

Б.С. Гольдштейн

# СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ

---

*Допущено Министерством Российской Федерации по связи и информатизации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 200900 – «Сети связи и системы коммутации» и другим междисциплинарным специальностям по телекоммуникационным направлениям базового высшего образования.*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
«БХВ – Санкт-Петербург»  
2003

УДК 621.395  
У66  
ББК 32.88

**Гольдштейн Б. С.**

Системы коммутации. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2003. – 318 с.: ил.

**ISBN 5-8206-0108-4**

Учебник охватывает широкий спектр вопросов автоматической коммутации и предназначен для студентов телекоммуникационных университетов и других высших учебных заведений, обучающихся по специальности 200900 – «Сети связи и системы коммутации», а также по специальностям 201000 – «Многоканальные телекоммуникационные системы» и 550400 – «Телекоммуникации» и соответствует программе, утвержденной Управлением руководящих кадров и учебных заведений Министерства Российской Федерации по связи и информатизации. Он может быть полезен работникам научно-исследовательских, проектных и эксплуатационных организаций, занимающимся коммутационными узлами и станциями, а также широкому кругу специалистов, интересующихся теорией автоматической коммутации каналов и практикой применения АТС различных поколений.

***Учебник для вузов***

Рецензенты: профессор С.Н. Степанов (Москва),  
профессор В.В. Лебедев (Новосибирск),  
профессор В.И. Мейкшан (Новосибирск)

**ISBN 5-8206-0108-4**

© Гольдштейн Б.С., 2003

**Boris Goldstein.**

Switching Systems. – BHV, St.Petersburg, 2003.

The rapid growth of telecommunications in recent years has necessitated the evolution of telephone switching systems for Public Switched Telephone Network (PSTN). To operate effectively in this dynamic industry requires an understanding of the evolution central offices principles. The book is intended to fill up a gap in the telecommunications literature by gathering in one place all types of switching systems. The evolution of switching systems is described on the set of examples of Russian PSTN Central Offices.

The book is primarily intended for students, post-graduates and engineers involved in the switching nodes area.

***Technical edition***

Copyright © B. Goldstein 2003

# Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>7</b>
<b>Глава 1 Эволюция автоматической коммутации .....</b>	<b>11</b>
1.1 Телекоммуникации .....	11
1.2 Телефонные сети общего пользования .....	12
1.3 Коммутация .....	13
1.4 Методы коммутации .....	14
1.5 Эволюция телефонных станций .....	16
1.5.1 Исторические предпосылки .....	16
1.5.2 Ручные коммутаторы .....	22
1.5.3 Автоматическая коммутация .....	31
1.5.4 Квазиэлектронные и электронные АТС .....	34
1.5.5 Цифровые АТС .....	37
1.6 Телефонные аппараты .....	38
1.7 Стандартизация в области коммутации .....	42
<b>Глава 2 Декадно-шаговые АТС .....</b>	<b>47</b>
2.1 Основные принципы ДШ АТС .....	47
2.2 Искатели .....	50
2.3 Вынужденное и свободное искание. Ступени искания .....	52
2.3.1 Предварительное искание .....	52
2.3.2 Линейное искание .....	54
2.3.3 Групповое искание .....	55
2.4 Импульсный набор номера .....	57
2.5 Межстанционные соединительные линии .....	60
<b>Глава 3 Координатные АТС .....</b>	<b>63</b>
3.1 Координатные соединители .....	63
3.2 Координатные АТС .....	68
3.3 Городские координатные станции АТСК и АТСК-У .....	73
3.4 Сельские координатные АТСК-50/200М .....	77
3.5 Координатные АТСК-100/2000 .....	79

3.6 Координатные АТС типа А-204 .....	81
3.7 Координатные подстанции ПСК-1000 .....	83
<b>Глава 4 Принципы цифровой коммутации .....</b>	<b>85</b>
4.1 Цифровая телефония .....	85
4.2 Цифровые АТС .....	90
4.3 Абонентские модули .....	92
4.4 Доступ к услугам ISDN .....	97
4.5 Коммутационное поле .....	103
4.5.1 Пространственная коммутация .....	103
4.5.2 Временная коммутация .....	104
4.5.3 Коммутация STS (пространство-время-пространство) ...	104
4.5.4 Коммутация TST (время-пространство-время) .....	104
4.6 Модули соединительных линий, синхронизация и служебные функции .....	106
4.7 Управление по записанной программе .....	108
<b>Глава 5 Импортные цифровые АТС .....</b>	<b>109</b>
5.1 Выбор АТС .....	109
5.2 Станции 5ESS. Решения Lucent Technologies .....	113
5.3 Система 12 .....	121
5.4 Система EWSD компании Siemens .....	125
5.5 Станция AXE-10 компании Ericsson .....	128
5.6 Итальянская платформа Linea UT и стратегия iMSS .....	130
5.7 Коммутационная платформа NEAX-61 компании NEC .....	133
5.8 Станции DMS 100 .....	135
<b>Глава 6 Отечественные АТС     с программным управлением .....</b>	<b>137</b>
6.1 Первые разработки АТС с программным управлением .....	137
6.2 Коммутационная платформа АТСЦ-90 .....	141
6.3 Новые функции цифровых АТС .....	155

6.4 Система C-32 .....	159
6.5 Бета, Сигма, Омега, Кразар и другие .....	161
6.6 Развитие отечественных коммутационных платформ .....	164
<b>Глава 7 Абонентский доступ .....</b>	<b>167</b>
7.1 Глобальная информационная инфраструктура .....	167
7.2 Цифровые абонентские концентраторы и мультиплексоры ..	169
7.3 Интерфейс V5 .....	173
7.4 Беспроводный абонентский доступ WLL .....	176
7.5 Оптическое волокно в абонентской линии .....	179
7.6 Цифровые абонентские линии DSL .....	181
<b>Глава 8 Межстанционная сигнализация .....</b>	<b>185</b>
8.1 Элементы телефонной сигнализации .....	185
8.2 Сигнализация по выделенным сигнальным каналам .....	190
8.3 Многочастотная сигнализация .....	194
8.4 Общеканальная сигнализация № 7 .....	199
8.4.1 Подсистема переноса сообщений МТП .....	206
8.4.2 Подсистема управления сигнальными соединениями SCCP .....	208
8.4.3 Подсистема средств транзакций .....	209
8.4.4 Подсистема ISUP .....	214
8.5 Сигнализация при конвергенции сетей связи .....	217
<b>Глава 9 Программное управление .....</b>	<b>223</b>
9.1 Программное обеспечение коммутационных узлов и станций .....	223
9.2 Управляющие устройства .....	224
9.2.1 Централизованное управление .....	225
9.2.2 Иерархическое управление. ....	226
9.2.3 Распределенная архитектура .....	226
9.3 Основы программирования обслуживания вызовов в реальном времени .....	227
9.4 Технологические аспекты разработки программного обеспечения АТС .....	234

9.5	Качество ПО .....	242
9.6	Программные системы современных АТС .....	244
<b>Глава 10 Эксплуатационное управление .....</b>		<b>247</b>
10.1	Эволюция функций эксплуатационного управления системами коммутации .....	247
10.2	Сопровождение программного обеспечения .....	251
10.3	Задачи СОРМ и информационной безопасности .....	252
10.4	Расчеты за услуги связи .....	255
10.5	Взаимодействие «человек-машина» .....	258
10.6	Концепция TMN .....	258
10.7	Системы эксплуатационной поддержки OSS .....	264
<b>Глава 11 Услуги .....</b>		<b>269</b>
11.1	Дополнительные услуги АТС .....	269
11.2	Интеллектуальная сеть (IN) .....	273
11.3	Компьютерная телефония (СТТ) .....	283
11.4	Конвергенция телефонных услуг и Интернет .....	286
<b>Вместо заключения .....</b>		<b>295</b>
<b>Литература .....</b>		<b>297</b>
<b>Глоссарий .....</b>		<b>307</b>
<b>Предметный указатель .....</b>		<b>314</b>
<b>Именной указатель .....</b>		<b>317</b>

# Введение

На камне у входа в центр подготовки кадров компании IBM в Эндикотте, штат Нью-Йорк, высечены следующие слова: «*Образование никогда не достигает точки насыщения*». Именно этот девиз сопровождал автора в течение всей работы над настоящим учебником, совпавшей по времени с самым разгаром революционных преобразований в автоматической коммутации каналов. Этот же девиз был главным критерием при решении вопросов о том, включать или не включать в учебник материал, посвященный тем или иным технологиям коммутации: не преждевременно ли еще? не устарело ли уже?

Другим критерием пропорционального представления материала в учебнике послужило количественное соотношение автоматических телефонных станций разных типов, работавших во Взаимоувязанной сети связи страны на момент написания этих строк:

Декадно-шаговые АТС	18%
Координатные АТС	49%
Квазиэлектронные АТС	3%
Цифровые АТС	30%

В результате книга организована по принципу компромисса между современной коммутационной техникой и педагогикой, предполагающей освещение некоторых исторических аспектов эволюции самых разных технологий. Основное внимание в учебнике уделяется анализу коммутационной техники связи, принципам построения автоматических телефонных станций (АТС) и современным телекоммуникационным технологиям для телефонных сетей общего пользования (ТФОП), а также перспективным технологиям, используемым в новых системах коммутации.

Учебник содержит 11 глав, в которых рассматриваются способы построения коммутационных станций, описываются процессы установления соединения в АТС, их основные функциональные узлы, элементы программного управления и т.п.

Первое поколение телефонных станций характеризуется аналоговой передачей, ручным способом управления и сигнализации, кроссовой коммутацией. Начиная с 1890 г. и заканчивая 60-ми го-

дами XX века, телефонная инфраструктура развивалась в «электро-механическом направлении», характеризующемся телефонами с дисковым номеронабирателем, внутриполосной сигнализацией, управлением с помощью релейных логических схем и автоматическим способом коммутации. С середины 60-х годов телефонные станции начинают развиваться в направлении цифровизации: вначале – цифровая передача, управление с помощью компьютера и внеполосная сигнализация; затем – цифровая коммутация и общеканальная сигнализация. Краткий исторический экскурс, вместе с некоторыми полезными сведениями общего характера, приводится в главе 1.

История автоматической коммутации началась еще в XIX веке с изобретения А.Стоуджером *декадно-шаговой* АТС, но и сегодня многие АТС такого типа продолжают эксплуатироваться во всепланетной телефонной сети. Тезисному рассмотрению этих АТС посвящена глава 2, являющаяся, впрочем, самой краткой в учебнике. Немногим больше места уделено *координатным* АТС в главе 3. Декадно-шаговые и координатные АТС явили собой первые примеры *пространственных* коммутаторов, и только значительно позже эту технологию дополнила (и почти заменила) технология *временной* коммутации. Возможно возражение, что технические средства, рассматриваемые в главах 2 и 3, устарели, и потому их обсуждение ничем не оправдано. Однако это те самые средства, на основе которых существуют сегодняшние (см. приведенную выше таблицу), и наличие которых должны принимать во внимание завтрашние сети электро-связи.

С начала 1970-х годов произошла вторая революция в сфере коммутации. Благодаря технологии цифровой передачи стало возможным передавать речь в цифровом формате. Как следствие, коммутационные станции тоже постепенно стали цифровыми. Принципы цифровой коммутации изложены в самой объемистой главе 4, а примеры реализации этих принципов – в главах 5 и 6. Здесь автор посчитал лучшим способом преподнесения материала – обучение на примерах.

Основные задачи АТС всех типов связаны с обслуживанием сети абонентской сети доступа и с взаимодействием в сети связи. В главе 7 рассматривается первая группа этих функций, включая первичный и базовый доступ ISDN, оборудование абонентского доступа (концентраторы, мультиплексоры, беспроводный доступ), интерфейсы V5.1 и V5.2 и др.

Межстанционная сигнализация внутри ТфОП (протоколы 2ВСК, 1ВСК, частотные системы сигнализации, стек протоколов ОКС7), взаимодействие ТфОП с ISDN (DSS1, подсистема ISUP, SCCP, TCAP, прикладные протоколы ОКС7), с Интеллектуальной сетью (протокол

INAP) и с IP-сетями (протоколы H.323, SIP, MEGACO, а также SCTP, M2UA, M2PA, M3UA) и другие протоколы рассмотрены в главе 8. Исключение составляет интерфейс с пультом управления системы оперативно-розыскных мероприятий (ПУ СОРМ) по протоколу X.25, описание которого приведено в главе 10, посвященной технической эксплуатации. Естественно, что все эти протоколы сигнализации реализуются средствами программного управления АТС, которые рассматриваются в главе 9.

