащих сигнальных единиц MSU;

– В (Busy — занятость) указывает на то, что сигнальный терминал, передающий этот индикатор, находится в состоянии перегрузки. При приеме индикатора В (сигнал SIB) прекращается передача значащих сигнальных единиц MSU в направлении перегруженного сигнального терминала, и начинается передача заполняющих сигнальных единиц FISU. Если условия перегрузки сохраняются в течение трех-шести секунд, то уровень МТР-3 получает информацию об отказе звена, после чего запускается процедура его проверки и восстановления.

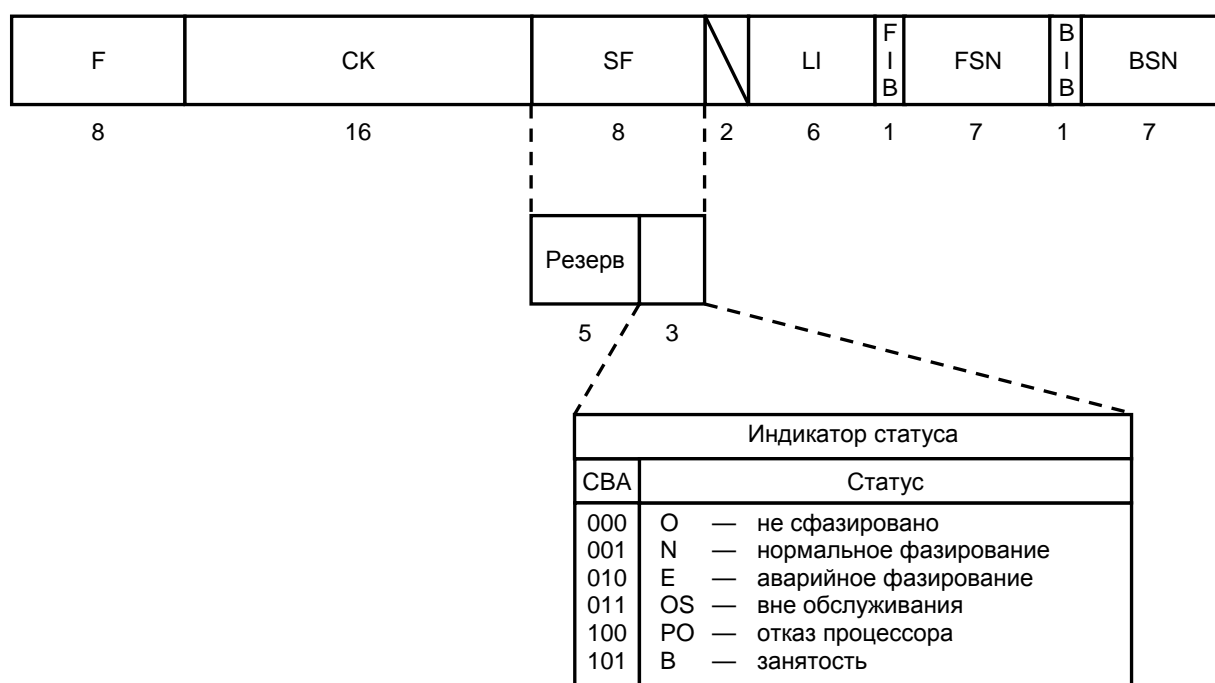


Рис. 5.8. Формат поля статуса SF

Уровень МТР-3 содержит функции, обеспечивающие транспортировку сигнальных сообщений через сеть ОКС от подсистемы-отправителя, которая размещена в одном пункте сигнализации (SP), к подсистеме-получателю, размещенной в другом (не обязательно смежном) SP. Сетевые функции МТР-3 присутствуют в пункте сигнализации любого типа, но в отличие от функций уровня МТР-2, выполняемых индивидуально для каждого звена, относятся к сети ОКС № 7 в целом.

Сетевые функции МТР-3 делят на две группы:

- функции обработки сигнальных сообщений с целью их коммутации;
- функции адаптации сети ОКС к происходящим в ней изменениям (перегрузкам или повреждениям элементов сети), т. е. функции эксплуатационного управления сетью ОКС.

МТР-3 выполняет следующие функции обработки сигнальных сообщений:

- сортировку сообщений, принимаемых от уровня 2, т. е. разделения их на сообщения, адресованные в «свой» SP, и на сообщений адресованные в другой SP;
- распределение сообщений, адресованных в «свой» SP, по подсистемам пользователей и прикладным подсистемам;
- маршрутизацию сообщений, подлежащих передаче (как тех, которые пришли от подсистем 4-го уровня или от функций эксплуатационного управления сетью ОКС, размещенных в своем SP, так и тех, которые поступили от уровня МТР-2, но должны быть направлены в другой SP).

В МТР-3 представлены следующие функции эксплуатационного управления сетью ОКС:

- управления сигнальным трафиком;
- управления сигнальными звеньями;
- управления сигнальными маршрутами.

Функции эксплуатационного управления сетью ОКС обеспечивают пребывание этой сети в работоспособном состоянии и восстановление этого состояния при нарушениях нормальной работы сигнальных звеньев или пунктов сигнализации. Эти нарушения могут проявляться в виде полного отказа звена или SP либо в ухудшении условий доступа к ресурсу (звену или SP) из-за его перегрузки. Отказ сигнального звена приводит к необходимости его отключения и перевода обслуживаемого им потока сообщений на резервное звено (или несколько резервных звеньев). Кроме того, отказ сигнального звена может ухудшить условия (или совсем исключить возможность) доступа к некоторым сигнальным маршрутам, что повлечет за собой необходимость изменения схемы маршрутов.

При управлении сигнальным трафиком реализуются следующие процедуры:

- переход на резервное звено;
- возврат на основное звено;
- вынужденная ремаршрутизация;
- управляемая ремаршрутизация;
- эксплуатационный запрет доступа к сигнальному звену;
- управление потоком сигнальных сообщений.

При управлении сигнальными звеньями реализуются следующие процедуры:

- деактивация, восстановление, активизация сигнального звена;
- активация пучка сигнальных звеньев.

При управлении сигнальными маршрутами реализуются следующие процедуры:

- управляемый транзит через данный транзитный пункт сигнализации (STP) в данном направлении;
- запрет транзита через данный STP в данном направлении;
- тестирование группы сигнальных маршрутов.

5.5.4. Описание подсистемы пользователя ISUP

Этот протокол пользователя ЦСИО (ISDN) используется как в фиксированных, так и в мобильных сетях. Система сигнализации ОКС № 7 существовала и до появления ISDN. Первоначально были разработаны подсистема пользователя телефонии (TUP) и подсистема пользователя данных (DUP). После появления ISDN эти подсистемы были заменены на подсистему ISUP, которая полностью удовлетворяет требованиям как по обслуживанию телефонных вызовов, так и по передаче данных и использует более современные решения.

Подсистема ISUP позволяет предоставлять услуги сетей ISDN в следующем объеме. Услуги по передаче информации: речь (с коммутацией каналов); аудиосигнал 3,1 кГц, факс, модемная связь, цифровая информация со скоростью 64 кбит/с без ограничений с коммутацией каналов, передача данных в каналах В и D (см. рис. 5.2); услуги предоставления связи

(телеуслуги): телефония 3,1 кГц; телефония 7Гц; телефакс; телетекс 64 кбит/с; видеотекс; видеотелефония.

Подсистема ISUP предоставляет следующие дополнительные услуги:

- услуги идентификации номера (прямой набор, определение номера вызывающей линии, запрет идентификации номера вызывающей линии, определение номера вызываемой линии, запрет идентификации номера вызываемой линии, переадресация);
- услуги перенаправления вызова (переадресация вызова при занятости, переадресация вызова при неответе, безусловная переадресация, отклонение вызова, поиск линии и др.);
- услуги завершения вызова (вызов с ожиданием, удержание вызова, завершение вызова при занятости абонента и др.);
- многосторонние услуги (конференц-связь);
- услуги общих групп (закрытая группа, выделенный план нумерации, многоуровневые приоритет и прерывание);
- услуги оплаты (международная телекоммуникационная платежная карта, уведомление об оплате во время соединения, уведомление об оплате при завершении соединения и др.);
- услуга передачи дополнительной информации (сигнализация пользователь-пользователь).

Сообщения ISUP переносятся в поле SIF значащих сигнальных единиц MSU. Структура поля сигнальной информации ISUP показана на рис. 5.9. Оно состоит из этикетки маршрутизации, кода идентификации канала и информационного поля, в состав которого входят указатель типа сообщения и информационные элементы-параметры. Параметры подразделяются на обязательную фиксированную часть, обязательную переменную и необязательную часть.

Код идентификации канала (CIC) имеет длину два байта и указывает номер разговорного канала между двумя станциями, к которому относится сообщение. Так, если используется цифровой тракт 2,048 Мбит/с, то пять младших бит CIC представляют в двоичном коде номер временного канала, оставшиеся семь бит используются, когда обслуживаются большие пучки каналов и необходимо определить, к какому ИКМ-потoku принадлежит данный канальный интервал. Код типа сообщения состоит из поля в один байт, он однозначно определяет назначение и общую структуру каждого сообщения ISUP.

Каждое сообщение включает ряд параметров. При этом все параметры имеют названия, кодирующиеся одним байтом. Порядок следования всех обязательных параметров фиксированной длины и длина каждого из них однозначно определяются типом сообщения. Начало каждого параметра переменной длины указывает специальный указатель. Названия всех обязательных параметров определяются типом сообщения и в сообщение не включаются. В составе любого необязательного параметра (перед его содержимым) присутствуют название этого параметра (один байт) и индикатор его длины (один байт).

Для российской версии протокола ISUP-R специфицировано 29 типов сообщений, которые перечислены в табл. 5.5.

Все 29 сообщений ISUP могут быть условно разбиты на 7 групп в соответствии с назначением.

1. *Сообщения установления соединения, передаваемые в прямом направлении:* а) начальное адресное сообщение IAM — первое сообщение, передаваемое при установлении соединения, оно содержит номера вызываемого и вызывающего абонентов, а также информацию, относящуюся к установлению соединения (например, включен ли полуконкомплект эхоподавляющих устройств на исходящей стороне, тип исходящего доступа: аналоговый или ISDN, есть ли в соединении спутниковый канал и другую информацию); б) последующее адресное сообщение SAM, передаваемое за начальным адресным сообщением для передачи дополнительной адресной информации.