В главе 11 обосновываются взгляды автора на Интеллектуальную сеть (ИС) как на высшее достижение ТфОП, в рамках которого впервые было внятно сформулировано отделение телекоммуникационных услуг от непосредственного обслуживания телефонных вызовов, созданы новые принципы и средства создания услуг, наполненные содержанием не связанные с соединением (connectionless) телекоммуникационные протоколы и др. Архитектура ИС в традиционной телефонии играет практически ту же роль, что и архитектура ЭВМ фон Неймана сыграла в вычислительной технике, причем значение концепции ИС в контексте происходящей сегодня конвергенции сетей и услуг связи еще до конца не осознано. Некоторые перспективные решения и технологии предоставления услуг непосредственно в АТС с помощью компьютерной телефонии и с использованием Интернет также рассмотрены в последней главе 11 – хотя сегодняшние новейшие разработки инфокоммуникационных услуг трудно описать не то что в одной главе, но и в целой книге.

Да и другие упоминающиеся в учебнике технологии не рассматриваются во всех подробностях: задачей книги является представить принципы каждой из них и рассказать об основных функциях той или иной технологии. Если читателю потребуется более подробная информация, он сможет найти книгу, полностью посвященную интересующей его теме. Есть много книг, содержащих более подробные описания той или иной технологии, например, систем сигнализации, ISDN, Интеллектуальной сети, IP-телефонии, протоколов сети доступа и др. Точно так же, не имея возможности включить в книгу подробные описания систем коммутации, автор все же попытался рассмотреть основные технические идеи и решения, сосредоточив их в главах 5 и 6, полезных, возможно, не только студентам и преподавателям, но и инженерам, намеревающимся разрабатывать новые коммутационные станции на основе аналогичных решений и/или эксплуатировать и развивать существующее коммутационное оборудование сетей электросвязи.

Учебник предназначен для студентов телекоммуникационных университетов и других высших учебных заведений, обучающихся по специальности 200900 – «Сети связи и системы коммутации», а также по специальностям 201000 – «Многоканальные телекоммуникационные системы» и 550400 – «Телекоммуникации», и соответству-

ет программе, утвержденной управлением руководящих кадров и учебных заведений Министерства Российской Федерации по связи и информатизации. Он может также быть использован работниками эксплуатационных, научно-исследовательских и проектных организаций, занимающимися коммутационными узлами и станциями.

Эта книга стала для автора одной из сложнейших его работ, потому что технологии, описываемые в ней, очень различны. Индустрия меняется быстро, и по этой причине весьма трудно связно изложить цепочку постоянных новаций, происходящих во всех областях коммутационной техники. В процессе работы над книгой автор существенно повысил уровень собственного образования и надеется, что читатель тоже сможет узнать из нее много нового о таком удивительном изобретении как АТС.

Курсы лекций по тематике учебника автору в свое время посчастливилось прослушать у профессоров кафедры телефонии Рафаэля Антоновича Авакова, Бориса Самойловича Лившица, Михаила Марковича Подвидза, светлая память о которых и определила в дальнейшем как его согласие на руководство кафедрой, так и решение написать эту книгу. Материалы учебника обсуждались с коллегами из ГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича и из ЛОНИИС, которым автор приносит глубокую благодарность за ценные советы и замечания. Опыт чтения курсов лекций и учебной работы со студентами (многие из которых стали потом моими сотрудниками и на практике продемонстрировали положительные и отрицательные стороны полученного образования) позволил систематизировать и структурировать материал учебника в контексте эволюционного развития систем коммутации, в связи с чем хотелось бы процитировать фразу из одной великой книги: *«Многому я научился у своих наставников, еще более – у своих товарищей, но более всего – у своих учеников»*.

# Глава 1

# Эволюция

# автоматической

# коммутации

---

*Изобретатель – человек, который создает оригинальное устройство из колес, рычагов и пружин, считая, что это и есть цивилизация.*  
Амброз Бирс

## 1.1 Телекоммуникации

Английский глагол *to communicate* (сообщать, передавать...) происходит от латинского слова *communico*, означающего «делать общим», «общаться», «связывать». Английское существительное *communication* переводится как «связь» (в самых разных значениях), а во множественном числе (с «s» на конце) означает систему средств сообщения или общения, не являясь, вообще говоря, техническим термином (сегодня часто встречаются такие выражения, как «политические коммуникации», «бизнес-коммуникации» и т. п.). Слово *телекоммуникации* (*telecommunications*) означает средства общения (то есть обмена информацией) на расстоянии и подразумевает совокупность технологий, реализующих разные способы такого общения.

Рассматриваемые в следующих главах, эти технологии охватывают механические и, по мере развития телекоммуникаций, все более и более сложные электрические и оптические системы связи. Такое объединение частично отражает и сложившаяся практически во всех странах мира структура национальных администраций связи, определяемая тремя словами *почта, телеграф, телефон* (*Post, Telegraph, Telephone – PTT*).

Понятия, обозначаемые терминами *телефония* и *телекоммуникации*, иногда путают. Первый термин вначале употреблялся применительно к системам электросвязи, ориентированным на передачу речевой информации в реальном времени, а второй – применительно к прочим системам электросвязи (включая и те, которые базируются на телефонных системах), используемым для обмена дискретной информацией (данными) – в том числе между компьютерными системами.

Совокупность устройств и сооружений, обеспечивающих телефонную связь на некоторой территории, называют *телефонной сетью*. В состав такой сети входят: коммутационные устройства (автоматические телефонные станции, узловые станции, подстанции, концентраторы и мультиплексоры), линейные сооружения (абонентские и соединительные линии, каналы междугородной и международной связи), гражданские сооружения (здания телефонных станций, усилительных пунктов), телефонные аппараты и пульта операторов. В процессе эволюции телефонная сеть стала составной частью мощной инфраструктуры цифровых телекоммуникаций, в которой речь – лишь один из типов передаваемых данных. Это и внесло некоторую путаницу, так как телефонная сеть может рассматриваться как сеть телекоммуникаций, поддерживающая телефонию, а телекоммуникационная сеть – как телефонная сеть, снабженная средствами поддержки обмена мультимедийной информацией. Таким образом, телефония является одним из видов телекоммуникаций.

## 1.2 Телефонные сети общего пользования

Традиционно различают следующие виды телефонных сетей общего пользования: городские, сельские, зонавые и междугородные. *Городские телефонные сети (ГТС)* обеспечивают телефонную связь на территории более или менее крупного города и его ближайших пригородов. *Сельские телефонные сети (СТС)* обеспечивают телефонную связь в пределах сельских административных районов. Сети этих двух видов объединяет общее название *местные телефонные сети*.

*Зонавые телефонные сети* – это комплекс сооружений, которые предназначены для связи между абонентами нескольких разных местных телефонных сетей, расположенных на территории одной *телефонной зоны*. В такой зоне используется единая семизначная *зонавая нумерация*. Территории телефонных зон часто совпадают с территориями областей, краев и иных административных образований.

*Междугородная телефонная сеть* – это комплекс сооружений, которые предназначены для организации связи между абонентами

местных телефонных сетей, расположенных на территории разных телефонных зон.

Все названные сети вместе образуют телефонную сеть общего пользования (ТФОП), входящую во Взаимоувязанную сеть связи страны. Обязательное требование к ТФОП – полная связность между всеми местными, национальными и региональными телефонными сетями. Более того, связность между островками телефонии должна предусматриваться (и предусматривалась уже много лет назад) еще и с тем, чтобы любой абонент мог соединиться с любым другим абонентом, получая на национальном и региональном уровнях возможность передачи данных, их коммутации и защиты.

Помимо ТФОП существуют также *учрежденческие, ведомственные, корпоративные* телефонные сети, которые обеспечивают внутреннюю телефонную связь предприятий, учреждений, корпораций, организаций. Такие сети могут быть и полностью автономными, но чаще всего они имеют доступ к телефонной сети общего пользования.

Более подробно классификация сетей и описание их структуры приводятся в курсе «Сети связи».

### 1.3 Коммутация

Слово *коммутация* (switching) означает «включение и отключение». Для инженера-электрика *коммутационный элемент* – это устройство, которое при работе может переходить в любое из двух состояний: ВКЛ и ВЫКЛ. Это справедливо и в отношении оптических коммутационных элементов, и в отношении транзисторов, с помощью которых строятся логические вентили и триггеры для булевых операций, бинарная память и т.п. Кстати, именно на этой базе, с помощью конечных автоматов, карт Карно и других средств, создаются коммутационные схемы.

Сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (ITU-T), определил *коммутацию* как «соединение одного (определенного) из множества входов системы с одним (определенным) из множества ее выходов, организуемое по запросу и предоставляемое этой паре вход-выход на время, которое требуется для обмена информацией между ними». Иными словами, соединение создается в соответствии с номером линии вызываемого пользователя, набранным вызывающим пользователем, и сохраняется до тех пор, пока один из них не положит трубку. Пока же это соединение существует, по нему могут передаваться речь, данные или видеоинформация.

Таким образом, получив запрос *коммутируемой связи*, сеть устанавливает между вызывающим и вызываемым пользователями

(людьми, компьютерами или модемами) соединение, доступное им полностью и безраздельно, но только на время связи. В течение всего этого времени ни один из ресурсов соединения не используется для обслуживания других запросов, а естественные паузы в разговоре или в передаче данных не могут заполняться другими разговорами или другими данными. По окончании связи соединение разрушается, после чего сетевые ресурсы, из которых оно было составлено, могут использоваться для создания других соединений.

С учетом приведенных в предыдущем параграфе сведений о сетях связи и введенных в начале этого параграфа понятий, можно сказать, что *коммутация* – это процесс последовательного соединения нескольких постоянно существующих независимо один от другого каналов в один составной канал, создаваемый только на время связи с тем, чтобы пользователи в конечных точках этого коммутируемого канала могли общаться между собой, т.е. обмениваться информацией. Компоненты коммутируемого канала выбираются из числа свободных, доступных и находящихся в нужном направлении.

Заметим, что оба приведенных определения относятся только к *коммутации каналов*. Существует еще и понятие *коммутация пакетов*, которая лишь упоминается в этой книге, и то несколько позже.

Коммутация каналов может быть аналоговой и цифровой.

*Аналоговой коммутацией* называется процесс, при котором соединение между конечными точками коммутируемого канала устанавливается посредством операций над аналоговым сигналом (с возможной его дискретизацией, но без преобразования в цифровую форму). Аналоговая коммутация рассматривается в двух следующих главах учебника.

*Цифровой коммутацией* называется процесс, при котором соединение между конечными точками коммутируемого канала устанавливается с помощью операций над цифровым сигналом без преобразования его в аналоговый сигнал. Различным аспектам цифровой коммутации каналов посвящены остальные восемь глав.

## 1.4 Методы коммутации

В курсе многоканальной электрической связи рассматриваются классические методы мультиплексирования каналов – пространственное разделение, временное разделение и частотное разделение. Если нужно соединить два канала, мультиплексированных одним и тем же методом, то, по очевидным причинам, предпочтительнее выполнить коммутацию этих каналов тем же методом, что и их мультиплексирование. Отсюда и три классических метода коммутации:

- *Пространственная коммутация* – соединение пространственно разделенных каналов по электромеханической, электронной,

цифровой или оптической технологии с использованием коммутационных элементов, построенных на базе той же технологии.

- *Временная коммутация* предусматривает возможность коммутировать в пространстве, но когда пространственно коммутируемый физический тракт достигает своего приемника в коммутационном поле, приемник получает команду выбирать только те данные, которые соответствуют определенному временному каналу. Если приемнику и передатчику назначены разные временные каналы, требуется временная коммутация, о чем мы еще порассуждаем в главе 4.
- *Частотная коммутация* применяется, как правило, для коммутации телевизионных каналов и радиоканалов и в этом учебнике не рассматривается.

*Коммутационные узлы и станции* представляют собой совокупность технических средств, предназначенных для обработки вызовов, поступающих по абонентским и соединительным линиям сети, для предоставления инициаторам этих вызовов основных и дополнительных услуг связи, а также для учета и для начисления платы за услуги. Данное определение охватывает коммутационные узлы и станции всех типов, используемых во Взаимоувязанной сети связи РФ, а именно: городские автоматические телефонные станции (АТС), учрежденческие телефонные станции (УАТС), концентраторы (К), узлы входящего (УВС) и исходящего (УИС) сообщения городских телефонных сетей, узлы спецслужб (УСС), междугородные станции (АМТС), узлы автоматической коммутации (УАК), центральные (ЦС), узловые (УС) и оконечные (ОС) сельские телефонные станции и другие устройства распределения информации.