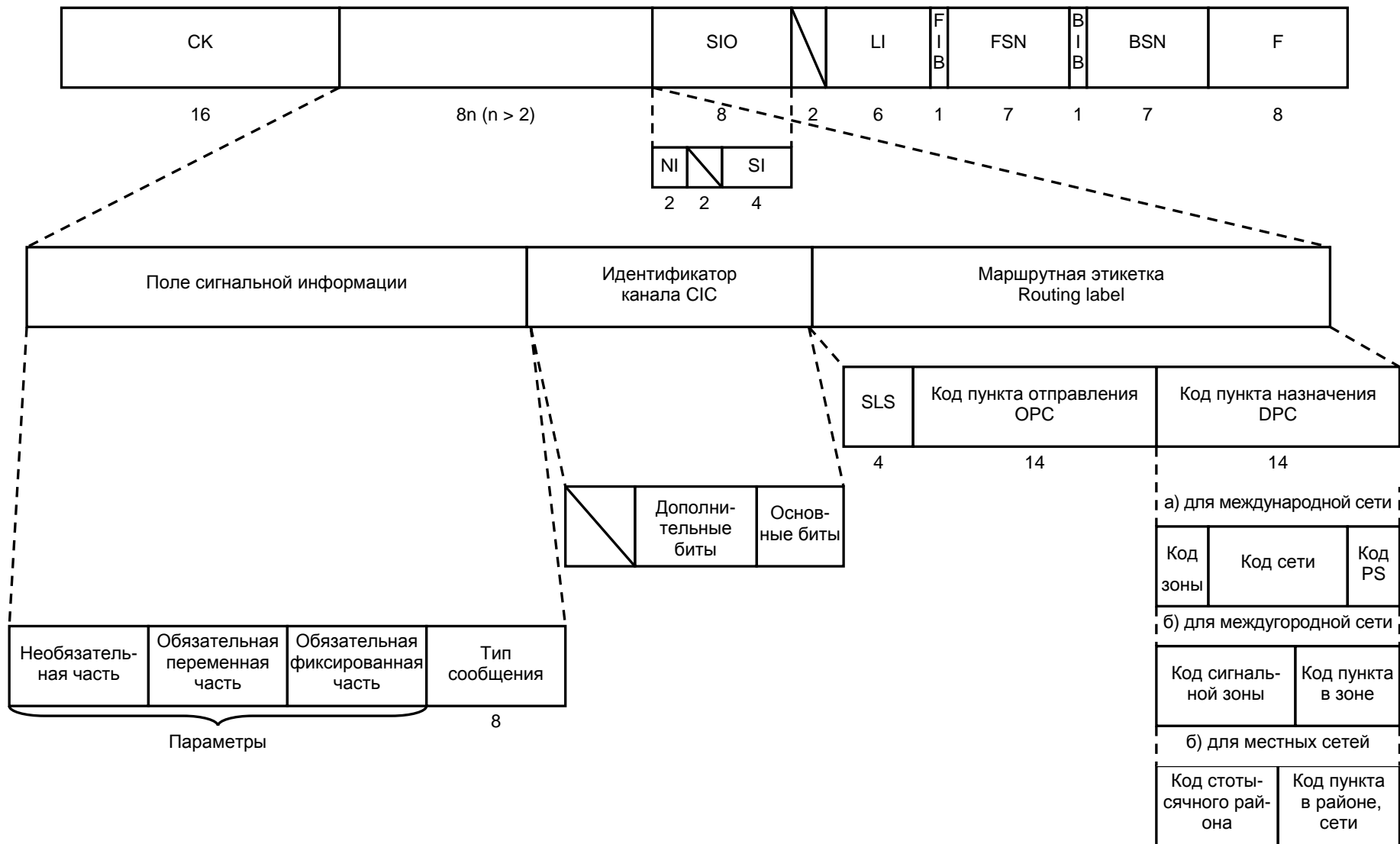


Рис. 5.9. Структура поля сигнальной информации ISUP

Таблица 5.5

№ п/п	Обозначение	Тип сообщения	Код
1	ACM	Сообщение о приеме всего адреса (Address complete)	00000110
2	ANM	Ответ (Answer)	00001001
3	BLO	Блокировка канала связи (Blocking)	00010011
4	BLA	Подтверждение блокировки канала (Blocking acknowledgement)	00010101
5	CCL	Отбой вызывающего абонента (Clear calling line)	11111100
6	CCR	Запрос контроля целостности (Continuity check request)	00010001
7	CGB	Блокировка группы каналов (Circuit group blocking)	00011000
8	CGBA	Подтверждение блокировки группы каналов (Circuit group blocking acknowledgement)	00011010
9	CGU	Разблокировка группы каналов (Circuit group unblocking)	00011001
10	CGUA	Подтверждение разблокировки группы каналов (Circuit group unblocking acknowledgement)	00011011
11	CON	Соединение (Connect)	00000111
12	COT	Проверка целостности (Continuity)	00000101
13	CPG	Соединение устанавливается (Call Progress)	00101100
14	CRG	Информация об оплате (Charge information)	00110001
15	FOT	Вмешательство (Forward transfer)	00001000
16	GRA	Подтверждение сброса группы каналов (Circuit group reset acknowledgement)	00101001
17	GRS	Сброс группы каналов (Circuit group reset)	00010111
18	IAM	Начальное адресное сообщение (Initial address)	00000001
19	INF	Информация (Information)	00000100
20	INR	Запрос информации (Information request)	00000011
21	REL	Запрос разъединения (Release)	00001100
22	RES	Возобновление (продолжение) вызова (Resume)	00001110
23	RLC	Подтверждение разъединения (Release complete)	00010000
24	RNG	Вызов (Ringing)	11111111
25	RSC	Сброс канала (Reset circuit)	00010010
26	SAM	Последующее адресное сообщение (Subsequent address)	00000010
27	SUS	Приостановление соединения (Пауза) (Suspend)	00001101
28	UBA	Подтверждение разблокировки (Unblocking acknowledgement)	00010110
29	UBL	Разблокировка (Unblocking)	00010100

2. *Сообщения общего управления.* Здесь имеется всего одно сообщение — проверка целостности COT, которое передается в прямом направлении для указания наличия или отсутствия целостности предыдущего и последующего каналов в соединении, включая возможность изменения маршрутизации соединения.

3. *Сообщения установления соединения, передаваемые в обратном направлении:* а) сообщение о приеме всего адреса АСМ, которое указывает, что все адресные сигналы, требуемые для маршрутизации вызова, приняты; оно также содержит дополнительную информацию: вызов с оплатой или без оплаты, входящий доступ ISDN или аналоговый, включен ли входящий полуконтакт эхоподавляющих устройств и др.; б) соединение CON — указывает, что все адресные сигналы, требуемые для маршрутизации вызова, приняты, и на вызов был дан ответ; в) соединение устанавливается CPG — сообщение может передаваться как в прямом, так и в обратном направлениях. Информировать другую сторону о событиях, происходящих во время вызова.

4. *Сообщения управления вызовом:* а) ответ ANM — сообщение передается в обратном направлении; б) отбой вызываемого абонента CCL — сообщение передается в прямом направлении при отбое вызываемого абонента при взаимодействии с существующими системами сигнализации для идентификации злонамеренного вызова; в) вмешательство FOT — посылается в прямом направлении при полуавтоматическом вызове, когда оператор исходящей международной станции запрашивает оператора входящей международной станции; г) запрос разъединения REL — передается в любом направлении и указывает на то, что канал начал освобождаться и готов вернуться в исходное состояние после приема сообщения RLC. При этом всегда указывается причина начала освобождения: абонент положил трубку, занятость абонента, занятость оборудования, набран несуществующий номер, номер неполный, абонент не отвечает и другие причины, а также информация о том, от какого участка сети пришло сообщение (транзитной сети, международной сети, от пользователя и др.); д) вызов RNG — сообщение передается в прямом направлении после отбоя вызываемого абонента и информирует о начале или конце посылки сигнала «Повторный вызов» при полуавтоматической международной связи.

5. *Сообщения управления каналами:* а) подтверждение разъединения RLC — передается в любом направлении в ответ на прием сообщения запроса разъединения REL или сообщения сброса группы каналов. Указывает на то, что занятый канал переведен в исходное состояние; б) запрос контроля целостности CCR — посылается на противоположную станцию для запроса проверки целостности канала и подключенного оборудования станции; в) сброс канала RSC — посылается для освобождения канала при переполнении памяти или в других случаях, когда отсутствует сообщение подтверждения разъединения RLC. Если на приемном пункте канал удаленно заблокирован, то принятие этого сообщения должно привести к разблокировке канала; г) блокировка канала связи BLO — посылается только при техобслуживании станции в противоположную сторону для указания невозможности занятия на противоположной станции исходящих каналов для последующих вызовов; д) разблокировка UBL — сообщение посылается на противоположную сторону для отмены действия предыдущих сообщений блокировки канала или группы каналов; е) подтверждение блокировки канала BLA — сообщение, посылаемое в ответ на сообщение блокировки, и показывающее, что канал заблокирован; ж) подтверждение разблокировки UBA — сообщение, посылаемое в ответ на сообщение о разблокировке и показывающее, что канал может быть использован; з) приостановление соединения (пауза) SUS — сообщение передается в любом направлении для указания того, что вызывающая или вызываемая части соединений были временно разъединены; и) возобновление (продолжение) вызова RES — сообщение, передаваемое в обоих направлениях для указания возобновления после приостановления вызываемой или вызывающей части соединения.

6. *Сообщения управления группой каналов:* а) блокировка группы каналов CGB — посылается на противоположную станцию для указания блокировки группы каналов, которые будут недоступны для исходящих вызовов на этой станции. Станция, получившая данное сообщение, должна иметь возможность принимать входящие вызовы по блокируемой группе каналов до тех пор, пока она не pošлет сообщение блокировки. При определенных условиях

сообщение блокировки группы каналов является ответом на сообщение сброса канала; б) подтверждение блокировки группы каналов CGBA — посылается в ответ на сообщение блокировки группы каналов CGB для указания того, что требуемая группа каналов заблокирована; в) разблокировка группы каналов CGU — передается на противоположную сторону при необходимости разблокировки определенной группы каналов; г) подтверждение разблокировки группы каналов CGUA — передается в ответ на сообщение разблокировки группы каналов для указания того, что требуемая группа каналов разблокирована; д) сброс группы каналов GRS — передается для освобождения определенной группы каналов когда происходит перегрузка; е) подтверждение сброса группы каналов GRA — посылается в ответ на сообщение сброса группы каналов и указывает, что требуемая группа каналов освобождена.

7. *Сообщения передачи информации:* а) информация об оплате CRG — передается в обоих направлениях для целей тарификации и/или оплаты за вызов; б) запрос информации INR — передается на станцию для запроса информации, связанной с вызовом. Например, для запроса номера вызывающего абонента, если он отсутствует в сообщении IAM. Данное сообщение обеспечивает поддержку услуг «Определение номера вызывающей линии» (CLIP) и «Определение номера вызываемой линии» (COLP); в) информация INF — передается в ответ на сообщение «Запрос информации» INR.

Каждое сообщение ISUP содержит обязательные и необязательные параметры. Обязательные параметры могут быть фиксированной и переменной длины.

На рис. 5.10 представлена диаграмма, иллюстрирующая процедуры установления и разрушения основного соединения с участием ISUP.

При приеме запроса установления соединения от вызывающего абонента А. Исходящая АТС А анализирует содержащуюся в заявке информацию и формирует начальное адресное сообщение IAM. Анализ номера вызываемого абонента позволяет исходящей АТС А определить направление маршрутизации вызова. Вызов направляется к транзитной АТС В, выполняющей также функции транзитного пункта сигнализации STP. Анализ информации, содержащейся в IAM, определяет также характеристики средств доставки информации, например, канал 64 кбит/с. Эта информация посылается к транзитной АТС В, а разговорный тракт проключается в обратном направлении к вызывающему абоненту. Проклочение тракта только в обратном направлении на этой стадии позволяет вызывающей стороне слышать тональные сигналы, посылаемые сетью, но препятствует передаче информации от вызывающей стороны в разговорный тракт.

Транзитная АТС В принимает сообщение IAM и анализирует содержащуюся в нем информацию. Анализ цифр номера вызываемого абонента на транзитной АТС В определяет дальнейший маршрут к входящей АТС Б. Далее сообщение IAM передается от АТС В к АТС Б, от которой также проключается разговорный тракт.

При приеме сообщения IAM входящей АТС Б анализируется номер вызываемого абонента и определяется, достаточна ли принятой информации от исходящей АТС А для организации связи с вызываемым абонентом. Если выясняется, что требуется дополнительная информация, к исходящей АТС направляется сообщение из конца в конец, в котором формулируется это требование. Транзитной АТС В не нужно анализировать это сообщение, так как оно передается через сеть без обработки. Исходящая АТС А предоставляет запрошенную информацию, передавая ответное сообщение из конца в конец.

После приема необходимой информации на входящей АТС Б вызываемый абонент уведомляется о входящем вызове, а от АТС Б к транзитной АТС В передается сообщение АСМ о принятии полного адреса. Транзитная АТС В передает сообщение АСМ к исходящей АТС А. Прием сообщения АСМ на любой станции, участвующей в соединении, указывает на успешную подготовку соединения и позволяет удалить из памяти маршрутную информацию, связанную с этим соединением.

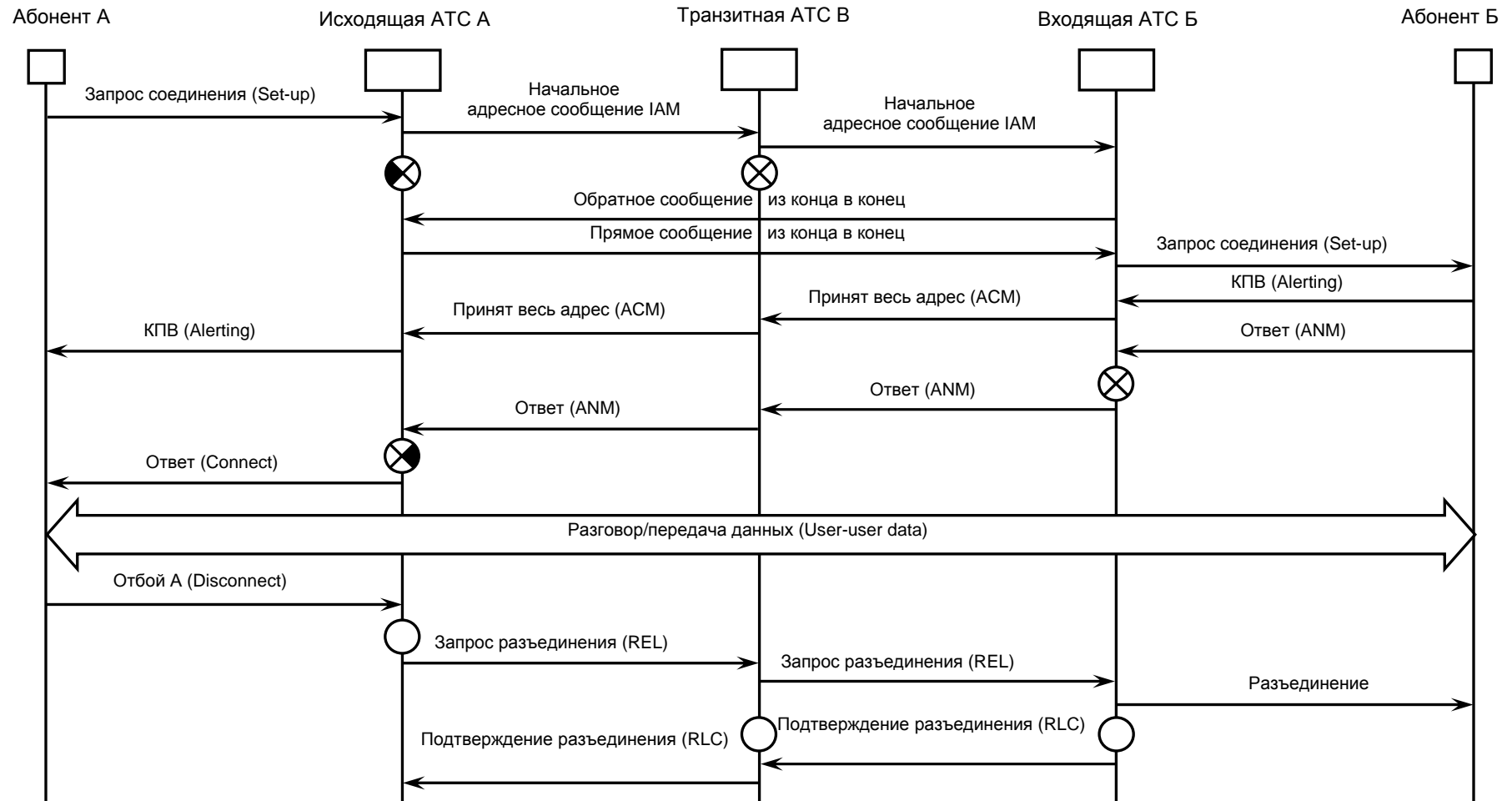


Рис. 5.10. Установление и разрушение основного соединения с участием USUP:

- ⊗ — проключение разговорного тракта; ⊗ — проключение разговорного тракта в прямом направлении;
- ⊗ — проключение разговорного тракта в обратном направлении; ○ — освобождение разговорного тракта

Когда вызываемый абонент отвечает на вызов, входящая АТС Б передает сообщение ответа ANM на транзитную АТС В, которая, в свою очередь, пересылает это сообщение к исходящей АТС А. В результате устанавливается соединение вызывающего абонента с вызываемым абонентом, начинается начисление платы и происходит разговор (или обмен данными).

Разъединение может быть произведено по инициативе любого из участников. На рис. 5.10 показан случай, когда первым дает отбой вызывающий абонент. Исходящая АТС А принимает от него сигнал отбоя и передает сообщение запроса разъединения REL на транзитную АТС В, которая транслирует это сообщение входящей АТС Б и освобождает свои ресурсы, занятые в соединении, после чего информирует об этом исходящую АТС А сообщением подтверждения разъединения RLC. Аналогичные действия осуществляются на входящей АТС Б: прием сообщения REL, освобождение ресурсов, передача сообщения RLC к транзитной АТС В.

5.5.4. Описание подсистемы управления SCCP

Подсистема SCCP предназначена для полного обеспечения услуг сетевого уровня ВОС, которые не может обеспечить МТР-3, работающая в датаграммном режиме. Необходимость введения SCCP возникла с появлением новых услуг для интеллектуальной сети и сетей мобильной связи. Задача SCCP состоит в формировании и маршрутизации сообщений МТР к соответствующей подсистеме пользователя, он обеспечивает средства управления при передаче сообщений, не связанных с разговорным каналом; для установления виртуальных каналов сигнализации ОКС № 7, а также для передачи не связанных с речевой информацией данных между узлом и базой данных и между базами данных.

Адресация в МТР рассчитана на датаграммный режим и ограничивается доставкой сообщений между узлами сети и их распределения внутри узла при помощи четырехбитового поля SI (см. рис. 5.7). Подсистема SCCP дополняет услуги МТР-3, предоставляя расширенные возможности адресации, использующие кроме кода пункта назначения DPC, номер подсистемы SSN (Subsystem Number), который идентифицирует подсистему пользователя SCCP внутри узла сети. Кроме этого SCCP позволяет адресовать сообщения с помощью глобальных заголовков GT (Global Titles), в качестве которых могут выступать, например, цифры телефонного номера абонента.

Протокол SCCP обеспечивает услуги четырех классов: два класса услуг, предоставляемых в датаграммном режиме, и два — услуг с созданием виртуального канала. Класс выбирает пользователь при передаче сообщения:

- класс 0 — основной, без контроля последовательности сообщений. Информация пользователя поступает с верхнего уровня в блоках данных NSDU (Network Service Data Unit — сервисный блок данных сетевого уровня) и доставляется функциями SCCP пользователю в пункте назначения

- класс 1 — упорядоченный, без установления виртуального канала, но с контролем последовательности сообщений. При этом SCCP присваивает каждому NSDU параметр контроля потока, а всем сообщениям потока — одинаковый код SLS;

- класс 2 — с установлением виртуального канала, но без управления потоком сообщений. Осуществляет двунаправленную передачу NSDU через установленное сигнальное соединение. Кроме того, поддерживается сегментация и сборка сообщений для передачи блоков NSDU длиной более 255 байт;

- класс 3 — с установлением виртуального канала с управлением потоком сообщений. К услуге класса 2 добавляется протокол управления потоком. Также поддерживается обнаружение потери и нарушения последовательности сообщений.

Формат сообщения SCCP показан на рис. 5.11.



Рис. 5.11. Структура сообщения SCCP и его связь с MTP

Сообщение SCCP аналогично сообщениям протокола ISUP состоит из следующих частей: код типа сообщения; обязательная фиксированная часть; обязательная переменная часть; необязательная часть, которая может содержать фиксированную длину и поля переменной длины. Для SCCP разработаны собственные типы сообщений. Рассмотрим лишь некоторые из них:

- запрос соединения CR (Connection Request) — передается вызывающей стороной к вызываемой для запроса установки соединения сигнализации между двумя объектами; сообщение используется в течение фазы установления соединения протоколом класса 2 или 3 с установлением виртуального канала;

- подтверждение соединения CC (Connection Confirm) — передается вызываемой стороной, чтобы указать вызывающей, что установление соединения сигнализации выполнено, используется в течение фазы установления соединения протоколом класса 2 или 3 с установлением виртуального канала;

- отказ от соединения CREF (Connection Refused) — сообщает вызывающей стороне, что произошел отказ в установлении соединения сигнализации, используется в течение фазы установления соединения протоколом класса 2 или 3 с установлением виртуального канала;

- форма данных 1 DT1 (Data Form 1) посылается к любому концу соединения сигнализации, чтобы однозначно передать данные пользователя между двумя узлами. Это сообщение используется в течение фазы передачи данных только в классе 2. Аналогичное сообщение DT2 (Data Form 2) посылается чтобы однозначно передать данные пользователя между двумя узлами. Это сообщение используется в течение фазы передачи данных только в классе 3;

- срочные данные ED (Expedited Data) — такое же сообщение, как и «форма данных 2», но дает дополнительную возможность обойти механизм управления потоком данных. Это сообщение используется в течение фазы передачи данных только в классе 3. В ответ передается сообщение EA (Expedited data Acknowledgement) — подтверждение срочных данных;

- освобождение соединения RLSD (Released) посылается в прямом или обратном направлении, чтобы указывать, что протокол SCCP начинает освобождать соединение сигнализации и соответствующие ресурсы; используется в течение фазы освобождения соединения в протоколах классов 2 и 3. В ответ на него поступает сообщение RLC (Release Complete) — полное освобождение;

- блок данных UDT (Unitdata) — используется стороной, желающей послать данные в режиме без установления виртуального канала, используется в классах 0 и 1.

- расширенный блок данных XUDT (eXtended Unitdata) — используется стороной, желающей послать данные (наряду с необязательными параметрами) в датаграммном режиме;

- подсистема перегружена SSC (SubSystem Congested) — посылается узлом SCCP, когда он испытывает перегрузку. Это сообщение используется для управления;

- длинный блок данных LUDT (Long Unitdata) — используется, чтобы посылать данные размером до 3952 октетов без сегментации. Это сообщение используется в классах 0 и 1.

SCCP обладает своей собственной функцией маршрутизации. При маршрутизации SCCP в ОКС № 7 используются три элемента:

- код пункта назначения (DPC),
- глобальный заголовок (GT),
- номер подсистемы (SSN).

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Почему в России в основном используются аналоговые абонентские линии?
2. Чем при батарейно-импульсном способе сигнализации выгодно соотношение пауз и импульсов, применяемое в Южной Америке?
3. Как Вы думаете, почему в коде DTMF частоты подобраны негармонически?
4. Изобразите цикл абонентского доступа BRI без служебных бит.
5. Всегда ли на канальном уровне DSS-1 применяется механизм исправления ошибок?
6. Почему в системе сигнализации R2D, в отличие от R1D стала возможна передача запроса повторения сигнала в прямом направлении?
7. Как Вы думаете, почему в России получили распространение несколько систем одно-частотной сигнализации?
8. Зачем нужны сверхциклы в сигнализации R2D?
9. Изобразите набор цифр номера Вашего варианта в сигнализации 2BCK.
10. Почему ОКС № 6, разработанная для КЭАТС, работала по аналоговым каналам?
11. Сколько STP может быть в сигнальном маршруте при нормальных условиях и в аварийном режиме?
12. Сколько кодов OPC и DPC имеет SP, одновременно работающий как ISP и NSP?
13. Для чего нужны FISU?
14. Относится ли SCCP к системе доставки сообщений ОКС № 7?
15. Какому уровню BOC соответствует MTP-3?
16. В каких случаях посылаются LSSU?
17. Раскрывается ли информация поля SIF на STP?
18. Какие дополнительные услуги предоставляет абонентам протокол ISUP?
19. Чем определяется порядок следования обязательных параметров в поле SIF протокола ISUP?
20. Сравните сообщения протокола ISUP из табл. 5.5 и сигналы более ранних аналоговых и цифровых систем сигнализации, представленные в табл. 5.1 — 5.4.
21. В каких системах сигнализации учитывается наличие эхозаградителей?
22. Как изменится сигнальный обмен на рис. 5.10, если первым даст отбой вызываемый абонент?
23. Сколько классов обслуживания в протоколе SCCP?
24. Сравните сообщения протоколов ISUP и SCCP.