В общем случае, коммутационный узел (станция) содержит коммутационное поле, предназначенное для соединения входящих и исходящих каналов (линий) на время обмена информацией; управляющие устройства, обеспечивающие установление соединения через коммутационное поле, а также прием и передачу управляющей информации; комплекты (станционные окончания) входящих и исходящих линий; кодовые приемники и передатчики; устройства контроля и диагностики абонентских линий и оборудования самого узла коммутации; источники электропитания; кроссовое оборудование и некоторые вспомогательные устройства.

Х. Безир в [15] упрощает вышеизложенное, определяя *коммутационную станцию* как совокупность станционных окончаний линий, устройств коммутации и устройств управления одного узла сети, задача которой состоит в установлении, поддержании и разрушении соединений между входящими и исходящими информационными каналами, задаваемыми соответствующими адресами.

Коммутационные узлы и станции классифицируются по способу обслуживания соединений (ручные, полуавтоматические, автоматические), по месту, занимаемому в сети связи (оконечные, промежуточные, транзитные, центральные, узловые), по принципу коммутации (аналоговые, цифровые), по типу оборудования (электромеханические, квазиэлектронные, электронные).

## 1.5 Эволюция телефонных станций

### 1.5.1 Исторические предпосылки

Развитие средств связи началось с сигнальных костров и деревянных барабанов и продолжилось изобретениями голубиной почты, фельдъегерской связи, оптического телеграфа Шаппа и других средств, оставшихся элементами «суммы технологий» своего времени и важными вехами в истории цивилизации в целом.

В южных регионах России до сих пор сохранились старинные курганы, с вершин которых подавались световые сигналы. Днем, когда огонь был виден хуже, сигналом служил столб дыма, для чего сторожевым казачьим постам, расположенным на южных границах, предписывалось подбрасывать в костер сырые ветки. Точно так же в 1658 г. сообщение о появлении у берегов Англии испанского флота было передано с юга Англии на север при помощи заранее подготовленных костров. Специальные вышки, на которых всегда лежала куча хвороста или соломы, строили и в Запорожской Сечи: цепь таких вышек позволяла передавать сигналы на значительные расстояния.

Кроме оптической сигнализации использовалась и звуковая. Ружья гремят громче барабанов, поэтому в 1796 году известие о начале коронации императора Павла I было передано ружейными выстрелами 3000 солдат, расставленных на всем пути от Москвы до Петербурга. Пушки стреляли еще громче, чем ружья, в связи с чем, в 1838 г., сообщение об отходе первого парохода по новому каналу Эри было послано из Буффало в Нью-Йорк посредством пушечных выстрелов. Сигнал преодолел расстояние в 700 км и поступил в Нью-Йорк через 1 ч. 20 мин.

Уже в конце XVIII века, после опытов Гальвани и Вольты, положивших практическое начало науке об электричестве, начались работы, нацеленные на создание электрических средств связи. Первые такие работы касались передачи телеграфных сообщений. Наиболее примитивный способ телеграфии был основан на том, что две телеграфные станции соединяли между собой линиями связи, число которых было равно числу знаков алфавита, и каждый провод служил для передачи одного определенного знака. На этом принципе были построены электростатический телеграф Маршалла (Англия, 1753 г.) и электрохимический телеграф Земмеринга (Германия, 1809 г.).

Для уменьшения количества проводов между станциями потребовалось изыскать более совершенные способы передачи данных, одним из которых явился равномерный шестиэлементный код, созданный Павлом Львовичем Шиллингом, выпускником Первого кадетского корпуса в Петербурге, ветераном Отечественной войны 1812 года. Более совершенные системы телеграфирования обеспечивали получение сообщений в виде печатного текста. Первый буквопечатающий аппарат был изобретен Борисом Семеновичем Якоби, академиком Петербургской Академии наук. Буквопечатающие аппараты Якоби успешно работали на подземной кабельной линии между Зимним Дворцом и Главным Управлением путей сообщения, затем – на кабельной линии Петербург – Царское Село.

Однако, словно в насмешку над непростой судьбой Б.С. Якоби, контракт на закупку изобретенных ранее им же стрелочных синхронных аппаратов, российское правительство Николая I заключило с прусским бизнесменом Вернером фон Сименсом. Здесь, впрочем, нет ничего необычного для истории отечественных телекоммуникаций: у тогдашнего российского правительства всегда были последователи, с такой же легкостью из века в век, вплоть до наших дней, принимавшие аналогичные решения.

Успехи телеграфии стимулировали разработку идей передачи на расстояние живой человеческой речи. В фантастическом романе князя Владимира Одоевского «4338 год. Петербургские письма», написанном в 1840 году, люди будущего звонят друг другу по «магнетическому телеграфу». Еще раньше, в 1627 году, «передача звуков на большое расстояние с помощью труб различных форм» упоминалась в другом фантастическом романе – «Новая Атлантида» Френсиса Кона. Близкая к сегодняшней телефония выдвигалась на идейном уровне французским ученым Ш. Бурселем в 1854 году. Среди других участников процесса, приведшего к изобретению телефона, следует назвать англичанина Чарльза Уинстона, американцев Мозеса Фармера, Антонио Меуччи, Эмиля Берлиннера и Элайша Грея. Первая попытка создать прибор для передачи звуков на расстояние была предпринята Иоганном Филиппом Рейсом в 1861 г. Именно он впервые ввел термин *телефон* и наглядно продемонстрировал возможность переносить тональные сигналы на расстояние с помощью электрического тока. Эта разработка, однако, не получила распространения в силу ее технического несовершенства. И лишь 15 лет спустя, 14 февраля 1876 г., Александр Грехем Белл зарегистрировал свой патент на изобретение, которое он назвал «Усовершенствование в телеграфии». Обо всем этом автор уже имел удовольствие подробно написать в [42, 43, 51]. Там же был отмечен значительный вклад, который внесли в разработку принципов действия и конструкций телефонных устройств российские изобретатели проф. П.Д. Войнаровский, инженеры Ф.И. Балюкевич, Е.И. Гвоздев, М. Дешевов, Г. Игнатьев, В.М. Нагорский, А.А. Новицкий, М. Махальский, К.А. Мосщицкий, Ю. Охорович, А.А. Столповский и др.

В этот список хотелось бы добавить еще несколько фамилий. Блестящий выпускник физико-математического факультета Петербургского университета Павел Михайлович Голубицкий создал в своем имении в селе Тарусса Калужской губернии отечественный прототип Bell Laboratories, где было сделано немало изобретений в телефонии и где по его рисункам изготавливали первые телефоны и другие электрические приборы, включая знаменитый многополюсный телефон. Он так писал в одном из своих всеподданнейших прошений: «Стремясь развить дело русской кустарной постройки простых электрических приборов, я поселился для сего в имении покойного отца моего и на свои личные средства устроил мастерскую, которая дает заработок моим ученикам – местным крестьянам...».

Примечательно внедрение телефонии в российском военно-морском флоте. Огромные заслуги в этом, включая организацию отечественного производства телефонной аппаратуры и внедрение ее на боевых кораблях флота, принадлежат морскому офицеру Евгению Викторовичу Колбасьеву. Первая телефонная станция Колбасьева состояла из трех телефонов: два – у водолаза (из которых один использовался в качестве микрофона) и один – у старшины команды на корабле. Броненосец «Потемкин», в частности, и многие другие корабли имели телефонные установки Колбасьева, изготовленные и установленные кронштадтской мастерской.

Активно экспериментировал с первыми российскими телефонами действительный член Русского технического общества подполковник Владимир Борисович Якоби, сын академика Б.С. Якоби. Он сообщал в своих записках Инженерному корпусу: «...в самое непродолжительное время можно обучить армейских солдат обращению с телефонными приборами, так что в случае внедрения таковых в войсках, это не встретит ни малейшего затруднения». В 1881 году В.Б. Якоби изобрел миниатюрный телефон, который назывался «телекаль» и представлял собой, по существу, вибрационный телефонный сигнальный прибор. Этот телефонный аппарат с успехом демонстрировался в 1882 году на Второй Петербургской электротехнической выставке, которую отделяло более 100 лет от выставок Норвеком, где демонстрировались миниатюрные мобильные телефоны с вибровыводами. Самому же В.Б. Якоби не было суждено увидеть практическое использование своих изобретений: материальные трудности, и без того слабое здоровье, а также наследственный трудоголизм привели его к преждевременной кончине в августе 1884 года.

Не все российские изобретения были удобны иностранным концессионерам, управлявшим тогда (да и только ли тогда?) электропромышленностью России, что иллюстрируется, например, историей микрофона Вредена. Международная телефонная компания Белла в 1881 году обязалась приобрести привилегию Р.Р. Вредена на микрофон и внедрить его на телефонных станциях, строившихся

в Петербурге и Москве, но, как оказалось впоследствии, целью фирмы было не допустить своим «обязательством» распространения этого изобретения до окончания срока строительства телефонных станций, о чем Р.Р. Вреден писал в феврале 1882 года директору телеграфов: «Так как Вашему превосходительству известно, что ... я по телефонному делу состою с Барановым в Международной Белевской компании, и что они обязались приобрести мою русскую привилегию на изобретенный мною микрофон, то я считаю долгом заявить, ... что до сих пор... не исполнено ни одного из обязательств в отношении ко мне, и поэтому покорнейше прошу Ваше превосходительство принять участие в охранении интересов русского изобретателя по телефонии».

Другие, не связанные, как В.Б. Якоби и Е.В. Колбасьев, воинской присягой российские изобретатели, например, С.М. Бердичевский-Апостолов и М.Ф. Фрейденберг, после тщетных попыток заинтересовать своими работами отечественные государственные организации и коммерческие фирмы, были вынуждены патентовать свои изобретения за границей.

Впрочем, косность и недалководидность отнюдь не являются свойствами исключительно отечественных госструктур. Крупные телекоммуникационные компании во всем мире грешили (а подчас и теперь грешат) тем же. Иллюстрацией этому может служить продолжающееся с самого начала XXI века беспрецедентное падение индекса NASDAQ. Более наглядный пример – реакция телекоммуникационного гиганта XIX века компании Western Union на предложение Белла и его тестя Гардинера Хаббарда приобрести патент на телефон за 100 000 долларов. Одним из наиболее поучительных документов в истории телефонии является письмо, написанное группой специалистов, которые были уполномочены Western Union составить заключение по поводу этого предложения:

*15 ноября 1876 года*

*Чаунси М. Депью*

*Президенту компании Western Union Telegraph Co.*

*Нью Йорк Сити*

*Уважаемый мистер Депью:*

*Наш комитет был образован согласно Вашему указанию для решения вопроса о приобретении патента США 174.465 компанией Western Union Company. Мистер Гардинер Г. Хаббард и мистер А. Г. Белл, изобретатель, продемонстрировали нам свой прибор, который они называют "телефоном", и изложили свои планы его применения.*

*Указанный "телефон" предназначен для передачи человеческой речи по телеграфным проводам. Мы обнаружили, что голос звучит очень слабо и неразборчиво, а при использовании длинных проводов между передатчиком и приемником звук становится еще слабее. С технической точки зрения мы не считаем, что это устройство когда-либо сможет передавать понятную речь на расстояние в несколько миль.*

*Господа Хаббард и Белл хотят установить свои "телефоны" практически в каждом доме или деловом предприятии нашего города. Эта идея абсурдна сама по себе. Более того, с какой стати кто-то захочет использовать такое неуклюжее и непрактичное уст-*

*ройство, если он может отправить посыльного на местную телеграфную станцию и передать оттуда ясно написанное сообщение в любой большой город Соединенных Штатов?*

*Специалисты-электрики нашей компании на сегодня уже разработали все существенные улучшения в области телеграфии, и мы не видим причин, по которым следует поддержать группу неспециалистов с нелепыми и непрактичными идеями, коль скоро у них нет ни малейшего представления о том, как решить затронутые проблемы. Финансовые прогнозы мистера Г. Г. Хаббарда, хотя и звучат очень заманчиво, основаны на необузданном воображении и на отсутствии понимания технических и экономических аспектов существующего положения; при этом игнорируются технические ограничения, присущие их устройству, которое едва ли может быть более чем игрушкой или лабораторной диковинкой. Мистер А. Г. Белл, изобретатель, служит учителем в школе для плохо слышащих, и для его работы "телефон", возможно, имеет какое-то значение, но при столь большом количестве недостатков не может всерьез считаться средством связи.*

*В свете изложенных фактов мы считаем, что предложение мистера Г.Г. Хаббарда о приобретении его патента за 100 000 долларов лишено здравого смысла, поскольку это устройство по своим возможностям не представляет для нас никакого интереса. Мы не рекомендуем его покупать.*

Это легендарное письмо Чаунси Детью является, по-видимому, крупнейшей и грубейшей ошибкой во всей истории телекоммуникационного бизнеса.