6. СЕТИ ПОДВИЖНОЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM

Общеввропейский стандарт мобильной связи GSM (Global System for Mobile Communication) разрабатывался в рамках Евросоюза при участии основных европейских телекоммуникационных компаний. Стандарт предусматривал переход на цифровые методы передачи, обеспечение межсетевого и международного роуминга. Для него были разработаны специальные интерфейсы, большое внимание было уделено безопасности передачи информации. Первоначально передача велась только в режиме коммутации каналов, но затем в стандарт были введены и технологии пакетной передачи данных.

При построении канального плана стандарта GSM использованы принципы как частотного (FDMA), так и временного (TDMA) множественного доступа. Стандарт GSM предусматривает передачу информации в двух диапазонах частот. Полоса частот 890...915 МГц используется для передачи сообщений с подвижной станции на базовую станцию (прямой канал), а полоса частот 935...960 МГц — для передачи сообщений с базовой станции на подвижную (обратный канал). При переключении каналов во время сеансов связи разность между этими частотами (дуплексный разнос) постоянна и равна 45 МГц. Один частотный канал занимает полосу $\Delta f = 200$ кГц, так что всего в полном диапазоне с учетом защитных полос размещается 124 частотных канала. Центральная частота канала (в МГц) связана с его номером следующими соотношениями [6]:

обратный канал: $f_0 = 890,200 + 0,200N$; $1 \leq N \leq 124$;

прямой канал: $f_0 = 935,200 + 0,200N$; $1 \leq N \leq 124$.

В стандарте GSM каждый частотный канал разделен еще и во времени, и TDMA позволяет разместить на одной несущей частоте 8 речевых каналов. Таким образом, общее число каналов составляет $8 \times 124 = 992$.

6.1. Структура сети стандарта GSM

Оборудование сети GSM включает в себя подвижные станции, базовые станции, цифровые коммутаторы, центр управления и обслуживания, различные дополнительные системы и устройства [5, 27]. Структурная схема сети стандарта GSM показана на рис. 6.1. Здесь имеются две подсистемы: *подсистема базовых станций* (BSS) и *подсистема коммутации* (SSS).

Подвижные станции (MS) — абонентские терминалы, предназначенные для организации доступа абонентов GSM к существующим сетям связи. В рамках стандарта GSM приняты пять классов MS: от модели 1-го класса с выходной мощностью до 20 Вт, устанавливаемой на транспортных средствах, до модели 5-го класса с максимальной выходной мощностью 0,8 Вт. При передаче сообщений предусматривается адаптивная регулировка мощности передатчика, обеспечивающая требуемое качество связи.

Каждому подвижному абоненту сети GSM присваивается ряд номеров и идентификаторов. Так, для реализации роуминга используется международный идентификатор подвижного абонента (International Mobile Subscriber Identification — IMSI). Он записывается в ПЗУ SIM-карты, вставляемой в подвижную станцию. Идентификатор IMSI включает: код подвижной связи страны MCC — 3 знака (для России MCC = 250); код сети оператора MNC — 2 знака; номер абонента в сети оператора MSIN — 10 знаков; номер сети общего пользования MS — соответствует телефонной нумерации каждой сети оператора сотовой связи; вре-

менный роуминговый номер MSRN (Mobile Station Roaming Number) — выделяется при установлении входящего соединения к абоненту-роумеру на время установления соединения, но не больше 30 с. Блок номеров MSRN выделяется из общей телефонной нумерации сети оператора сотовой связи. Также каждой подвижной станции присваивается еще один идентификационный номер — IMEI, который используется для исключения доступа к сетям GSM с помощью похищенной станции или станции, не обладающей такими полномочиями.

Оборудование подсистемы базовых станций (BSS) состоит из *контроллеров базовых станций* (BSC) и собственно *приемопередающих базовых станций* (BTS). Один контроллер может управлять несколькими станциями BTS. Он выполняет следующие функции: управление распределением радиоканалов; контроль соединения и регулировку их очередности; обеспечение режима работы с «прыгающей» частотой, модуляцию и демодуляцию сигналов, кодирование и декодирование сообщений, кодирование речи, адаптацию скорости передачи речи, данных и сигналов вызова; управление очередностью передачи сообщений персонального вызова.

Транскодер (TCE) обеспечивает сжатие выходных сигналов канала передачи речи и данных (64 кбит/с) к виду, соответствующему рекомендациям GSM по радиointерфейсу (9,6 кбит/с). Транскодер обычно располагается вместе с MSC.

Оборудование подсистемы коммутации (SSS) состоит из *центра коммутации подвижной связи* (MSC), *домашнего регистра местоположения* (HLR), *гостевого регистра местоположения* (VLR), *центра аутентификации* (AUC) и *регистра идентификации оборудования* (EIR).

Центр коммутации MSC представляет собой обычную ЦАТС. Он обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений для абонентских MS, а также связывает сеть подвижной связи с фиксированными сетями и обеспечивает маршрутизацию вызовов и функцию управления вызовами. В качестве центров коммутации в СПСС используются такие типы ЦАТС, как EWSD (оператор МТС), AXE-10 (оператор Мегафон), S-12 (оператор Билайн) и др. Кроме этого MSC выполняет и специальные функции, например, коммутации радиоканалов, к которым относятся эстафетная передача, обеспечивающая непрерывность связи при перемещении MS из соты в соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностей.

Каждый MSC обслуживает абонентов, расположенных в пределах определенной географической зоны. Именно MSC формирует данные для тарификации разговоров, составляет статистические данные, поддерживает процедуры безопасности при доступе к радиоканалу. При этом MSC осуществляет постоянное слежение за абонентами, используя регистры HLR и VLR. Домашний регистр HLR содержит сведения обо всех абонентах, зарегистрированных в данной системе, и о видах услуг, которые могут быть им оказаны. Здесь же фиксируется местоположение абонента для организации его вызова и регистрируются фактически оказанные услуги. Гостевой регистр VLR содержит примерно такие же сведения об абонентах-гостях (роумерах), т. е. об абонентах, зарегистрированных в другой системе, но пользующихся в настоящее время услугами сотовой связи в данной системе.

Для исключения несанкционированного использования ресурсов сети сотовой связи в нее введены механизмы аутентификации. Центр аутентификации (AUC) состоит из нескольких блоков. Он формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента и осуществляется его доступ к сети. Центр AUC принимает решения о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи шифрования на основе базы данных, находящейся в регистре идентификации оборудования (EIR).

Каждый подвижный абонент для пользования сетью сотовой связи получает стандартный модуль подлинности абонента (SIM-карту), который содержит: идентификатор IMSI, индивидуальный ключ аутентификации (Ki), алгоритм аутентификации. С помощью информации, записанной в SIM-карте, в результате обмена данными между MS и сетью осуществляется полный цикл аутентификации и разрешается доступ абонента к сети.

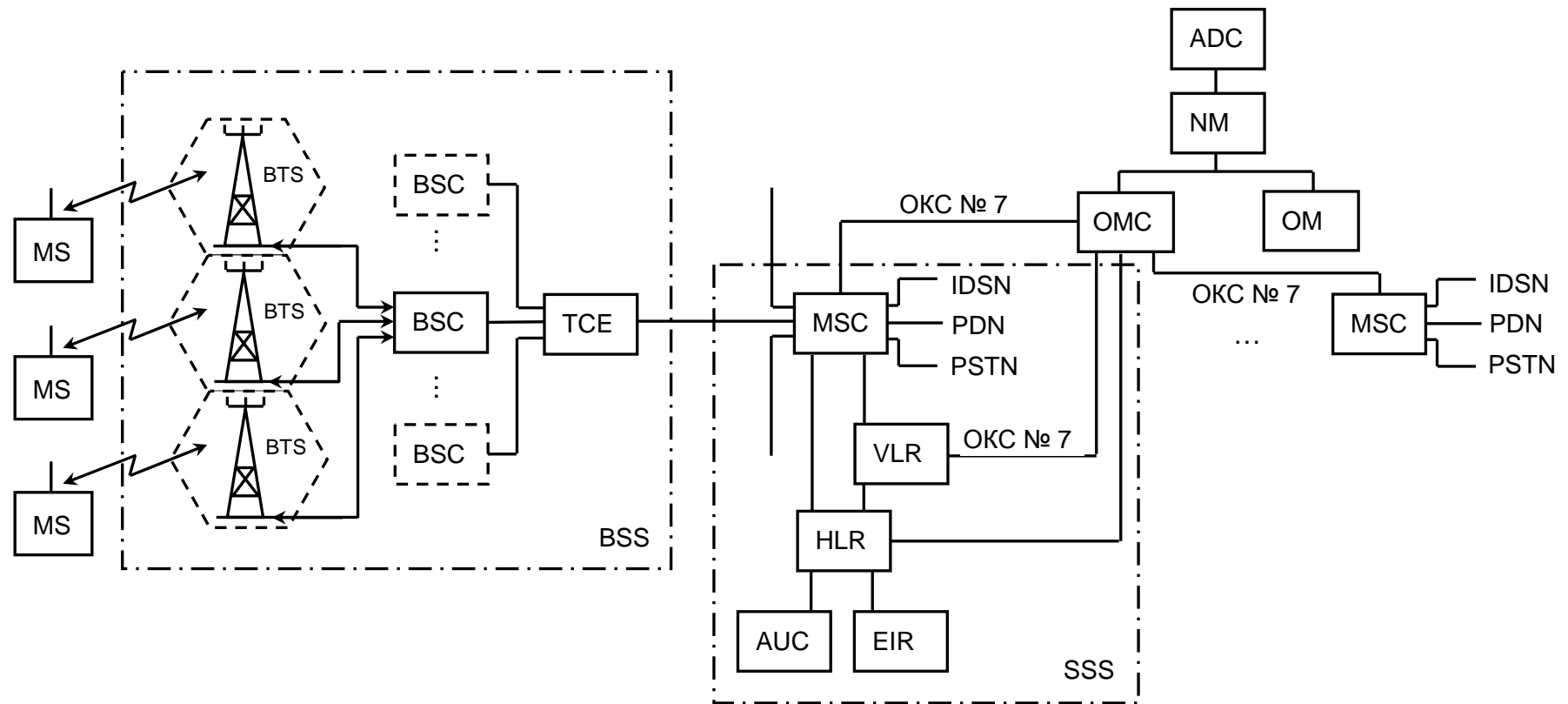


Рис. 6.1. Структурная схема сети стандарта GSM:

MS — подвижная станция; BTS — базовая станция; BSC — контроллер базовых станций; TCE — транскодер; BSS — подсистема базовых станций; MSC — центр коммутации подвижной связи; HLR — основной (домашний) регистр местоположения; VLR — гостевой регистр местоположения; AUC — центр аутентификации; EIR — регистр идентификации оборудования; OMC — центр управления и обслуживания; NMC — центр управления сетью; ADC — административный центр; PSTN — телефонная сеть общего пользования; PDN — сеть пакетной передачи; ISDN — цифровая сеть с интеграцией служб; SSS — подсистема коммутации

Регистр идентификации оборудования (EIR) содержит сведения об эксплуатируемых подвижных станциях на предмет их исправности и санкционированного использования.

Центр управления и обслуживания (ОМС) обеспечивает управление элементами сети и качеством ее работы. В функции ОМС входит: регистрация и обработка аварийных сигналов, устранение неисправностей, проверка состояния оборудования сети и прохождения вызова от MS, управление трафиком, сбор статистических данных, управление программным обеспечением и базами данных и др.

Центр управления сетью (NMC) обеспечивает техническое обслуживание и эксплуатацию на уровне всей сети, поддерживаемой центрами ОМС (которые обеспечивают управление региональными сетями). В функции NMC входит: управление трафиком в пределах всей сети GSM, диспетчерское управление сетью в аварийных ситуациях (выход из строя или перегрузка узлов), контроль состояния устройств автоматического управления в оборудовании сети, контроль соединений между GSM и ТфОП и др.

6.2. Сигнальный обмен в сети стандарта GSM

Для поддержки сигнализации в сети GSM между ее функциональными модулями разработаны две прикладные подсистемы ОКС № 7: *пользователей подвижной связи* — MAP (Mobile Application Part) и *базовых станций* — BSSAP (Base Station System Application Part).

Протокол MAP организует обмен (транзакции) между различными базами данных и основывается на протоколе TCAP (Transaction Capabilities Application Part). Он используется для передачи информации о роуминге и другой сигнальной информации из одной сотовой сети в другую. Протокол MAP не только обеспечивает передачу информации между сотовыми системами, но и организует активизацию тех или иных операций с удаленного конца. Например, при поступлении определенных сообщений из другой сотовой сети активизируются услуги сотовой сети, которой принадлежит вызывающий абонент, а также передаются в обратном направлении результаты активизации тех или иных услуг.

К основным процедурам MAP относятся:

- обеспечение возможности роуминга;
- перерегистрация и стирание предыдущей информации о местоположении абонента;
- дополнительные виды обслуживания;
- изменение абонентских данных в регистрах HLR и VLR;
- передача информации об оплате и др.

Информация о местоположении абонента должна обновляться каждые несколько минут с помощью сообщений TCAP, передаваемых между центрами коммутации подвижной связи для идентификации этого мобильного абонента. Для этого каждый абонент сотовой сети всегда должен быть зарегистрирован в собственной базе данных HLR. Эта запись обновляется каждые несколько минут.

Когда к абоненту поступает входящий вызов, регистр HLR определяет, каким образом можно соединиться с этим абонентом в зависимости от его текущего местоположения. По мере перемещения абонента из одной зоны в другую содержимое регистра HLR постоянно обновляется с помощью сообщений протокола MAP ОКС № 7. Такой механизм позволяет мобильному абоненту свободно передвигаться в пределах всей сети без риска потерять входящие вызовы.

На рис. 6.2 показаны основные процедуры взаимодействия по протоколу MAP в сети GSM при входящем вызове к подвижному абоненту, который в данный момент находится в роуминге:

1 — прибывший подвижный абонент фиксируется ближайшей базовой станцией в визитной сети GSM; передается его идентификатор IMSI;

2 — обновляются данные о местоположении подвижного абонента: полученный из VLR идентификатор абонента IMSI коммутационный центр визитной сети MSC2 передает в его регистр HLR; HLR проверяет право абонента на роуминг и передает подтверждение на обновление данных;

3 — в опорную сеть поступает вызов абоненту, находящемуся в сети другого оператора GSM;

4, 5, 6 — процедуры запроса/передачи временного роумингового номера MSRN для установления соединения;

7 — установление соединения по номеру MSRN, выделенному для подвижного абонента в зависимости от национального или международного роуминга, либо через междугородную, либо через международную сеть.

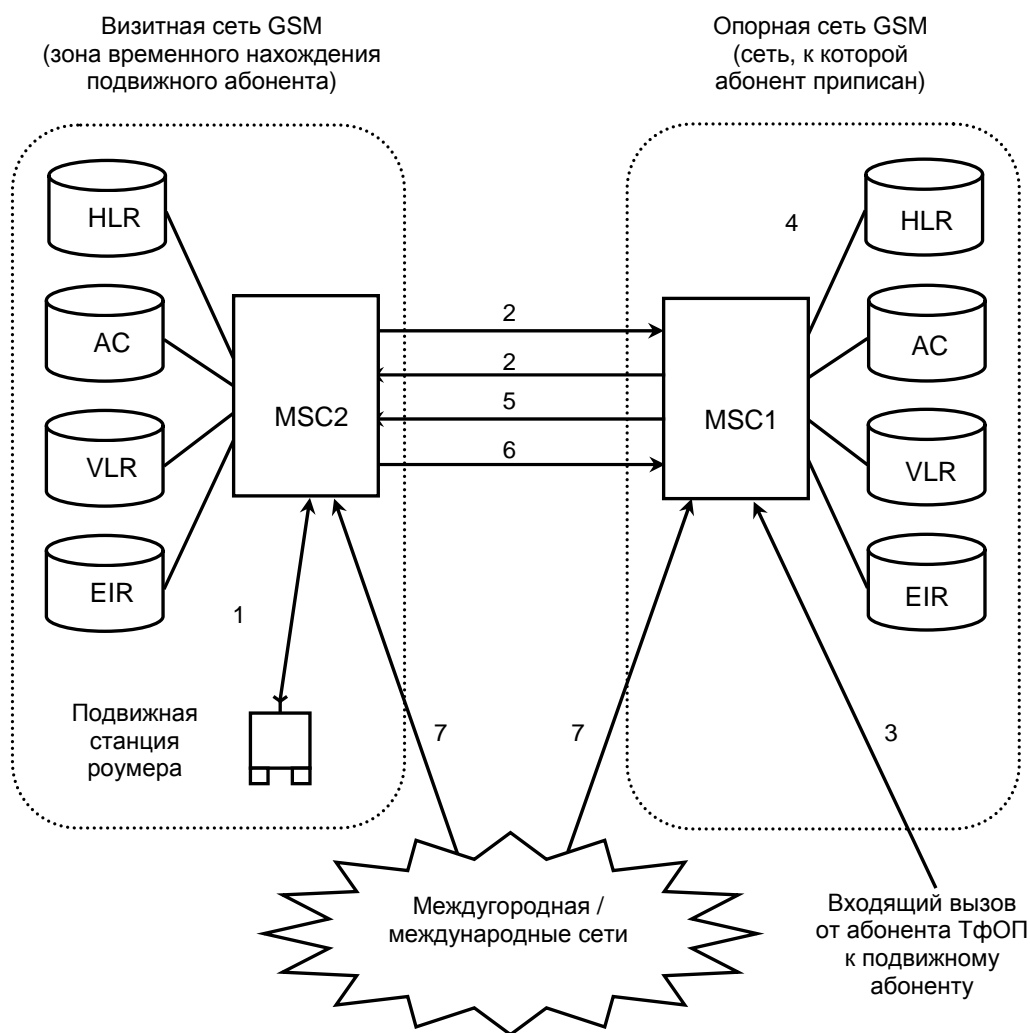


Рис. 6.2. Процедуры взаимодействия сетей при роуминге

Протокол BSSAP представляет собой прикладной протокол взаимосвязи центров коммутации MSC с контроллерами базовых станций BSC. Протокол состоит из трех частей: прикладной подсистемы управления системой базовых станций BSSMAP (Base Station System Management Application Part), прикладной подсистемы прямой транспортировки DTAP (Direct Transfer Application Part) и подсистемы разделения сообщений. Подсистема BSSAP пользуется услугами транспортной части MTP и подсистемы SCCP.

Основные *разговорные соединения* в сетях стандарта GSM устанавливаются с помощью протокола ISUP, который рассмотрен ранее в подразд. 5.5.4. При этом коммутатор подвижной связи ведет себя как обычная ЦАТС (см. гл. 4).

6.3. Служба SMS в мобильных сетях стандарта GSM

Служба коротких сообщений SMS является услугой узкополосной сети NB-ISDN и позволяет передавать небольшие объемы данных (короткие сообщения) по ядру сети с помощью ОКС № 7. Конечно, служба SMS может быть реализована и на ТфОП, но на ней в настоящее время еще имеется большое количество оборудования, не предоставляющего услуг ISDN, в первую очередь аналоговый абонентский доступ.

Служба SMS предоставляет абонентам возможность глобального доступа во все типы и виды сетей передачи данных: Интернет (службы WWW и электронная почта), пейджинговые сети, мобильные сети других операторов и стандартов, информационно-справочные сети различных поставщиков услуг, факсимильная связь и т. д. Это позволяет абонентам вести обмен короткими сообщениями и получать доступ к самой разнообразной информации (новости, финансы, расписание поездов, справки, уведомления и т. п.) в любое время и в любом месте.

Идея обмена небольшими блоками текстовой информации между мобильными абонентскими станциями была предложена в начале 1990-х гг. С появлением мобильных аппаратов, экраны которых могли отображать алфавитно-цифровую информацию, их владельцы получили возможность набора и чтения коротких текстов.

Отличительной особенностью службы SMS (и одним из ее преимуществ перед традиционной пейджинговой связью) является гарантированная доставка сообщения адресату. Сообщение поступит на мобильный телефон независимо от того, ведется ли в данный момент по нему разговор (обмен данными) или он находится в режиме ожидания, оно в конце концов дойдет до адресата и в том случае, если последний временно недоступен (например, он находится вне зоны действия сотовой сети или его телефон выключен). Система автоматически определяет факт неудачной попытки соединения, запоминает сообщение и хранит его до тех пор, пока доставка не будет реализована.

Стандарт GSM предусматривает возможность реализации двух режимов услуги SMS:

– *режим индивидуального обмена сообщениями* (по схеме «точка — точка»). Этот режим предполагает передачу между мобильной станцией абонента и центром обработки сообщений блока данных размером не более 163 байт (ограничение вызвано длиной CE ОКС № 7, передающей сообщение) с подтверждением его получения принимающей стороной. При этом внутренний формат SMS-сообщения выглядит следующим образом: 1 байт заголовка, содержит тип сообщения; 7 байт — временная отметка SMS-центра; до 12 байт — адрес источника сообщения; 1 байт — идентификатора протокола; 1 байт — схема кодирования данных; 1 байт — длина пользовательской области данных; до 140 байт — сообщение.

– *широковещательный режим* (по схеме «точка — многоточка»). Этот режим предназначен для односторонней передачи сведений общего характера (сводки погоды, условия дорожного движения и т. д.) мобильным пользователям, находящимся в данный момент в пределах всей сотовой сети или определенной ее части. Текстовые сообщения формируются в центре вещания SMS (Cell Broadcast Short Message Service). Они адресованы одновременно всем абонентам и подтверждения факта приема не требуется, поэтому сообщения поступают (непосредственно или через контроллер) на базовые приемопередающие станции, минуя центр мобильной коммутации. От базовой станции до мобильной станции сообщения передаются по одному из служебных каналов общего пользования (Broadcast Control Channel — BCCH), предусмотренных спецификациями GSM.

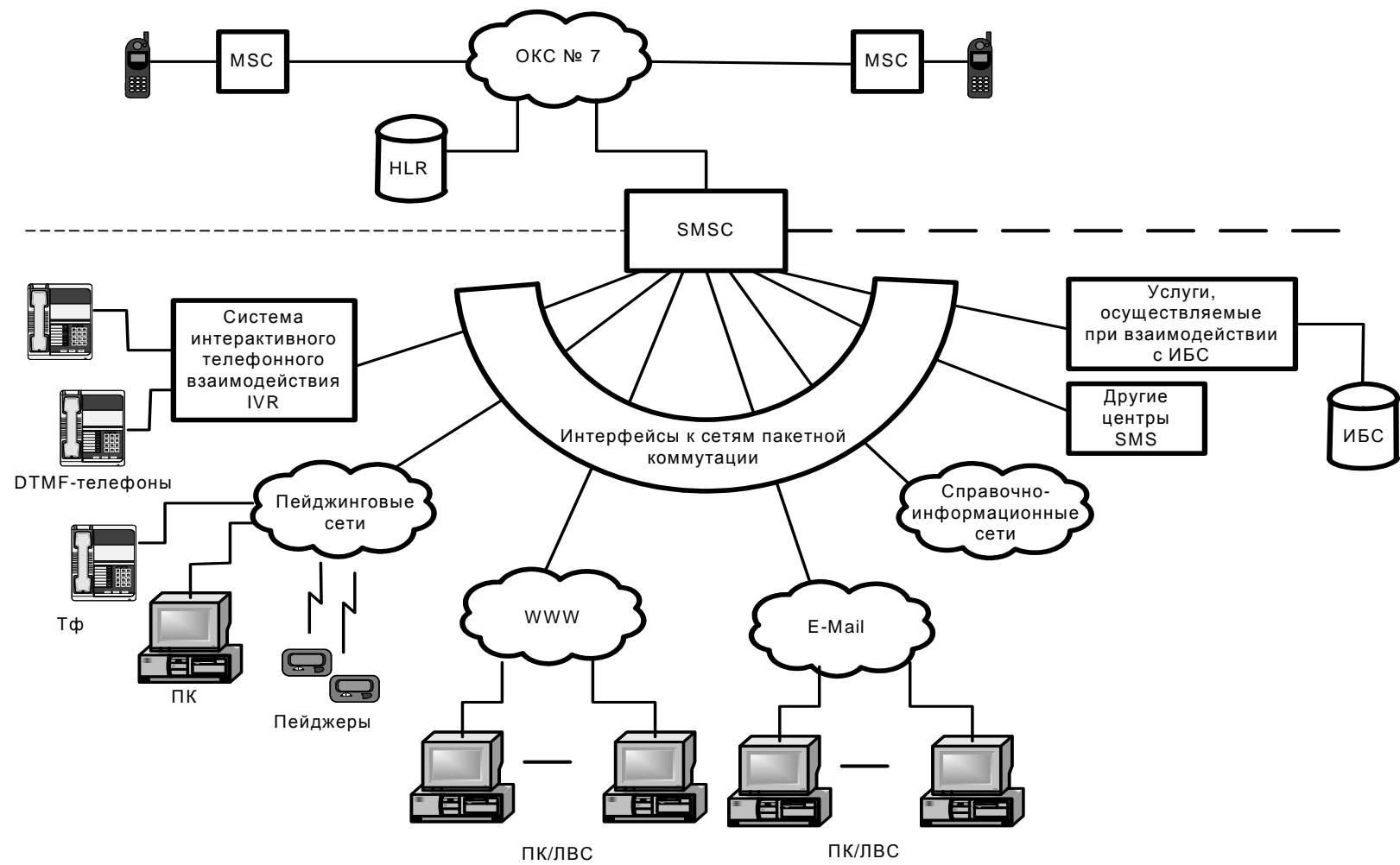


Рис. 6.3. Структура взаимодействия центра SMS с коммутаторами мобильной связи и внешними сетями