В июле 1877 года образовалась компания Bell Telephone Company с Гардинером Хаббардом в качестве президента. Эта компания производила телефоны и продавала их, а также право на их использование. Первые коммерческие аппараты, предложенные Bell Telephone Company, состояли из цельного куска дерева (черный орех или красное дерево) с элементом, который служил и передатчиком, и приемником. Источником энергии служил, преимущественно, постоянный магнит, находившийся внутри устройства, а не батарея или внешний источник электропитания. Каждый телефонный аппарат имел прямое соединение с другим аппаратом через частную линию, которую обычно телеграфисты сдавали в аренду телефонной компании. В первых рекламных объявлениях пользование двумя телефонами и соединяющей их линией предлагалось за \$20 в год для общественных целей и за \$40 в год – для корпоративных; при этом обеспечивалось бесплатное техобслуживание.

Одним из клиентов Bell Telephone была компания New England Telephone Company, образованная в 1878 году. Первую коммерческую телефонную станцию, о которой речь пойдет ниже, она открыла в Нью-Хэвене. Тогда, к концу 1877 года, в пользовании находилось свыше 600 телефонов, а рост популярности изобретения ассоциировался с кабинетами, заполненными телефонами, и со столбами, увешанными проводами воздушных линий связи (рис. 1.1).

В 1880 году компании New England Telephone Company и Bell Telephone Company слились и образовали American Bell Telephone Company, впоследствии – знаменитую AT&T. Компания Western Electric

была в то время производителем электрического оборудования для Western Union и находилась под ее корпоративным управлением. В 1882 году American Bell тайно купила контрольный пакет акций Western Electric. Этот маневр, который тогда некоторые считали грабительским, обеспечил American Bell необходимые дополнительные производственные мощности и нанес Western Union сокрушительный удар, от которого она фактически так никогда и не оправилась. AT&T выкупила Western Union в 1911 году. В 1908 году президентом AT&T стал Теодор Вейл, а к 1911 году AT&T превратилась в Bell System, корпоративная структура которой оставалась почти неизменной до распада компании в 1984 году. В 1923 году AT&T создала Bell Telephone Laboratories в качестве своей дочерней компании, на которую возлагались исследования и разработки.

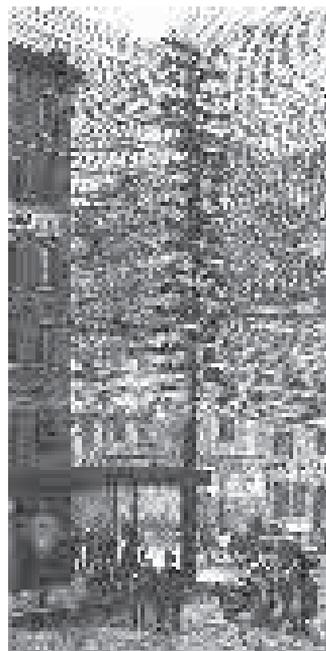


Рис. 1.1 Телефонная сеть до коммутации каналов

Сегодня все воспринимают, как саму собой разумеющуюся, возможность связаться по телефону с людьми, являющимися пользователями самых разных местных и междугородных сетей. Так было не всегда. К 1885 году в США существовало уже более 300 лицензированных телефонных компаний, а телефону было всего лишь девять лет. Начиная с этого времени и по 1907 год, людям часто приходилось иметь два телефона: один для связи с абонентами Bell Telephone Company, а второй – для связи с людьми, жившими в городе, который обслуживала другая телефонная компания. Независимые телефонные компании и компания Bell не «разговаривали» друг с другом, между ними отсутствовало какое-либо взаимодействие. В 1910 году компания AT&T выдвинула стратегию взаимоувязанной телефонной связи, и из этой стратегии выросла телефонная сеть общего пользования. В обмен на предоставление компанией AT&T такого универсального обслуживания Федеральное правительство США предоставило ей монополию на телефонную связь, которую затем неоднократно отбирало. Большая часть других стран избежала этого неудобного периода и с самого начала создавала взаимоувязанные национальные сети, которые, в свою очередь, объединились в единую всепланетную сеть связи.

### 1.5.2 Ручные коммутаторы

Как это обычно бывало в истории техники, решение представленной на рис. 1.1 проблемы оказалось весьма простым и было найдено в городе Нью-Хэвен, Коннектикут, где в 1878 году была открыта первая телефонная станция. Этот ручной коммутатор стоил 28,5 долларов и обслуживал 21 абонента. Оператор коммутатора прослушивал все телефонные соединения, чтобы определить момент окончания разговора.

Экономическое обоснование применения телефонных коммутаторов связано с невозможностью соединить всех абонентов по принципу «каждый с каждым». В случае малого числа абонентов, скажем  $N=5$ , такое соединение вполне представимо и изображено на рис. 1.2.

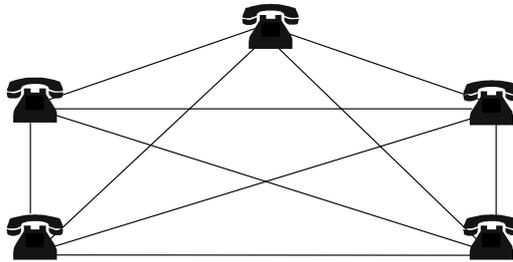


Рис. 1.2 Соединение "каждый с каждым" для 5 абонентов

Для того чтобы представить себе, сколько нужно иметь линий в сети с  $N=10$  абонентами, достаточно взглянуть на рис. 1.3, который наглядно иллюстрирует для этого случая формулу  $N(N-1)/2$ .

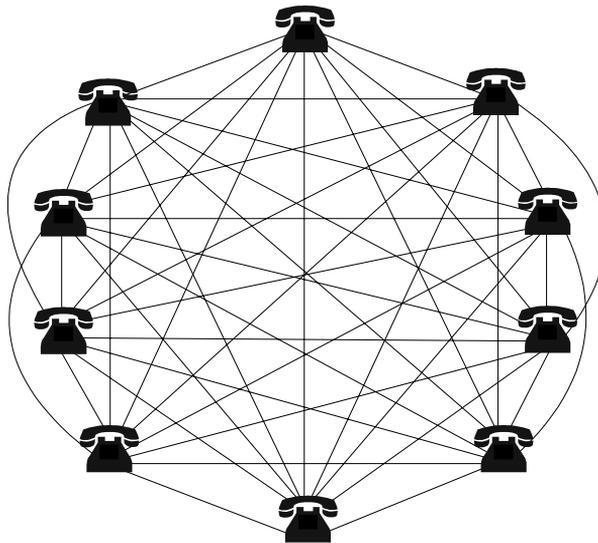


Рис. 1.3 Соединение "каждый с каждым" для 10 абонентов

Возможность связи любой пары абонентов при значительно меньшем числе соединительных линий в сети обеспечили ручные коммутаторы (рис. 1.4), количество которых быстро увеличивалось, и хотя компании Western Union, а не Bell принадлежало вначале большинство установленных телефонов, сеть Bell System быстро разрасталась за счет установки ручных телефонных станций и вскоре опередила сети Western.

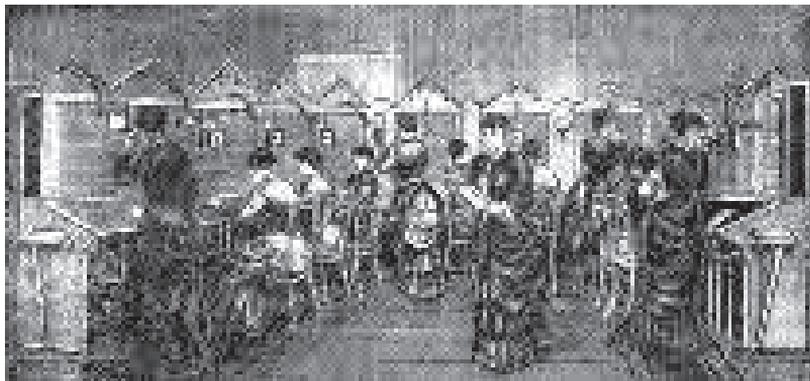


Рис. 1.4 Первая Петербургская ручная телефонная станция

В те годы Россия, по-видимому, в гораздо меньшей степени, чем теперь, отставала от США, потому что спустя всего 4 года ручные городские телефонные станции начали действовать в Петербурге, Москве, Одессе и Риге. Согласно первому проекту Петербургской телефонной сети представленную на рис. 1.4 главную телефонную станцию «... предполагалось устроить в Петербурге в доме Гансена, по Невскому проспекту, против Казанского собора, № 26, откуда будут направлены семь магистральных линий, группами от 10 до 120 проводов; по Казанской улице; к Николаевскому мосту и на Васильевский остров; к Исаакиевской площади; к Троицкому мосту; к Александровскому мосту и на Выборгскую сторону; по Невскому проспекту к Знаменской площади и к Министерству Внутренних дел....». В Москве первая телефонная станция была построена в 1882 г. и помещалась на Кузнецком мосту. В нее было включено всего лишь 26 телефонных аппаратов. На станциях были установлены однопроводные коммутаторы Гилеланда (рис. 1.5), оборудованные сигнальными клапанами, индуктором для вызова абонентов, микрофоном и телефоном для переговоров оператора с абонентом или с другой телефонисткой. Вызов станции абонентом отмечался открытием дверцы вызывного клапана. При вставлении штепселя в одно из гнезд происходило соединение между соответствующими вертикальной и горизонтальной полосами, к которым были подключены линии абонентов. В каждый такой коммутатор, кроме 50 абонентских линий,

могло быть включено до 90 соединительных линий для связи с другими коммутаторами данной станции. От каждого коммутатора, через сделанные в потолке квадратные отверстия, пучок из 50 изолированных проводников поднимался к башне, установленной на крыше здания телефонной станции. Вначале для проводов использовали стальную проволоку диаметром 2.2 мм. Позднее применяли бронзовую (!) проволоку диаметром 1.25 и 1.4 мм.

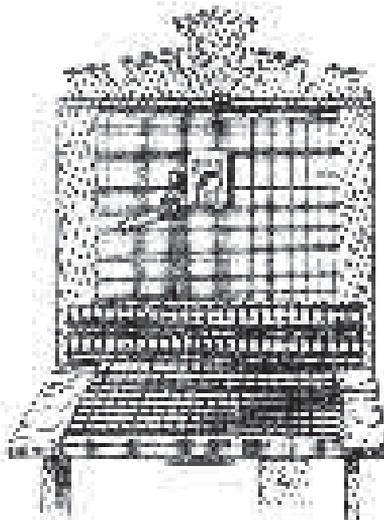


Рис. 1.5 Коммутаторная доска системы Гилеланда

Каждая линия оканчивалась абонентским пунктом, содержащим аппарат МБ системы Белла с микрофоном Блека, индуктор и звонок Гилеланда и гальваническую батарею. Весьма поучительна инструкция пользования первыми телефонными аппаратами:

*Абонентам предоставляется возможность пользоваться услугами телефонной станции с 8 часов утра до 11 часов вечера.*

*При разговоре по телефону, чтобы собеседник лучше вас понимал, повышать голос не требуется, слова следует выговаривать отчетливо, не слишком замедляя темп речи.*

*В состоянии покоя (отсутствие связи) телефонная трубка должна висеть на крючке – только при этом условии может быть приведен в действие вызывной звонок.*

*В целях быстрого и надежного обслуживания телефонная станция рекомендует абоненту следовать приведенным ниже указаниям.*

1. Абонент «А» желает разговаривать с абонентом «Б». Для этого «А», прежде всего, вызывает телефонную станцию, для чего в течение 2-3 сек нажимает на кнопку, затем снимает трубку с крючка и прикладывает ее к уху. После ответа «Станция слушает, что вам угодно?» «А» просит соединить его с ... (называет имя абонента «Б»). Телефонная станция либо говорит «Вызываю» и предоставляет требуемое со-

единение, либо сообщает «Ваш абонент занят, а когда он освободится, вам позвонят». В последнем случае «А» отвечает, что он понял телефониста, и снова вешает трубку на крючок, где она висит до следующего звонка. Когда звонок зазвонит, трубка снимается, снова прикладывается к уху, и абонент уведомляет телефонную станцию о своей готовности словами «Вас слушает...». Телефонная станция сообщает: «Абонент... свободен, вызывайте». «А» вызывает «Б» при помощи повторного нажатия кнопки, не отнимая при этом трубки от уха. После того как «А» услышит: «Б» слушает, кто говорит?», он начинает разговор словами: «Говорит «А». Конец отдельных сообщений, фраз, вопросов и т.п. подчеркивается словами: «Пожалуйста, отвечайте» или «Я кончил». Об окончании разговора «А» уведомляет станцию, нажимая в последний раз на кнопку.