Для организации службы SMS на СПСС создается центр обработки сообщений (Short Message Service Center — SMSC), который и выполняет все функции, связанные с получением, промежуточным хранением и контролем за доставкой сообщений абонентам. Хотя состав входящего в SMSC оборудования и ПО может быть различным для разных сетей, в его структуре обычно выделяют типовые компоненты: это сервер сообщений (непосредственно занимается обработкой сообщений и отслеживает их доставку) и шлюзовое устройство. Последнее обеспечивает взаимодействие сервера с элементами сетевой инфраструктуры (центром коммутации мобильной связи MSC, опорным регистром местонахождения HLR), интерфейс со службами голосовой и электронной почты, а также связь с внешними для данной сети источниками сообщений, например центрами SMSC других мобильных систем (рис. 6.3).

В мобильных сетях стандарта GSM длина короткого сообщения в силу особенностей построения системы сигнализации ОКС № 7 ограничена. Все мобильные абонентские терминалы поддерживают код ASC II, разработанный для английской клавиатуры компьютера. Один знак в этом коде кодируется семью битами.

Рассмотрим пример SMS-сообщения, посланного транслитом:

Octet	Binary		Hex	Type	Description
10:03:33.491649; Size 148					
Octets					
1	10110110	b6	MF	BSN=54; BIB=1	
2	01100110	66	MF	FSN=102; FIB=0	
3	10010100	3f	MF	Spare=0; LI=MSU	
4	00000011	03	MF	SI=SCCP; Spare=0; NI=International Message	
5	00101001	29	MF	DPC=4905	
6	00010011	13	MF	OPC=5124	
7	00000001	01	MF		
8	11110101	f5	MF	SLS=15	
9	00001001	09	MF	MT=Unitdata	
10	10000001	81	MF	Protocol Class=Class 1;	
Message Handling=Return message on error					
11	00000011	03	MF	Pointer to Called Address Information=3 octets	
12	00001110	0e	MF	Pointer to Calling Address Information=14 octets	
13	00011001	19	MF	Pointer to Data=25 octets	
14	00001011	0b	MV	Called Address Information Length=11 octets	
15	00010010	12	MV	Routing Indicator=Routing based on global title;	
Global title indicator=Tran Type, Num Plan,					
Encoding Scheme, Addr Ind; SSN Indicator=Address					
contains a Subsystem Number; Spare=0; Point Code					
Indicator=Address does not contain a Signalling					
Point Code					
16	00001000	08	MV	Called SSN=MAP	
17	00000000	00	MV	Translation Type=0	
18	00010001	11	MV	Encoding Scheme=BCD, odd number of digits;	
Numbering Plan=ISDN/Telephony					
19	00000100	04	MV	Nature of Address Indicator=International number;	
Spare=0					
20	10010111	97	MV	Called Address Information=79023700295	
21	00100000	20	MV		
22	01110011	73	MV		
23	00000000	00	MV		
24	10010010	92	MV		
25	00000101	05	MV		
26	00001011	0b	MV	Calling Address Information Length=11 octets	
27	00010010	12	MV	Routing Indicator=Routing based on global title;	
Global title indicator=Tran Type, Num Plan,					
Encoding Scheme, Addr Ind; SSN Indicator=Address					
contains a Subsystem Number; Spare=0; Point Code					

			Indicator=Address does not contain a Signalling Point Code
28 00001000	08	MV	Calling SSN=MAP
29 00000000	00	MV	Translation Type=0
30 00010010	12	MV	Encoding Scheme=BCD, even number of digits; Numbering Plan=ISDN/Telephony
31 00000100	04	MV	Nature of Address Indicator=International number; Spare=0
32 10010100	94	MV	Calling Address Information=491710766000
33 01110001	71	MV	
34 00000001	01	MV	
35 01100111	67	MV	
36 00000110	06	MV	
37 00000000	00	MV	
38 10000011	83	MF	Data Length=131 octets
39 01100010	62	MF	MT=Begin
40 10000001	81	MV	Length=128 octets
41 10000000	80	MV	
42 01001000	48	MV	Originating Transaction ID Tag
43 00000100	04	MV	Length=4 octets
44 00111110	3e	MV	Originating Transaction Id=3e761700h
45 01110110	76	MV	
46 00010111	17	MV	
47 00000000	00	MV	
48 01101100	6c	OF	Component Portion Tag
49 01111000	78	OV	Length=120 octets
50 10100001	a1	OV	Invoke
51 01110110	76	OV	Length=118 octets
52 00000010	02	OV	Invoke Id Tag
53 00000001	01	OV	Length=1 octet
54 01010111	57	OV	Invoke Id=87
55 00000010	02	MF	peration Code TagLocal Operation Code
56 00000001	01	MF	Length=1 octet
57 00101110	2e	MF	Operation Code (Invoke)=mo-forwardSM
58 00110000	30	MF	Sequence Tag=30(hex)
59 01101110	6e	MV	Length=110 octets
60 10000000	80	OV	IMSI Tag=80(hex)
61 00001000	08	OV	Length=8 octets
62 01010010	52	OV	IMSI Digits=250070200069350
63 00000000	00	OV	
64 00000111	07	OV	
65 00000010	02	OV	
66 00000000	00	OV	
67 10010110	96	OV	
68 01010011	53	OV	
69 11110000	f0	OV	
70 10000100	84	OF	Service Centre Address DA Tag=84(hex)
71 00000111	07	OV	Length=7 octets
72 10010001	91	OV	No extension; Nature of Address Indicator=International number; Numbering Plan Indicator=ISDN/Telephony Numbering Plan (Rec CCITT E.164)
73 10010100	94	OV	Address=491710760000(hex)
74 01110001	71	OV	
75 00000001	01	OV	
76 01100111	67	OV	
77 00000000	00	OV	
78 00000000	00	OV	
79 00000100	04	MF	SM-RP-UI Tag=4(hex)
80 01011001	59	MV	Length=89 octets
81 00000100	04	MV	TP-Message Type=SMS-DELIVER; More Message To

			Send=No more messages are waiting for the MS in this SC; TP Reply Path=Not set; User Data Header Indicator=TP-UD field contains only the short message; Status Report Indication=Will not be returned to the SME; Padding Bits=0(dec)
82	00001100	0c	MV Length of Address Value=12 nibbles
83	10010001	91	MV Fixed Value; Type of Number=International number; Numbering Plan Identification=ISDN/telephone numbering plan (E.164/E.163)
84	10010100	94	OV TP Originating Address Value=491712612059(hex)
85	01110001	71	OV
86	00100001	21	OV
87	00010110	16	OV
88	00000010	02	OV
89	10010101	95	OV
90	00000000	00	MF TP-PID Category=Telematic Interworking; Telematic Interworking Indicator=No interworking, SME-SME protocol; Spare=0(hex)
91	00000000	00	MF TP-DCS Category=General Data Coding; Text=Uncompressed; Meaning=No meaning; Alphabet=Default alphabet; No Message Meaning=0
92	01000000	40	MF Year=04
93	00100000	20	MF Month=02
94	01000000	40	MF Day=04
95	01110000	70	MF Hour=07
96	01000011	43	MF Minute=34
97	10010000	90	MF Second=09
98	01000000	40	MF Time Zone=Behind; Time Zone Difference=0; Time Zone Difference=4(Quarters)
99	01010000	50	MF User Data Length=48 (hex)
100	11000100	c4	OF Char=D; Char=o
101	10110111	b7	OF Char=b
102	01011000	58	OF Char=r
103	11111110	fe	OF Char=o
104	00101110	2e	OF Char=e
105	10000011	83	OF Char=
106	11101010	ea	OF Char=u
107	01110100	74	OF Char=t; Char=r
108	11111001	f9	OF Char=o
109	00011011	1b	OF Char=
110	00000100	04	OF Char=p
111	10010111	97	OF Char=r
112	10111111	bf	OF Char=o
113	11100111	e7	OF Char=s
114	11101000	e8	OF Char=h; Char=e
115	00110010	32	OF Char=l
116	00011011	1b	OF Char=
117	00100100	24	OF Char=r
118	00101111	2f	OF Char=e
119	10011111	9f	OF Char=g
120	11010011	d3	OF Char=i
121	01110011	73	OF Char=s; Char=t
122	10111010	ba	OF Char=r
123	00111100	3c	OF Char=a
124	00111100	3c	OF Char=c
125	01001110	4e	OF Char=i
126	11010111	d7	OF Char=u
127	01000001	41	OF Char=
128	11101100	ec	OF Char=l; Char=e
129	00110010	32	OF Char=t

130	00111101	3d	OF	Char=a
131	10011100	9c	OF	Char=y
132	10101111	af	OF	Char=u
133	10000011	83	OF	Char=
134	11011010	da	OF	Char=m
135	11101111	ef	OF	Char=o; Char=s
136	11111001	f9	OF	Char=k
137	11011010	da	OF	Char=v
138	01011110	5e	OF	Char=u
139	00000111	07	OF	Char=
140	11011001	d9	OF	Char=v
141	11001011	cb	OF	Char=e
142	01110010	72	OF	Char=r; Char=n
143	01110111	77	OF	Char=u
144	01111101	7d	OF	Char=s
145	00001110	0e	OF	Char=
146	11001010	ca	OF	Char=9
147	10011101	9d	OF	Char=g
148	11011111	df	OF	Char=o

Мы видим, что СЕ ОКС № 7, передающая данное короткое сообщение, несет в себе 54-ю квитанцию (BSN), которая передается повторно (BIB = 1), номер самой СЕ (FSN) — 102, она передается впервые. Далее по индикатору длины (LI) мы видим, что это значащая СЕ (MSU), используется протокол SCCP. Код пункта назначения (DPC) имеет номер 4905 (Германия), а код пункта отправления (OPC) — 5124 (Россия). Сообщение было направлено в Германию находившимся там же на роуминге московским абонентом оператора МТС, оно транзитом прошло через Россию и было снято на транзитном узле на обратном пути в Германию. Протокол SCCP использовал транспортировку по первому классу (MT = Unidata Class 1). В сообщении указаны номера вызывающего (79023700295) и вызываемого (491710766000) абонентов, затем передаются необязательные и обязательные параметры с указанием оставшейся длины сообщения, временный номер абонента в роуминге и т. п. Начиная с 92-го байта передается дата, время и 48 байт текста, содержащие 55 букв (каждая по 7 бит).