2. Вызывают абонента «Б». После того как зазвенел звонок, «Б» снимает телефонную трубку с крючка и, держа ее возле уха, говорит: «У телефона «Б», кто говорит?». После этого «А» называет себя (см. п. 1) и начинает разговор».

Со временем количество телефонов росло, и операторы испытывали трудности, выясняя, кто есть кто. Им необходимо было знать наизусть по фамилиям и именам до нескольких тысяч абонентов. В 1879 году одному врачу пришла мысль использовать в своем офисе систему нумерации для ведения картотеки пациентов, после чего и местная телефонная компания стала использовать номера вместо имен абонентов. Так родился телефонный номер, а что с этим номером случилось дальше, подробно рассматривается в разделе учебного курса по сетям связи, посвященном нумерации.

Таким образом, на ручных телефонных станциях (РТС) действия, необходимые для установления соединения, были распределены между абонентами и оператором. С переходом от системы МБ к системе ЦБ эти действия распределились следующим образом: абонент вызывает станцию, снимая микротелефонную трубку с рычага аппарата. После ответа оператора абонент устно передает ему информацию о нужном абоненте, т. е. называет его номер. В конце связи вызывавший абонент передает на станцию сигнал отбоя, вешая микротелефонную трубку на рычаг аппарата. Вызываемый абонент, отвечая на вызов, снимает микротелефонную трубку и этим дает на станцию сигнал ответа. Окончив разговор, он кладет или вешает микротелефон на рычаг аппарата, давая этим сигнал отбоя. На станции оператор подключается к линии вызывающего абонента, принимает от него информацию о номере вызываемого абонента, отыскивает на коммутаторе гнездо, в которое включена линия этого абонента, проверяет, не занята ли она, подключается к линии, если она свободна, посылает вызов, соединяет между собой линии вызывающего и вызываемого абонентов, а после получения от абонентов сигнала отбоя производит разъединение.

Когда вызывающий абонент снимает трубку с рычага своего телефонного аппарата, возле гнезда, по крайней мере на одном коммутаторе загорается сигнальная лампа. Оператор вводит штепсель-

ную вилку на одном конце коммутационного шнура в гнездо абонента А, подсоединяет головной телефон и говорит: «Номер, пожалуйста». Абонент А сообщает номер абонента Б оператору, тот вводит вилку штепселя на другом конце того же коммутационного шнура в гнездо абонента Б и, перекидывая переключатель, производит коммутацию, в результате чего телефон абонента Б звонит (в дальнейшем эта процедура усложнилась в тех случаях, когда гнездо абонента Б оказывалось не на том же коммутаторе, что и гнездо абонента А). Когда абонент Б отвечает, звонок прекращается, оператор отключается и может обслуживать другой вызов. Когда абонент А вешает трубку, оператор вынимает штепсельные вилки коммутационного шнура из обоих гнезд.

Конфигурация штепсельного электрического соединителя показана на рисунке 1.6. Штепсель показан в левой части рисунка, его сечение – в центре, а сечение гнезда – в правой части. На рис. 1.6 незаштрихованные участки представляют проводящий металл, а заштрихованные участки – изоляцию. Проводящие участки обозначены как *головка*, *шейка* и *корпус* (*tip*, *ring*, and *sleeve*). Эти элементы штепселя выполнены как коаксиальные цилиндры. Когда штепсель вставляется в гнездо, образуется электрический контакт каждого цилиндра штепселя с соответствующим коаксиальным цилиндром в гнезде. То, что этот контакт является пружинным, на рис. 1.6 не показано. Шнур содержит три провода, которые подключаются к головке, шейке и корпусу штепселя на том и другом конце шнура. Электрический сигнал, несущий абонентские данные, передается по двум проводам, подключенным на том и другом конце шнура к головке (*tip*) и шейке (*ring*) штепселя. Провод, подключенный на каждом конце шнура к корпусу штепселя (*sleeve*), несет сигнал постоянного тока для включения сигнальной лампы на коммутаторе. Названия «*tip*» и «*ring*» служат также для обозначения двух проводов линии между телефоном и телефонной станцией, а первые буквы этих названий – Т и R – для обозначения клемм внутри телефона, к которым подключаются провода линии.

Заметим, что термины «*tip*, *ring* и *sleeve*» пережили ручной коммутатор и продолжают использоваться в настоящее время как названия трех проводов **a**, **b**, и **c** в электромеханических АТС.



Рис. 1.6 Штепсельный электрический соединитель

Далее в книге будет показано, что абонент АТС выполняет, по су-

ществу, те же функции, что и абонент РТС. Он вызывает станцию, снимая микротелефон с рычага, и дает сигнал отбоя, опуская микротелефон на рычаг. По-иному на станцию передается лишь информация, идентифицирующая вызываемого абонента: вызывающий абонент АТС использует для этой цели установленный на его телефонном аппарате номеронабиратель, который преобразует набираемый номер в серии импульсов тока. Количество серий соответствует числу цифр в номере вызываемого абонента, а число импульсов в каждой серии – очередной цифре этого номера. Что же касается функций оператора РТС, то они выполняются на АТС автоматическими приборами. При вызове со стороны абонента АТС к его линии подключаются устройства для приема информации о набираемом номере. При этом вызываемому абоненту передается зуммерный сигнал *Ответ станции*, означающий готовность станции к приему номера. В соответствии с принятым номером коммутационные устройства отыскивают линию вызываемого абонента. Затем проверяется состояние этой линии. Если она свободна, то со станции в аппарат вызываемого абонента посылается индукторный ток – сигнал вызова, и одновременно в аппарат вызывающего абонента передается зуммерный сигнал *Контроль посылки вызова*. После ответа вызываемого абонента в коммутационных приборах замыкается цепь разговорного тракта. При отбое абонентов разговорный тракт нарушается и коммутационные устройства возвращаются в исходное состояние. Если же линия вызываемого абонента оказалась занятой другим соединением, со станции в аппарат вызывающего абонента передается зуммерный сигнал *Занято*.

Строительство и эксплуатация городских телефонных сетей в важнейших городах России с самого начала выполнялись телефонной компанией Белла. Однако в 1885 г. русское правительство приняло решение строить городские телефонные сети не только по договорам с компанией Белла, но также силами и средствами Главного управления почт и телеграфа. Первая станция на 60 номеров, смонтированная силами Главного управления, была введена в эксплуатацию 1 апреля 1886 г. в Киеве. В дальнейшем Главное управление почт и телеграфа строило собственные станции в Харькове, Казани, Астрахани, Курске и других городах.

Все эти станции были импортными, а точнее – разработанными иностранными компаниями, которые имели официальный статус «отечественного производителя». Для получения такого статуса требовалось иметь в составе акционерного капитала телефонной компании хотя бы ничтожную часть русского капитала и устав, зарегистрированный в установленном порядке. Это давало иностранным фирмам такие же права и преимущества в производстве и сбыте телефонной продукции, какие имели в стране чисто российские

предприятия. В частности, они имели право получать казённые военные заказы, которые часто сопровождались правительственными дотациями. Наибольшую роль в развитии телефонного производства России имели заводы Русского акционерного общества «Л.М. Эрикссон и К°» и акционерного общества «Н.К. Гейслер и К°». Шведская фирма «Л.М. Эрикссон» стала основным поставщиком телефонного оборудования для русских правительственных телефонных сетей и для царской армии и флота ещё в начале 90-х годов прошлого века. Со временем, из-за изменений таможенной политики, фирма открыла в 1897 г. в Петербурге на Васильевском острове сборочную и монтажную мастерскую, а в 1900 – 1902 гг. построила в Петербурге на Выборгской стороне первый в стране телефонный завод, называемый сегодня «Красная заря» (рис. 1.7).



Рис. 1.7 Построенный РАО "Л.М.Эрикссон и К°" завод "Красная заря" (1914 г.)

В 1874 г. телеграфный механик Н. К. Гейслер открыл в Петербурге небольшую электромеханическую мастерскую по ремонту телеграфной аппаратуры, которая с 1884 г. стала выпускать телефонные коммутаторы, изобретённые Л. Х. Иозефом, а в 1895 г. совместно с американской фирмой «Вестерн Электрик К°» и на ее деньги построила в Петербурге телефонно-телеграфный завод, который стал производить телефонную аппаратуру Берлинского филиала американской «Вестерн Электрик К°» – фирмы «Цвитуш и К°». Чрезвычайно интересна многолетняя борьба компании Гейслера с упоминавшимся в начале параграфа разработками Е.В. Колбасьева за право телефонизации боевых кораблей российского флота, во время которой проводились многократные сравнительные испытания телефонов Колбасьева и Гейслера на броненосце «Александр III» и судне «Европа», принимались взаимоисключающие решения Морского управ-

ления кораблестроения и снабжения и Морского технического комитета и т.п. По драматизму все это не уступало сегодняшним тендерам на поставку телекоммуникационной техники, однако выгодно отличалось от них вниманием к техническим аспектам и, что особенно удивительно, завершилось победой отечественной разработки.

И еще одна компания, тоже получившая статус отечественного производителя, – немецкая фирма «Акционерного общества русских электротехнических заводов Сименс и Гальске» – подключилась к телефонному производству. В 1853 г эта фирма построила в Петербурге первый в России электротехнический завод, который производил телеграфные аппараты Морзе, Юза и Бодо, динамо-машины, электродвигатели и приборы железнодорожной сигнализации, а затем стал заводом им. Козицкого. В 1912 г. в Петербурге был открыт другой электротехнический завод фирмы «Сименс-Шуккерт», названный позже заводом «Электросила» имени Кирова. Кроме того, фирма «Сименс и Гальске» построила в Петербурге кабельный завод, ставший затем заводом «Севкабель».

Все три эти компании и сегодня выпускают телефонное оборудование, все они снова, 100 лет спустя, получили в России статус отечественных производителей, причем во второй раз от них не потребовалось никакого вклада в градостроительство Петербурга (деньги, вероятно, были потрачены на что-то более важное). Но вернемся к тому, что было в первый раз.

В 1900 г. закончился срок концессии, предоставленной ранее компании Белл на эксплуатацию Московской, Петербургской, Одесской и Рижской телефонных сетей. В результате новых торгов контракт на эксплуатацию Московской городской телефонной сети был заключен со Шведско-Датско-Русским акционерным обществом. Дальнейшая реконструкция сети, имевшей к тому времени 2860 телефонов, выполнялась шведской фирмой «Л.М. Эрикссон». Этот контракт был заключен на 18 лет, начиная с 1 ноября 1901 г., и завершился относительно удачно: не дожидаясь национализации, Шведско-Датско-Русское акционерное общество в феврале 1917 года продало правительству России права на эксплуатацию МГТС, и до июля 1994 года сеть являлась собственностью государства. Впрочем, в 1901 году предугадать грядущую насильственную национализацию и ее вечных спутниц – разруху и техническую отсталость – не могли даже лидеры организовавшей их политической партии, и телефонные сети развивались практически теми же темпами, что и в других развитых странах. В январе 1905 г. в Москве была запущена новая телефонная станция емкостью 40 тысяч номеров. В этой станции был применен групповой принцип, согласно которому все коммутаторное оборудование станции делилось на коммутаторы группы А и коммутаторы группы Б. В многократное поле коммутато-

ров группы А включались линии абонентов с номерами от 1 до 20000, в многократное поле коммутаторов группы Б – линии абонентов с номерами от 20001 до 40000. Абонентские телефонные аппараты были снабжены двумя кнопками. Сняв микротелефонную трубку, абонент, чтобы вызвать оператора, обслуживавшего нужную группу, нажимал соответствующую кнопку.

Телефонные сети России продолжали интенсивно развиваться вплоть до 1917 г., достигнув емкости в 232 тыс. номеров. Влияние последовавших в российской истории событий на российскую же телефонию прекрасно иллюстрирует подписанный председателем Совета Народных Комиссаров В.И. Лениным 13 июля 1918 г. декрет «О пользовании московскими городскими телефонами». Согласно этому декрету была организована специальная комиссия, которая занималась распределением телефонов между потребителями. В первую очередь обеспечивались советские учреждения и предприятия. У частных лиц квартирные телефоны сохранялись в исключительных случаях и с обязательным предоставлением возможности пользоваться аппаратом всем, проживающим в том же доме. На окраинах, где телефоны имелись не во всех домах, жители «приписывались» к ближайшему телефону, получая через местные Советы особые карточки на право пользования им.

Нетрудно понять, как этот декрет повлиял, говоря сегодняшним языком, на инвестиционный климат в российских телефонных сетях. За 5 лет к 1922 году телефонная емкость сократилась почти втрое и составила 89 тыс. номеров.

Остальной мир в это время беспокоила совсем другая проблема – экономическая неэффективность расширения емкости телефонной сети путем увеличения количества и/или усовершенствования ручных коммутаторов, управляемых телефонистками-операторами. Кстати, первыми телефонными операторами РТС, вопреки расхожему мнению, которое отражает и более поздний рис. 1.4, были особы мужского пола. В США их даже называли весьма значаще: «switchmen» – «человек-переключатель». Этот подход, вероятно, заимствован из телеграфии, где в России, например, женщины могли занимать должности телеграфистов только в Петрограде и в Финляндии, а лишь с 1871 г. – повсеместно. В дальнейшем профессия телефонного оператора стала, в основном, женской профессией, причем отнюдь не простой. Из-за отсутствия многократного поля, в тех случаях, когда один из абонентов, включенных, например, в первый коммутатор, требовал соединения с абонентом, включенным в пятый коммутатор, телефонистка первого коммутатора соединяла его по соединительной линии с телефонисткой пятого коммутатора и громко сообщала ей о номере, с которым требуется соединение. По мере роста емкости РТС становилось все больше таких соединений, в которых участвовали две телефонистки, что создавало большой шум, вело к увеличе-

нию количества ошибок в соединениях, ужесточало требования к отбору телефонисток: на эту должность стали принимать девушек высокого роста и незамужних, «дабы лишние думы и заботы не приводили к лишним ошибкам». Существует историческая версия, согласно которой именно нарушение одной телефонисткой обета безбрачия и послужило причиной изобретения А. Строуджером первой автоматической телефонной станции в 1891 году.

### 1.5.3 Автоматическая коммутация

Эта версия состоит в том, что А. Строуджер, являясь владельцем похоронного бюро в городе Канзас-Сити, терпел убытки при получении заказов по телефону, т. к. мужем одной из телефонисток РТС Канзас-Сити был владелец другой, конкурирующей похоронной компании, к которой эта телефонистка и направляла все звонки абонентов, вызывавших похоронное бюро. Раздосадованный такой коррупцией, Алман Строуджер поклялся навсегда избавить общество от телефонисток и изобрел автоматический телефонный коммутатор декадно-шагового типа, емкостью до 99 абонентов, а также запатентовал это изобретение на имя основанной им же в 1892 году компании Strowger Automatic Telephone Exchange Company. Теперь эта компания называется Automatic Electric Company и является производственным отделением корпорации General Telephone and Electronics Corporation (GTE).

Первый такой коммутатор А. Строуджер построил в своем гараже. Но это устройство так и не было установлено на телефонной станции до 1921 года. Возникло множество проблем с реализацией изобретения, и устройство было передано в Европу для дальнейшей доработки. После того как изобретение было усовершенствовано, компания Bell начала использовать этот автоматический коммутатор в своих станциях. В 1896 г. Строуджер изобрел телефонный аппарат с дисковым номеронабирателем, который позволял абонентам самим набирать номер и устанавливать связь быстрее, чем оператор. Пока не истек (в 1906 году) срок патента Строуджера, телефонные сети Bell Systems были на 100% ручными и не использовали автоматические станции. Выждав до 1906 года, AT&T избежала необходимости платить Строуджеру авторские гонорары за патент, но ее первые автоматические телефонные станции были установлены именно компанией Строуджера.

Эти декадно-шаговые станции оказались настолько надежными, что многие из них работают еще и сегодня, причем это имеет место не только во Взаимоуязнанной сети связи России. В Лос-Анджелесе, например, некоторые фешенебельные отели до самого последнего времени сохраняли свои собственные декадно-шаговые коммутаторы.

Отечественная история АТС начинается в 1923 г. с весьма любопытного решения телефонной подсекции Госплана СССР: «За отсутствием опыта строительства и эксплуатации АТС построить несколько мелких станций». Во исполнение этого решения в 1924 г. в Московской телефонной сети для служебной связи была смонтирована опытная декадно-шаговая АТС на 1000 номеров фирмы «Сименс и Гальске» с задействованной емкостью всего 100 номеров.

Переход к автоматической коммутации потребовал выбора базовой АТС, в качестве которой рассматривались машинные станции фирмы «Л.М. Эриксон», декадно-шаговые станции фирмы «Сименс и Гальске» и станции системы «Ротари» фирмы «Вестерн Электрик». Основным аргументом в пользу машинных станций «Л.М. Эриксон» явилась готовность компании не только поставить несколько АТС, но и предоставить ранее экспроприированному у нее же заводу «Красная заря» техническую документацию для производства АТС, а также обучить советских специалистов на своих заводах, что со всей очевидностью иллюстрировало справедливость тезиса вождя мирового пролетариата о готовности капиталистов продать Советской России веревку, которой та найдет отнюдь не предусмотренное изготовителем и продавцом применение.

Результатом контракта, утвержденного Советом Народных Комиссаров 27 октября 1925 г., стало начало строительства в 1926 г. в Ростове-на-Дону первой в СССР автоматической телефонной станции машинной системы «Л.М. Эриксон». Эта АТС была сдана в эксплуатацию в 1929 г., а затем последовали станции в Москве, Новосибирске, Ташкенте, Смоленске, Ленинграде и других городах.

Споры о выборе типа АТС не прекращались и после пуска в действие первых машинных АТС. В январе 1931 г. вопрос о сравнении разных систем и о пригодности системы «Эриксон» для развития телефонных сетей СССР рассматривался комиссией, организованной Наркоматом Рабоче-крестьянской инспекции с привлечением отраслевой науки и целого ряда специалистов отрасли. Результаты научного анализа имевшегося материала с учетом действительно неплохих данных о первых результатах эксплуатации Ростовской АТС привели комиссию к выводу, что принятая для внедрения в СССР система «Эриксон» не обладает никакими «органическими» недостатками, которые могли бы препятствовать широкому ее внедрению в городских телефонных сетях СССР. Кстати, было бы весьма интересно сравнить этот вывод с формулировками аналогичных решений в отношении АТС МТ-20, принятых более полувека спустя.

Тем не менее, в середине Второй мировой войны, при обсуждении вопроса о восстановлении производства АТС, со стороны промышленности связи стали открыто звучать категорические возражения против производства машинных АТС из-за его технологиче-

ской сложности и трудоемкости. В результате мнение склонилось в пользу разработки и внедрения АТС декадно-шаговой системы. В 1947 году технический совет Министерства связи СССР официально одобрил генеральную схему развития телефонной связи на базе декадно-шаговых АТС. Производство такой АТС, названной впоследствии АТС-47, было налажено заводом «Красная заря». С внедрением в городских телефонных сетях Советского Союза декадно-шаговых АТС появилась необходимость в промежуточном оборудовании для связи между машинными и декадно-шаговыми станциями. Оборудование было разработано в 1947 г. специалистами Научно-исследовательского института телефонной связи (НИИТС, теперь – ЛОНИИС). Авторы этой разработки – П.П. Аверин, Б.Н. Вознесенский, М.Б. Гранат, Я.Г. Кобленц и Д.Ф. Логинов – в 1950 г. получили Государственную премию.

Вскоре появилась потребность в радикальном усовершенствовании ДШ АТС-47, которое было выполнено специалистами ЛОНИИС и завода «Красная заря» и привело к созданию новой станции – АТС-54. Эта станция имела ряд преимуществ перед АТС-47. Дальность действия по абонентским и соединительным линиям возросла, появилась возможность передавать сигналы набора номера по телефонным кабелям длиной до 40 км, а также возможность автоматической междугородной телефонной связи, улучшилось эксплуатационно-техническое обслуживание и уменьшились затраты на него, увеличилась надежность работы оборудования.

Однако и эта модернизация не могла устранить принципиальные недостатки, присущие декадно-шаговым станциям. Эффективное развитие растущих городских телефонных сетей сдерживалось, главным образом, малой емкостью контактного поля искателей, и проектировщики вынуждены были идти на заведомо неоптимальные решения. С автоматизацией междугородной телефонной связи стало существенно проявляться низкое качество разговорного тракта из-за нестабильности скользящих контактов искателей, приводившей к недопустимо высокому уровню шумов. Разнообразные попытки улучшить ситуацию, включая даже весьма дорогостоящее нанесение на щетки искателей тонкого слоя благородного металла и покрытие контактных ламелей искателей серебром, не давали требуемого эффекта.

Эти недостатки декадно-шаговых АТС были устранены в станциях следующего поколения – координатных. Емкость контактного поля коммутационных приборов таких АТС значительно больше, чем емкость поля декадно-шаговых искателей, а контакты скольжения заменены в них контактами давления, имеющими стабильное сопротивление и гораздо больший срок службы. Приборы эти строятся в виде матриц, имеющих каждая  $n$  входов и  $m$  выходов. Матрица может либо формироваться из  $n \times m$  электромагнитных реле, либо вы-

полняться в виде единой конструкции (многократного координатного соединителя – МКС). Первый координатный коммутатор изобрели в Швеции, а в Bell Laboratories разработали сразу три основные разновидности координатных станций. Их называли «координатная станция типа  $k$  (ХВк)»,  $k = 1, 4$  и  $5$ . Координатная станция типа 1 была впервые установлена в 1938 году и имела весьма скромный успех, а координатная станция типа 2 вообще никогда не производилась. Следующей была разработана координатная междугородная станция, названная в США станцией типа 4 и ставшая первой автоматической междугородной станцией, предназначенной для замены работавшего тогда ручного оборудования 4A Toll Switchboard. Координатная станция типа 5 была впервые установлена в 1948 году, она оказалась очень удачной и популярной в качестве местной АТС.

В СССР первая опытная координатная подстанция емкостью 100 номеров – ПС-МКС-100, – разработанная НИИТС (ЛОНИИС) и заводом «Красная заря», была установлена в Ленинградской городской телефонной сети в 1957 г.

В начале 60-х годов ЛОНИИС, совместно с заводом «Красная заря» и другими предприятиями промышленности связи, под руководством профессора Бориса Самойловича Лившица приступил к разработке координатной АТС для городских телефонных сетей, которая завершилась созданием АТСК. Этой станции и общим принципам работы координатных АТС посвящена глава 3.

#### 1.5.4 Квазиэлектронные и электронные АТС

По мере развития технологий стали появляться заменители традиционных электромеханических коммутационных элементов – электронные и магнитные устройства, в которых отсутствовали подвижные части, а следовательно, практически исчезали механические повреждения, повышалось быстродействие, снижались габариты и масса.

Преимуществами электронных коммутационных элементов были также более высокая технологичность изготовления, большая интеграция компонентов в одном корпусе, возможность использования печатного монтажа и других достижений электроники того времени: транзисторов, полупроводниковых диодов, магнитных элементов с прямоугольной петлей гистерезиса, твердых интегральных схем и больших интегральных схем (БИС) с высокой степенью интеграции. Соответственно, электронные АТС, по сравнению с электромеханическими, имели меньшие габариты, требовали меньших площадей и кубатуры зданий, меньших затрат на электроэнергию и эксплуатационное обслуживание, обеспечивали более гибкие возможности построения телефонных сетей.

На первом этапе достижения электроники стали применяться только в управляющих устройствах АТС, что привело к появлению

квазиэлектронных АТС, сочетавших в себе электронное управление и электромеханические коммутационные элементы.

Практически в тот же период, на рубеже 1960-х и 1970-х годов, делаются важнейшие шаги в развитии систем коммутации, связанные с компьютерной революцией. Компьютеры начинают использовать для преобразования адресной информации, для линейного поиска в коммутационном поле и пр., а *управление по записанной программе* в квазиэлектронных и электронных АТС стало нормой. Именно программное управление коммутацией послужило важной предпосылкой зарождения современной теории программирования. Многие достижения в теории программирования явились результатом исследований и разработок ученых и инженеров телекоммуникационных компаний, в частности, Bell System. Первое программное обеспечение коммутации в АТС было реализовано до изобретения современной операционной системы. Программы управления коммутацией писались на языке ассемблера, а распределением программных сегментов управляли сами разработчики программ.

Первая телефонная станция с программным управлением родилась в 1950-х годах в исследовательском центре Bell Laboratories. Опытный образец системы, названный ESSEX, прошел эксплуатационные испытания в 1960 году в Моррисе, штат Илинойс. Однако путь от опытного образца до промышленного производства оказался гораздо труднее, чем ожидалось. Разработка требовала прорыва в областях конструирования процессора, языков программирования, компиляции, распределения ресурсов в реальном времени и других усилий, которые впоследствии образовали целые отрасли научной дисциплины, известной теперь как компьютерные науки. Первая коммерческая коммутационная станция ESS1 была введена в эксплуатацию 30 мая 1965 года в Суккасунне, штат Нью-Джерси (кстати, по соседству с первой бруклинской координатной АТС) и обслуживала 200 абонентов. Позже в число подобных разработок вошли ESS2 и ESS3, а также аналогичные изделия других изготовителей. По мере развития компьютеров детали конструкции этих станций претерпевали изменения, и на протяжении 20 лет ESS1 переросла в более современную версию 1A ESS.