6.4. Анализ принципов передачи данных в сети стандарта GSM

Физический радиоканал в GSM определяется двумя параметрами: частотой и номером временного интервала (time-slot number). Каждый частотный канал в GSM занимает полосу 200 кГц. Первоначально в СИСС стандарта GSM применялась передача данных в режиме КК со скоростью 9,6 кбит/с. Поскольку КК являлась нерентабельной, следующим шагом на пути развития технологии передачи данных через мобильные сети стала система GPRS (General Packet Radio Service — пакетная передача данных по радиоканалу) — современный аналог гибридной коммутации.

При передаче информации через GPRS абоненту не выделяется отдельная линия, а пакеты данных передаются одновременно по нескольким свободным временным каналам, расположенным на одной частоте и в паузах передачи речи. При этом система работает с переменной скоростью, которая определяется условиями распространения сигнала и наличием свободных каналов в пределах заданной соты. Соблюдается приоритет голосовых каналов, т. е. система автоматически выделяет под пакетную передачу все каналы, не занятые передачей голоса. Таким образом, реальная скорость приема и передачи данных зависит от загруженности голосовых каналов в пределах каждой конкретной соты, причем допустимо асимметричное назначение ресурсов.

6.4.1. Интерфейсы сети GSM с услугой GPRS

Для оказания услуги GPRS в существующие сети GSM введены шесть новых элементов: мобильная станция GPRS, блок управления пакетами PCU, блок кодека каналов CCU, шлюзы SGSN и GGSN, узлы поддержки GPRS. Эталонная модель GPRS показана на рис. 6.4.

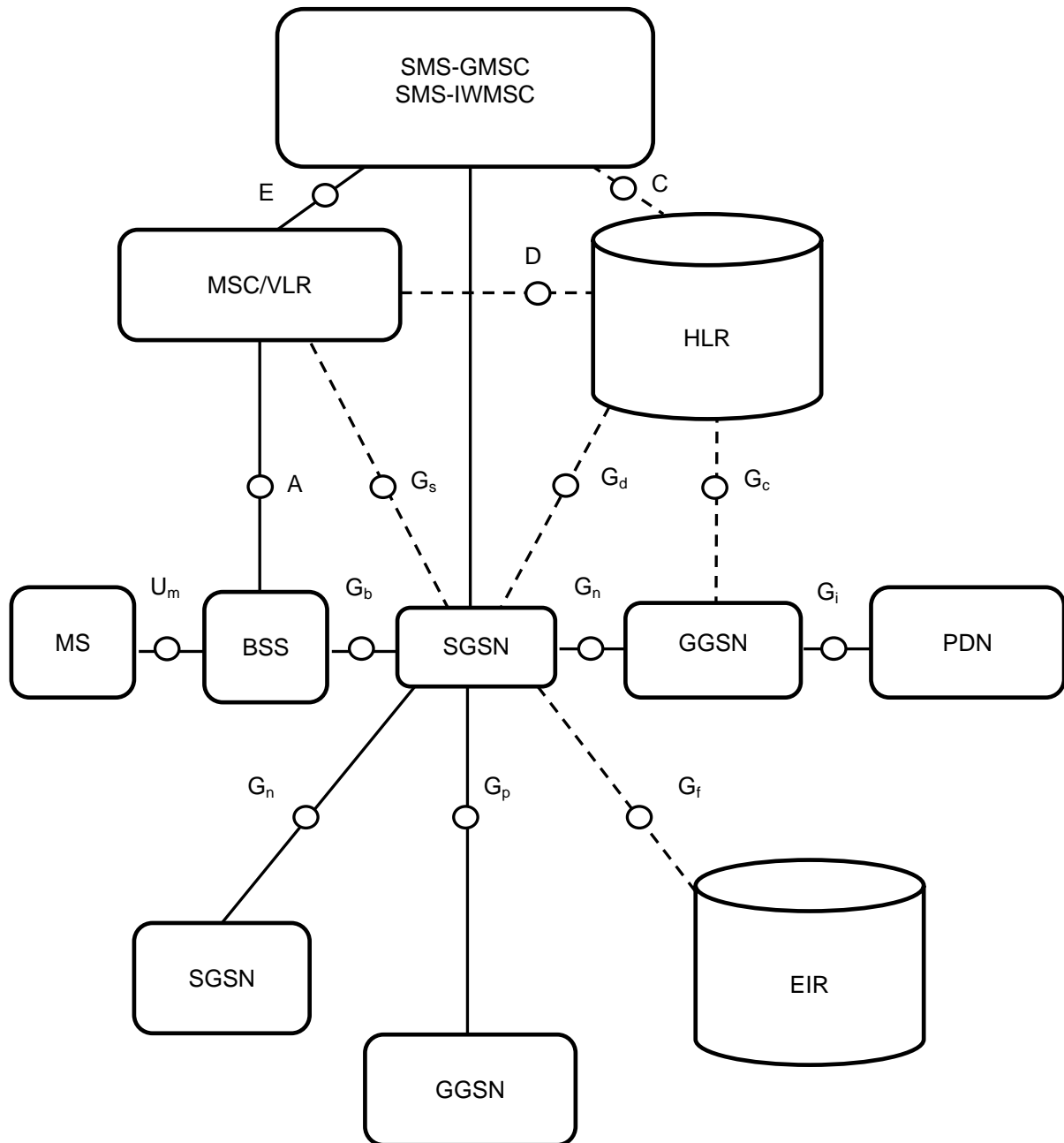


Рис. 6.4. Эталонная модель GPRS

Блок управления пакетами PCU решает, какие радиоресурсы динамически назначаются для использования в режиме коммутации пакетов, а какие в режиме коммутации каналов. Контроллер базовой станции BSC при этом управляет радиоресурсами, предназначенными для использования в режиме коммутации каналов, а PCU управляет радиоресурсами для

трафика GPRS. В функции PCU входят управление доступом к каналам, их связывание, а также сегментация и восстановление пакетов. Блок PCU может располагаться возле SGSN, возле или внутри BSC либо в месте установки BTS.

Блок кодека каналов CCU реализует новые схемы кодирования, управление мощностью и процедуры упреждения синхронизации. Первоначально большинство операторов вводят кодеки CS-1 и CS-2, так как при этом требуется лишь модернизация программного обеспечения BTS, в то время как для применения кодеков CS-3 и CS-4 требуется модификация самой BTS.

Обслуживающий узел SGSN является новым сетевым элементом, который находится на том же иерархическом уровне, что и MSC/VLR, и имеет интерфейсы с подсистемой BSS, соседними SGSN и шлюзовым узлом GGSN. Во время процесса управления доступом к сети узел SGSN принимает участие в процедурах аутентификации и санкционирования доступа. Управление мобильностью реализуется на основе тех же принципов, что и в MSC/VLR. SGSN отвечает за коммутацию входящего трафика к подсистеме BSS и исходящего к сетевым элементам, которые устанавливают связь с внешними сетями PDN. Таким образом, узел SGSN выполняет задачи обычного маршрутизатора пакетов.

Шлюзовой узел GGSN является новым сетевым элементом, служащим для взаимодействия между внешними сетями PDN и подсистемой коммутации пакетов сети GSM. Он расположен на том же иерархическом уровне, что и шлюзовый центр коммутации GMSC в сети GSM. Узел GGSN отвечает за маршрутизацию входящих пакетов данных, при поступлении которых он передает запрос в опорный регистр местонахождения HLR, чтобы определить, какой узел SGSN в данное время обслуживает абонента.

Расширение функций HLR требуется для хранения новых абонентских данных, связанных с услугой GPRS. Расширение HLR обычно представляет собой новую версию программного обеспечения. Как и в GSM, регистр HLR принимает участие в процедурах регистрации, аутентификации, авторизации, шифрования и управления мобильностью.

Блоки SMS-GMSC и SMS-IWMSC подключают к SGSN для того, чтобы обеспечить SGSN поддержку SMS.

Для поддержки функций GPRS специфицировано девять новых интерфейсов, которые показаны на рис. 6.4.

Интерфейс G_i является стандартным интерфейсом между внешними сетями передачи данных PDN и сетью GSM/GPRS. Операторы GPRS и PDN должны согласовывать технологию передачи на уровнях 1 и 2 модели BOC, используемую для соединений своих сетей. Действующими стандартами GPRS специфицировано взаимодействие по протоколам X.25 и IPv4.

Интерфейс G_n служит для передачи полученного из внешней сети пакета данных от GGSN к SGSN, в зоне обслуживания которого в данный момент находится абонент. Данные пользователя передаются прозрачно между внешней сетью PDN и станцией мобильной связи GPRS. Для этого в интерфейсе G_n применяются специальные методы, известные как формирование пакетов и туннелирование.

Интерфейс G_b служит для соединения SGSN с BSS(PCU) и управление логической связью с мобильной станцией GPRS. Блок PCU принимает инструкции с указанием качества обслуживания, которое должно предоставляться пакету данных пользователя при передаче через радиointерфейс.

Интерфейсы G_p и G_d применяют между SGSN разных сетей и между SGSN и шлюзом SMS соответственно.

В дополнение к уже упомянутым интерфейсам, которые используются для передачи пользовательских данных и сигнализации, определены четыре чисто сигнальных интерфейса.

Интерфейс G_r между узлом SGSN и регистром HLR — единственно обязательный интерфейс из этих четырех. Если абонент оказывается в области обслуживания SGSN, то SGSN может запросить информацию об абоненте из HLR через интерфейс G_r .

Интерфейс G_c между узлом GGSN и регистром HLR служит для запроса текущего местоположения абонента при поступлении первого пакета данных в GGSN. При отсутствии интерфейса G_c запрос может быть передан через интерфейс G_n на SGSN, который затем переправляет запрос в HLR через интерфейс G_r . После этого HLR доставляет информацию маршрутизации в SGSN, который пропускает ее в GGSN.

Интерфейс G_f между узлом SGSN и регистром EIR — необязательный.

Интерфейс G_s связывает MSC/VLR и SGSN и может использоваться для общих процедур, например для обновления местоположения. Если интерфейс G_s не существует, то процедуры обновления выполняются через радиointерфейс. Использование интерфейса G_s экономит ресурсы радиointерфейса.

6.4.2. Протоколы плоскости передачи

Плоскость передачи служит для пересылки информации пользователя и управления пересылкой, обнаружения и исправления ошибок, управления потоком, мультиплексирования и демultipлексирования, сегментации и сборки.

Как показано на рис. 6.5, верхний уровень — приложений пользователя — расположен над стеком протоколов мобильной станции. Услуга GPRS предоставляет виртуальный канал для передачи пакета данных приложения пользователя.

Задача GPRS состоит в том, чтобы принять пакет данных пользователя в одном пункте доступа (узел GGSN) и доставить его в другой пункт доступа (мобильная станция GPRS). Через интерфейс G_i пакет данных пользователя доставляется из внешней сети PDN в шлюзовую узел GGSN, который для PDN представляет собой обычный маршрутизатор, способный работать с ней по протоколам IPv4 или X.25.