Название *квазиэлектронные АТС* предполагает сохранение пространственной аналоговой коммутации с применением механических контактов, но, одновременно, – использование электронных программируемых управляющих устройств. Для построения коммутационного поля в квазиэлектронных АТС применялись быстродействующие малогабаритные коммутационные элементы с электрическим, магнитным или механическим удержанием контактов в рабочем состоянии. К коммутационным элементам с электрическим удержанием относились герконовые реле и реле типа ESK. Герконы

(герметизированные контакты) представляли собой маленькие стеклянные баллоны длиной 20–50 мм и диаметром 3–5 мм, заполненные инертным газом и содержащие контактные пружины из магнитного материала. Контактные поверхности были покрыты золотом или другим неокисляемым металлом. Применение герконов иллюстрирует рис. 1.8. Язычковое реле, изображенное на рис. 1.8 а, содержит электромагнитную катушку  $K$ , внутри которой помещается один или несколько герконов  $\Gamma$ , а для создания замкнутого магнитопровода в реле предусматривается ярмо  $Я$  из магнитного материала. При прохождении через обмотку язычкового реле управляющего постоянного тока создается магнитное поле, силовые линии замыкаются через ярмо и контактные пружины, которые при этом притягиваются друг к другу и образуют контакт. При выключении тока происходит размыкание контактов, поскольку контактные пружины возвращаются в исходное положение благодаря своей упругости.

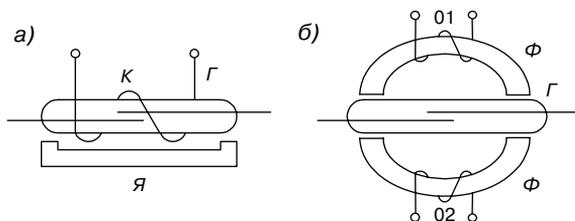


Рис. 1.8 Принцип действия геркона

Из отдельных герконовых реле создавались многократные герконовые соединители (МГС), представлявшие собой основные коммутационные блоки. Еще одной разновидностью многократного герконового соединителя с магнитным удержанием был соединитель на *гезаконах* – герметизированных запоминающих контактах (в американской литературе такие контакты назывались ремридами, а в японской – меморидами).

Точно так же из отдельных ферридов строились многократные ферридовые соединители (МФС): в каждой точке коммутации имелся феррид с определенным числом контактов. Схема коммутации разговорного тракта в МФС аналогична схеме коммутации в герконовом соединителе.

Отечественной разновидностью многократного соединителя с магнитным удержанием явился многократный интегральный соединитель (МИС), который отличался от МФС тем, что магнит (из полутвердого магнитного материала) в выбираемой точке коммутации работал по принципу безгистерезисного намагничивания. Впрочем, в связистских кругах того времени это обозначение воспринималось исключительно как начало фамилии Леонида Яковлевича Мисуловина, организатора и директора Рижского отделения ЦНИИС, соз-

дателя первой советской квазиэлектронной АТС с записанной программой ИСТОК для сельских телефонных сетей. К отечественным АТС с программным управлением мы еще вернемся в главе 6.

### 1.5.5 Цифровые АТС

Переход на цифровую передачу и коммутацию немедленно привел к резкому улучшению качества речи, особенно в тех случаях, когда участники соединения были разделены большим расстоянием (для предотвращения потерь передаваемой информации требуется множество регенераторов, кумулятивный побочный эффект которых – значительное искажение сигнала, но цифровой сигнал, в отличие от аналогового, очень легко восстанавливать).

Первой цифровой АТС оказалась не разработка Bell Laboratories, а европейская станция E10, установленная в 1970 году в Ланьоне, Франция. В американских источниках первой цифровой системой часто называют междугородную станцию 4ESS, созданную в Bell Laboratories и впервые установленную в 1972 году в качестве альтернативы координатным АМТС типа XB4, а первой городской цифровой АТС – станцию DMS-10 компании Nortel, тоже установленную в 1970-х годах. Что же касается городских станций Bell Laboratories, то первая цифровая АТС типа 5ESS была установлена в начале 1980-х годов.

Микропроцессорная революция оказала влияние на архитектуру систем коммутации не только благодаря снижению стоимости управляющих компьютеров. Произошел отказ от полностью централизованного управления и переход к модульной архитектуре, появились удаленные микропроцессорные модули, разгрузившие основные системы и обеспечившие экономическую эффективность и в станциях малой емкости, что будет рассмотрено в главе 9.

Удешевление микропроцессорных управляющих устройств никак не повлияло на стоимость разработки цифровых АТС. Разработка одной из наиболее известных станций – 5ESS – потребовала 4 тысячи человеколет и около 500 млн. долларов. Впрочем, вряд ли это оказалось самой сложной и трудоемкой работой Bell Laboratories. Хотя лаборатории были созданы в 1925 г. для исследований в области телефонной связи, их изобретения продвинули вперед далеко не только телефонию: в Bell Laboratories были разработаны транзистор, многочисленные аудио-устройства, системы беспроводной радиосвязи, операционная система UNIX и многое, многое другое. Что же касается цифровых АТС, то им посвящены все главы этого учебника, начиная с главы 4, а конкретные системы рассматриваются в главах 5 и 6.

Однако сейчас настало время рассмотреть наиболее консервативный элемент телефонии, взаимодействующий со всеми упомянутыми в этом параграфе АТС, – аналоговый телефонный аппарат.

## 1.6 Телефонные аппараты

Читатели, уже знакомые с устройством телефонного аппарата из учебного курса физических основ телефонии, могут пропустить этот параграф. Для остальных общее знакомство с работой обычного телефона необходимо для того, чтобы уточнить, каким образом в АТС устанавливаются телефонные соединения. К вопросу о телефонных аппаратах мы, так или иначе, будем обращаться и в следующих главах при рассмотрении очередного поколения систем коммутации, а здесь проанализируем основные принципы устройства аналогового телефона и сигнализацию по абонентскому шлейфу. Отметим, однако, что подробное описание физической конструкции и электрической схемы телефонного аппарата выходит за рамки учебника, а потому в этом параграфе можно ограничиться схематическим описанием телефона.

Классический телефонный аппарат состоит из двух конструктивных частей, собственно аппарата и телефонной трубки. Обычно в аппарате находится рычаг, на котором лежит трубка в то время, когда аппарат не используется, а при снятии трубки с рычага срабатывает механически связанный с ним переключатель, контакты которого замыкаются. Аппарат и трубку соединяет шнур с проводами, а в беспроводных телефонных аппаратах это соединение обеспечивает маломощный радиоканал. В ранних конструкциях телефонных аппаратов микрофонную часть располагали в базовом блоке, который оформляли в виде настольного или настенного ящика, а трубка состояла только из небольшого наушника, который абонент прижимал к уху. У большинства современных аппаратов в телефонной трубке помещаются и наушник, и микрофон, причем физическая конструкция трубки соответствует форме головы человека.

Самая простая схема телефонного аппарата содержит микрофон, телефон, батарею, магнето и звонок. *Микрофон* преобразует энергию акустического поля в электрическую энергию. Первоначально в телефонных аппаратах использовались так называемые угольные микрофоны (carbon microphones), работа которых полностью соответствовала изобретению Эдисона. Зернышки угля были насыпаны между двумя параллельно расположенными пластинами, и общее электрическое сопротивление этой конструкции изменялось в зависимости от звукового давления, которое сближало пластины и прижимало зернышки угля друг к другу. Когда звуковая волна оказывала более сильное давление на угольные частицы, активное сопротивление микрофона уменьшалось, и сила тока увеличивалась. Таким способом микрофон превращал акустические колебания в колебания электрического тока. Эти основные принципы воздействия звуковых колебаний на ток в абонентском шлейфе сохраняются и теперь, хотя в современных телефонах используются более сложные и более высококачественные микрофоны.

Переменный ток, генерируемый микрофоном, на другом конце соединения снова преобразуется в звук. Преобразование это выполняет *телефон*, который состоит из диафрагмы и электромагнитной катушки. Через обмотку катушки проходит переменный ток, получаемый от микрофона. Этот ток, в свою очередь, создает переменное магнитное поле, которое вызывает колебания диафрагмы, благодаря чему возникают звуковые волны, близкие к исходным звуковым колебаниям на передающей стороне.

Для работы микрофона необходим источник постоянного тока – *батарея*. Если батарея местная, т. е. вмонтирована в телефонный аппарат, то постоянный ток нужно изолировать от линии с переменным током, несущим аудиосигнал; делается это с помощью конденсатора или трансформатора. Применение местного источника питания имеет очевидные недостатки: использование преобразователя переменного тока бытовой электросети означает, что при повреждении этой сети телефон прекратит работу, а автономный источник питания в аппарате требует ухода и/или периодической замены. Кроме того, в аппаратах с местной батареей необходимо иметь специальное устройство для вызова станции и для передачи сигнала отбоя после окончания связи. Таким устройством является *магнето* – небольшая электрическая машина, приводимая в действие путем вращения рукоятки и генерирующая переменный ток небольшой частоты (десятки герц) с напряжением порядка сотни вольт.

В применяемом почти повсеместно режиме с централизованным источником питания батарея постоянного тока находится на телефонной станции и обеспечивает надежное питание всех включенных в нее телефонных аппаратов. Номинальное напряжение станционной батареи равно 60 или 48 вольтам.

И, наконец, в телефоне имеется приемник вызывного сигнала – *звонок* (вспомним, что речь пока идет о самом простом телефонном аппарате; все знают, что в современных аппаратах для этой цели, как правило, применяют другие электроакустические преобразователи). Если два телефона связаны друг с другом прямой некоммутируемой линией, то сигналом вызова, поступающего к звонку одного из них, является переменный ток, создаваемый при вращении магнето второго. При коммутируемой связи звонок вызываемого телефона получает вызывной сигнал, генерируемый на станции. Чтобы звонок был хорошо слышен, электрический сигнал вызова должен быть достаточно мощным. В станциях российской ТфОП напряжение этого сигнала составляет приблизительно 90 В при частоте 25 Гц.

Очевидно, что необходимость крутить ручку магнето для вызова станции и для того, чтобы оповестить ее об окончании связи, причиняет абоненту ощутимые неудобства. Замена магнето схемой, содержащей трансформатор и позволяющей использовать для

формирования вызывного сигнала напряжение бытовой сети переменного тока, избавляет от названных неудобств, но ставит возможность связи в зависимость от того, насколько надежно работает эта сеть. Более совершенные телефонные аппараты, питающиеся от центральной батареи, содержат очень важный элемент, устраняющий этот недостаток и выполняющий ряд других функций, – *рычажный переключатель*. В зависимости от того, находится микрофонная трубка на рычаге или нет, переключатель пребывает в одном из двух возможных состояний, каждому из которых соответствует определенное положение его контактов, – если трубка на рычаге, цепь потребления тока от станционной батареи разомкнута, а при поднятой трубке эта цепь замкнута. Когда трубка положена, контакт рычажного переключателя разомкнут, и ток, потребляемый линией от батареи, равен току утечки. Когда абонент снимает трубку, контакт переключателя замыкается, и потреблять ток начинает микрофонная цепь телефонного аппарата. По изменению тока, потребляемого линией, станция может определить состояние рычажного переключателя в аппарате, подключенном к этой линии, благодаря чему обеспечивается вызов станции абонентом и сигнализация об отбое. Нужно заметить, однако, что чем длиннее линия, тем больше ток утечки и тем меньше ток при поднятой трубке. Это обстоятельство затрудняет определение станцией состояния рычажного переключателя в аппарате абонента, расположенного от нее на большом расстоянии.

Поскольку вызывной сигнал поступает к аппарату, когда трубка находится на рычаге, то есть при разомкнутых контактах рычажного переключателя, звонок подключен к линии независимо от положения этих контактов, а чтобы через его обмотку не создавалась цепь постоянного тока, подключение производится через конденсатор. Обмотка звонка имеет настолько большую индуктивность, что ее шунтирующее влияние на аудиосигнал при снятой трубке практически неощутимо, а при положенной трубке сопротивление обмотки переменному току составляет большую часть сопротивления линии, измеренного со стороны станции. В те времена, когда использование «параллельных» телефонов нужно было регистрировать и дополнительно оплачивать, службы ГТС время от времени проверяли сопротивление каждой абонентской линии, чтобы выявить наличие параллельных телефонных аппаратов. Абоненты, впрочем, могли легко помешать этой проверке, отключая звонок в «нелегальном» дополнительном телефоне.