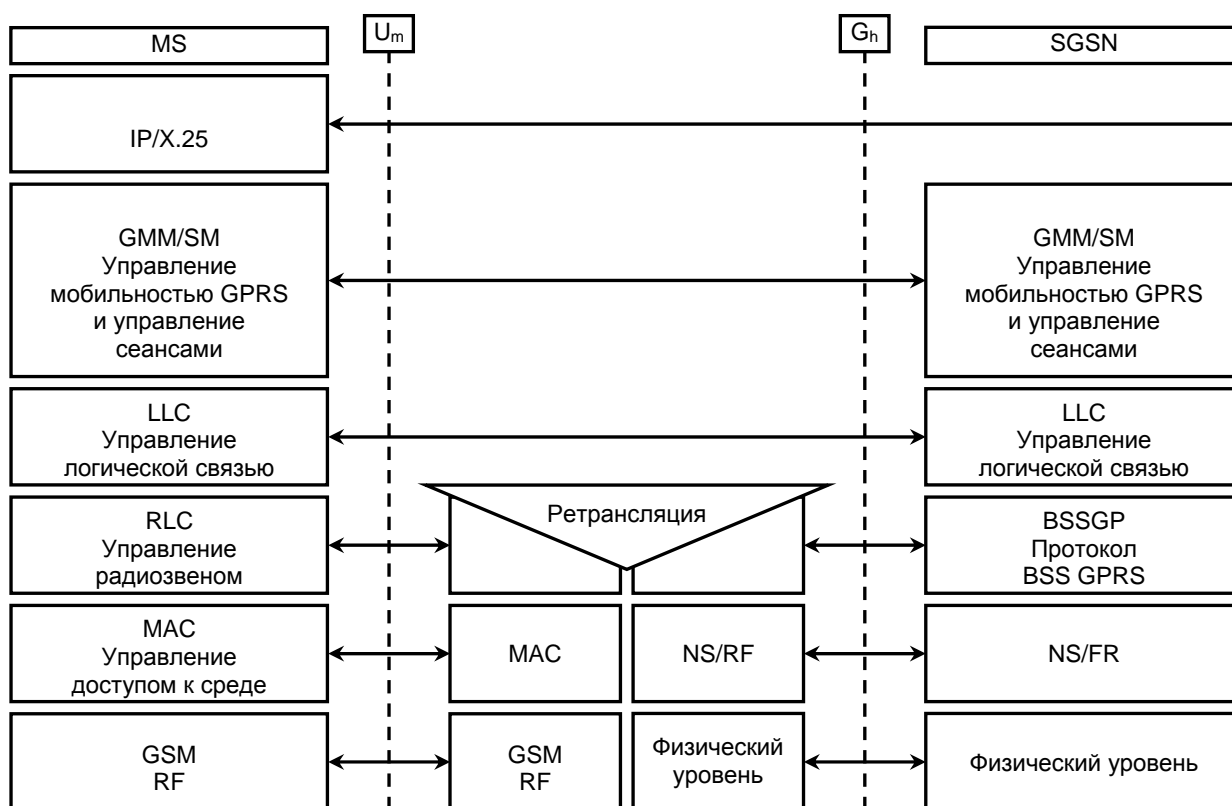


Рис. 6.5. Протоколы плоскости передачи GPRS

Обмен пакетами данных пользователя, сигнализацией и управляющей информацией на интерфейсе G_n (G_p) между узлами GSN производится через опорную сеть IP. На этом интерфейсе используются следующие протоколы.

Протокол туннелирования GPRS (GTP) (прозрачного переноса) пакетов разных типов между узлами GSN. В качестве идентификатора каждого абонента в коммутационной подсистеме сети используется IMSI, а для идентификации приложений пользователя используется идентификатор точки доступа к сетевым услугам NSAPI. Идентификаторы IMSI и NSAPI формируют идентификатор туннеля TID, который однозначно определяет звено, назначенное для передачи данных абонента между узлами GSN, и является частью заголовка протокола GTP.

Большинство новых протоколов определены для интерфейса G_b . Этот интерфейс позволяет мультиплексировать соединения нескольких пользователей в одних и тех же физических ресурсах. Два верхних уровня (протоколы SNDCP и LLC) используются для связи от звена к звену между узлом SGSN и мобильной станцией GPRS, в то время как нижние уровни применяются между SGSN и BSS (PCU).

Зависимый от подсети протокол конвергенции (SNDCP). Уровень SNDCP расположен выше уровня LLC в SGSN и мобильной станции GPRS. Для более эффективного использования канала уровень SNDCP сжимает информацию заголовка и данные пользователя. Чтобы удовлетворить ограничениям на максимальную длину кадра уровня LLC, уровень SNDCP сегментирует большие пакеты данных пользователя и восстанавливает их на приемном узле. Уровень SNDCP может также мультиплексировать несколько «небольших» пакетов данных пользователя в один кадр LLC и демультиплексировать их на приемном узле.

Управление логическим звеном (LLC). Уровень LLC отвечает за поддержку виртуального соединения между SGSN и мобильной станцией GPRS. Уровень LLC обеспечивает поддержку нескольких протоколов в одном звене, используя для каждого из них отдельный идентификатор точки доступа к услуге SAPI (данные пользователя, SMS или GMM/SM).

Протокол подсистемы базовых станций BSSGP обеспечивает передачу информации о качестве обслуживания на радиозвене и маршрутизации данных между уровнем MAC/RLC блока PCU и узлом SGSN, он также выполняет функции передачи данных управления между блоком PCU, расположенным в BSS, и узлом SGSN.

Уровень NS отвечает за передачу и прием пакетов уровня BSSGP и базируется на соединениях ретрансляции кадров FR.

Физический уровень может быть реализован на протоколах G.703/G.704, X.21 (ITU), ANSI T1.403 или V35.

В интерфейсе U_m используются протоколы управления радиозвеном и управления доступом к среде (RLC/MAC). Уровень RLC отвечает за сегментацию и восстановление пакетов уровня LLC, уровень MAC обслуживает процедуры, связанные с общим управлением ресурсами передачи.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. В каком частотном канале в стандарте GSM находятся 135, 451 и 729-й каналы?
2. Опишите основное оборудование подсистемы базовых станций стандарта GSM.
3. Опишите основное оборудование коммутационной подсистемы стандарта GSM.
4. Что включает международный идентификатор подвижного абонента?
5. На каких принципах преобразования цифровых сигналов основана работа транскодера?
6. Где записывается информация о местном абоненте, включившем телефон в зоне действия своего оператора?

7. Где записывается информация об абоненте, находящемся в роуминге и включившем телефон в зоне действия данного оператора?
8. Какие записи содержит модуль подлинности абонента?
9. Перечислите основные функции протокола MAP.
10. Какое устройство предоставляет абоненту временный роуминговый номер?
11. По какому сигнальному протоколу устанавливаются разговорные соединения в мобильных сетях стандарта GSM?
12. Какие приложения могут быть реализованы на базе службы SMS?
13. Расшифруйте приведенный пример SMS-сообщения.
14. Что общего между гибридной коммутацией и службой GPRS?
15. Какие дополнительные блоки должны быть установлены при организации службы GPRS?
16. Опишите основные интерфейсы службы GPRS.
17. По каким протоколам служба GPRS может работать с сетями передачи данных общего пользования?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие телекоммуникационных систем за последнее десятилетие, а особенно технологический прорыв в этой области в России привели к бурному развитию систем с КП. Спрос на услуги пакетной телефонии, передачи данных, видеоконференц-связи, голосовой и универсальной почты, телеобучения, виртуальных частных сетей (VPN), а также дополнительные информационные сервисы развивается во всем мире стремительными темпами. Так, в Европе и США уже сегодня более 50 % корпоративных клиентов готовы инвестировать в IP-VPN, в сервисы по управлению информационной безопасностью, развертывание служб голосовой передачи речи VoIP.

Уже сегодня многие российские владельцы сетей общего пользования планируют или реализуют проекты по переходу к так называемым **сетям связи следующего поколения (NGN)** — концепции построения сетей связи, обеспечивающих предоставление неограниченного набора услуг с гибкими возможностями по их управлению, персонализации и созданию новых услуг за счет унификации сетевых решений. Эта концепция предполагает реализацию универсальной транспортной сети с распределенной коммутацией, вынесение функций предоставления услуг в оконечные сетевые узлы и интеграцию с традиционными сетями связи. В связи с этим рассмотрим некоторые недавно появившиеся термины.

Мультисервисная сеть — сеть связи, построенная в соответствии с концепцией сети связи следующего поколения и обеспечивающая предоставление неограниченного набора услуг.

Мультипротокольная сеть — транспортная сеть связи, входящая в состав мультисервисной сети, обеспечивающая перенос разных видов информации с использованием различных протоколов передачи.

Традиционная сеть связи — существующая сеть связи (ТфОП, сеть передачи данных общего пользования, сеть кабельного телевидения и т. п.), изначально предназначенная для предоставления услуг связи одного вида.

Инфокоммуникационная услуга (услуга информационного общества) — услуга связи, предполагающая автоматизированную обработку, хранение или предоставление по запросу информации с использованием средств вычислительной техники как на входящем, так и на исходящем узле соединения.

Услуга переноса (bearer service) — услуга связи, заключающаяся в передаче информации пользователя между сетевыми окончаниями без какого-либо анализа или обработки ее содержания.

Поставщик услуги (Service Provider — SP) — индивидуальный предприниматель или юридическое лицо, оказывающее инфокоммуникационную услугу связи и не обладающее собственной инфраструктурой связи.

Поставщик информации (Content Provider — CP) — индивидуальный предприниматель или юридическое лицо, предоставляющее информацию поставщику услуги для ее распространения или предоставления пользователям по сети оператора связи.

Большое влияние на требования к инфокоммуникационным услугам оказывает процесс *конвергенции*, приводящий к тому, что инфокоммуникационные услуги становятся доступными пользователям вне зависимости от способов доступа.

На практике сегодня вместо единой универсальной инфраструктуры наряду с сетями, основанными на пакетных технологиях, существуют и будут еще довольно долго существовать сети с коммутацией каналов, предоставляющие классические телефонные услуги. При этом традиционные сети, которые характеризуются множеством «привычных» услуг, имеют ряд преимуществ: они приносят стабильный доход и организуются с помощью проверенных временем систем и надежных интерфейсов. По-видимому, операторам еще долго предстоит работать в условиях параллельного существования сетей, основанных на различных технологиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толковый словарь по системам, средствам и услугам связи / Под ред. В.А. Докучаева. М.: Радио и связь, 2003. 548 с.
2. Сети электросвязи / Г.Б. Давыдов и др. М.: Связь, 1977. 360 с.
3. *Иванова О.Н.* Телефония в датах: Справ. М.: Инсвязьиздат, 2006. 000 с.
4. *Лазарев В.Г.* Интеллектуальные цифровые сети: Справ. / Под ред. Н.А. Кузнецова. М.: Финансы и статистика, 1996. 224 с.
5. *Ратынский М.В.* Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Зимина. 2-е изд. М.: Радио и связь, 2000. 248 с.
6. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: В 2 т. Т. 1. М.: Наука, 1992. 276 с.
7. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: В 2 т. Т. 2. М.: Наука, 1992. 276 с.
8. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб: Питер, 1999. 672 с.
9. *Мартин Дж.* Сети связи и ЭВМ. Ч. 1 / Пер. с англ. под ред. В.Н. Рогинского. М.: Связь, 1974. 230 с.
10. *Кленрок Л.* Вычислительные системы с очередями / Пер. с англ. под ред. Б.С. Цыбакова. М.: Мир, 1979. 568 с.
11. Автоматическая коммутация: Учеб. 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.
12. Рекомендации МСЭ-Т E-164. The international public telecommunication numbering plan.
13. *Халсалл Ф.* Передача данных, сети компьютеров и взаимосвязь открытых систем: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1995. 408 с.
14. *Блэк Ю.* Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы: Пер. сангл. М.: Мир, 1990. 432 с.
15. *Левин Л.С., Плоткин М.А.* Цифровые системы передачи информации. М.: Радио и связь, 1982. 261 с.
16. *Ли У.К.* Техника подвижных систем связи. Москва.: Радио и связь, 1985. 392 с.
17. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ / Под ред. У.К. Джейкса. М.: Связь, 1979. 520 с.
18. *Иванова О.Н., Лазарев В.Г., Пийль Е.И.* Синтез электронных схем дискретного действия. М.: Связь, 1964. 176 с.
19. *Беллами Дж.* Цифровая телефония / Пер. с англ. под ред. А.Н. Берлина, Ю.Н. Чернышова. М.: Эко-Трендз, 2004. 640 с.
20. *Слепов Н.Н.* Синхронные цифровые сети SDH. М.: Эко-Трендз, 1988. 148 с.
21. *Гольдштейн Б.С.* Протоколы сети доступа. М.: Радио и связь, 1999. 317 с.
22. *Гольдштейн Б.С.* Сигнализация в сетях связи. М.: Радио и связь, 1997. 423 с.
23. *Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д.* Теория телетрафика.
24. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей: Учеб. для вузов. 6-е изд. М.: Высш. шк., 1999. 576 с.
25. *Халсалл Ф.* Передача данных, сети компьютеров и взаимосвязь открытых систем: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1995. 408 с.
26. *Росляков А.В.* Общеканальная система сигнализации ОКС № 7. М.: Эко-Трендз, 1999. 170 с.
27. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания: Пер. с англ. М.: Машиностроение. 1979.. 600 с.