Говоря о телефонном аппарате, включаемом в АТС, нужно рассмотреть набор номера и некоторые другие сигналы, передаваемые по абонентской линии. Более подробно эти вопросы освещаются в книге о сигнализации в сети абонентского доступа [43]. Упрощенно же абонентская сигнализация – это передача информа-

ции, необходимой для создания и разрушения соединения двух абонентов телефонной сети. После передачи сигнала об изменении состояния абонентского шлейфа, которое происходит, когда абонент инициирует вызов, сняв телефонную трубку с рычага, он должен передать на станцию телефонный номер вызываемого абонента (того, кто инициирует вызов, обычно называют абонентом А, а того, кому этот вызов адресован, – абонентом Б). Когда шлейф замыкается, в линии появляется ток, приблизительно, 20 – 50 мА. Абонентский комплект АТС обнаруживает изменение тока в линии и активизирует аппаратные (сигнальные цепи) или программно-аппаратные средства, предназначенные для приема цифр, которые передаст абонент А, и в соответствии с которыми АТС должна будет установить соединение. Информация о номере абонента Б может передаваться одним из двух классических способов – шлейфовыми импульсами или многочастотными сигналами. Импульсный набор, который иллюстрирует рис. 1.9, будет рассмотрен при описании АТС декадно-шаговой системы. Многочастотный набор поддерживается всеми современными телефонными аппаратами; этот способ будет рассмотрен в других главах.



Рис. 1.9 Импульсный набор номера

Сигнализация по абонентской линии включает в себя не только рассмотренные выше сигналы, создаваемые и воспринимаемые схемой телефонного аппарата. Но поскольку именно телефонный аппарат является предметом данного параграфа, остальное мы отложим на будущее. Здесь же приведем только рис. 1.10, на котором изображены фазы передачи сигналов по абонентской линии. Когда станция обнаруживает вызов со стороны абонента А (снята трубка), она передает ему акустический сигнал «ответ станции», который абонент слышит в телефоне своего аппарата и воспринимает как приглашение набрать номер. После набора АТС информирует абонента А о том, что соединение успешно установлено, посылая ему сигналы КПВ (контроль посылки вызова) с одновременной передачей вызывного сигнала в телефонный аппарат абонента Б. Когда абонент Б отвечает, АТС отключает как вызывной сигнал, так и сигнал КПВ. В конце разговора АТС обнаруживает состояние «трубка положена» и разрушает соединение.

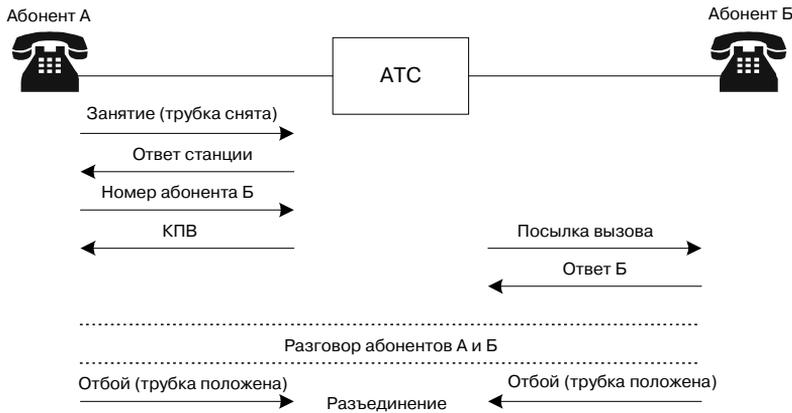


Рис. 1.10 Сигнализация по абонентским линиям

## 1.7 Стандартизация в области коммутации

Как и приведенные выше стандартизованные параметры, относящиеся к сигнализации по абонентским линиям, практически во всех разделах этого учебника будет упоминаться множество других стандартов: для характеристик качества обслуживания вызовов в АТС, для электрических и логических интерфейсов, для систем синхронизации, систем сигнализации и пр. Здесь же хотелось бы осветить общие подходы к стандартизации в коммутационной технике.

Прежде всего, следует отметить весьма досадное, но уже многократно проявившееся и оказавшее влияние на развитие коммутационной техники обстоятельство: стандартизация не является только техническим вопросом. Иногда бывает невозможно принять глобальные стандарты из-за противоположных политических интересов, и часто для Европы, Америки и Японии принимаются разные стандарты. Европа не хочет принимать американскую технологию, а Америка не хочет принимать европейскую. Все это происходит либо из соображений защиты местной промышленности, либо по другим, далеким от техники причинам. Примером такого политического решения был выбор в семидесятые годы особого закона кодирования ИКМ для Европы, отличающегося от уже существовавшего американского закона кодирования, о чем известно из курса многоканальной электросвязи. Более свежими примерами могут служить американские и европейские решения относительно технологий GSM, DAMPS и CDMA для цифровой подвижной связи.

Есть и обратные примеры. Так, стандарт DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), о котором будет сказано в главе 7, и спецификации которого были разработаны ETSI, получил разви-

тие и в США под названием PWT (Personal Wireless Telecommunications). Неоднократно упоминающиеся далее в этой книге стандарты ISDN – еще один крупный проект ETSI и ITU-T, признанный в настоящее время во всем мире.

Стандартизация играет ключевую роль в обеспечении услуг международной связи. Официальные международные стандарты определяют, например, технологию ISDN, построение оборудования доступа xDSL, передачу данных с коммутацией пакетов по протоколу X.25, факсимильную связь, интерфейсы сети доступа V.5, систему общеканальной сигнализации №7 и многое другое, о чем будет идти речь дальше.

Регулирование всех рассматриваемых ниже коммутационных технологий ведется под управлением *Международного союза электросвязи (ITU)*, уполномоченного Организацией Объединенных Наций (ООН). Ранее известный как Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (МККТТ), он был создан 17 мая 1865 года двадцатью европейскими государствами, включая Россию, которые подписали предложенную Францией первую международную Телеграфную конвенцию, обеспечившую согласование и взаимодействие национальных телеграфных сетей и положившую начало деятельности Международного телеграфного союза. В 1925 году в рамках Международного телеграфного союза были образованы два комитета – Международный консультативный комитет по дальней телефонной связи (в 1932 г. переименован в Международный консультативный комитет по телефонии, МККФ) и Международный консультативный комитет по телеграфии, МККТ. Тогда, в 1932 г. в Мадриде были проведены совместно конференции Международного телеграфного союза и Международного радиотелеграфного союза, принята единая конвенция, и два союза были объединены в один, который с 1934 г. называется Международным союзом электросвязи, МСЭ. Таким образом, не сейчас, а целых 70 лет назад был образован международный орган МСЭ, объединивший все три отрасли электросвязи – телеграф, телефон, радио. Штаб-квартира МСЭ размещалась в Берне (Швейцария). Основная деятельность Союза была направлена на поддержку и расширение международного сотрудничества, рациональное использование всех видов электросвязи, содействие развитию технических средств и их эффективной эксплуатации.

После окончания второй мировой войны, в 1947 г. состоялась международная конференция в Атлантик-Сити, на которой была модернизирована структура МСЭ и было заключено соглашение с ООН, в результате которого МСЭ стал его специализированным учреждением, и его штаб-квартиру перенесли изерна в Женеву. А в 1955 г. на базе МККТ и МККФ был образован Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (МККТТ),

в котором прорабатывались также вопросы, относящиеся к передаче данных, факсимильных сообщений и видеoinформации. Возврат исторического названия ИТУ (МСЭ) произошел совсем недавно в ходе мероприятий, направленных на борьбу с бюрократизмом и на повышение эффективности деятельности ООН. Обновленная структура исследовательских комитетов этой организации представлена в таблице 1.1, а серии рекомендаций по тематике данной книги – в таблице 1.2.

Таблица 1.1 Исследовательские комиссии ИТУ-T

ИК 2	Эксплуатационные аспекты предоставления услуг, сетей и характеристик функционирования
ИК 3	Тарифные принципы и принципы расчетов, включая относящиеся к этому экономические и стратегические вопросы
ИК 4	Эксплуатационное управление средствами электросвязи, включая TMN
ИК 5	Защита от электромагнитных воздействий окружающей среды
ИК 6	Линейно-кабельные сооружения
ИК 7	Сети передачи данных и взаимодействие открытых систем
ИК 9	Интегрированные широкополосные кабельные сети и передача телевизионных и звуковых программ
ИК 10	Алгоритмические языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи
ИК 11	Требования к сигнализации и протоколы
ИК 12	Характеристики сетей и оконечного оборудования при сквозной передаче
ИК 13	Сети на многопротокольной базе и на базе протокола Интернет и их взаимодействие
ИК 15	Оптические и другие транспортные сети
ИК 16	Мультимедийные услуги, системы и оконечные устройства
Спец. ИК	IMT-2000 и последующие системы

*Европейский институт стандартов для электросвязи (ETSI – European Telecommunications Standards Institute) создан в 1988 году и является независимой организацией, разрабатывающей паневропейские стандарты. Институт расположен на юге Франции в Sophia Antipolis и насчитывает сотни членов из десятков стран, которые представляют администрации связи, сетевых операторов, исследовательские организации и конечных пользователей Европейского содружества. Примером стандартов, созданных ETSI, является глобальный стандарт цифровой мобильной связи GSM, который принят не только в европейских странах, но и во всем мире.*

Таблица 1.2 Структура серий рекомендаций ITU-T

D	Общие принципы начисления платы
E	Общая эксплуатация сети, функционирование служб и человеческие факторы
G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
H	Системы аудиовизуальной и мультимедийной связи
I	Цифровая сеть интегрального обслуживания
J	Передача мультимедийных сигналов
K	Защита от помех
M	Сеть эксплуатационного управления средствами электросвязи (TMN)
P	Качество телефонной передачи, телефонные установки и абонентские линии
Q	Коммутация и сигнализация
V	Передача данных по телефонной сети
X	Сети данных и взаимодействие открытых систем
Y	Глобальная информационная инфраструктура
Z	Языки программирования

Нельзя не упомянуть также *Международную организацию стандартизации (ISO)*, известную, в частности, как разработчик типовой модели взаимодействия открытых систем (OSI), которая рассматривается в главе 8, посвященной системам сигнализации. Одним из крупнейших в мире профессиональных обществ, создавшим много важных стандартов, является *Институт инженеров электротехники и электроники (IEEE)*. Некоторые из стандартов IEEE, например, стандарты для локальных сетей (LAN), были приняты ISO в качестве международных. Таковым является, в частности, стандарт ISO 8002 для локальной сети Ethernet, эквивалентный стандарту IEEE 802.2.

В телекоммуникационной сфере многих политико-этнических территориальных образований важную роль играет национальное регулирование, хотя роль эта, по вполне очевидным причинам, несколько меньше, чем роль международного регулирования. Примером может служить *Организация национальных стандартов США (ANSI)*. Большинство государств имеет определенные законы, правила и стандарты, которые охватывают такие вопросы, как конкуренция операторов, тарифы, выделение спектра радиочастот и характеристики линий телефонной связи. В России эти вопросы закреплены за Министерством РФ по связи и информатизации, в Соединенных Штатах – за Федеральной комиссией связи (FCC). С другой стороны, AUSTEL, выполнявший аналогичные функции в Австралии, недавно был лишен таких прав, в Новой Зеландии национальная сеть также была полностью либерализована. Не прекращается дискуссия и по поводу упразднения FCC в США. *Европейская конференция*

*администраций связи* (Conference Europeenne des Administrations des Postes et des Telecommunications – CEPT) завершила свою работу (часть которой передала ETSI).

Наряду с государственными стандартизирующими организациями, существует много других, общественных организаций, работающих со стандартами более эффективно. Среди них *Инженерная рабочая группа Интернет IETF*, которая занимается стандартизацией стека протоколов TCP/IP и другими инженерными аспектами Интернет, *ATM-форум*, который ведет работы, относящиеся к асинхронному режиму переноса информации, *Memorandum of Understanding GSM* (вопросы глобальной системы связи подвижных объектов), *ADSL-форум* (асимметричные цифровые абонентские линии), *SoftSwitch-консорциум*, *форум по ретрансляции кадров*, *DSL-форум*, *MPLS-форум*, *организация партнерства по системам 3-го поколения (3GPP)*, *консорциум по мультимедийной конференции (IMTC)* и др.

Эти организации являются более гибкими и выпускают необходимые стандарты гораздо быстрее, чем официальные всемирные организации. Их стандарты часто используются как базис для официальных стандартов, одобряемых МСЭ и ISO.