

ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО

СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Учебное пособие

Тирасполь

*Издательство
Приднестровского
Университета*

2018

УДК 621. 372.88 (075)
ББК 32.883
Е70

Авторы:

В.Т. Еременко, М.Ю. Рытов, И.А. Павлинов, А.Ю. Долгов

Рецензент

А.Л. Макаревич, канд. техн. наук, доц. каф. квантовой радиофизики и систем связи ПГУ им. Т.Г. Шевченко

Еременко В.Т.

Е70 Сети и системы передачи информации: учебное пособие / В.Т. Еременко, М.Ю. Рытов, И.А. Павлинов, А.Ю. Долгов; под общ. ред. В.Т. Еременко. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2018. – 500 с.
ISBN 978-9975-925-44-0

Пособие содержит систематизированные сведения по вопросам, касающимся построения современных систем и сетей передачи информации. Приведены основные положения и рассмотрены перспективы развития систем восстановления и управления Единой сетью электросвязи Российской Федерации, особенности построения первичной и вторичных сетей связи, цифровой сети с интеграцией служб. Освещены основные подходы и методы оценки эффективности функционирования телекоммуникационных сетей общего пользования.

Весь фактический материал базируется на достаточно известных сведениях и подходах к построению систем и сетей передачи информации и содержит оригинальные данные по особенностям построения систем и сетей с повышенной устойчивостью к внешним воздействиям.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 09.00.00 «Информатика и вычислительная техника», 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи» и 210000 «Электронная техника, радиотехника и связь», а также может быть полезно специалистам, занимающимся эксплуатацией средств связи.

Работа выполнена совместно в Орловском государственном университете им. И.С. Тургенева, Брянском государственном техническом университете и Приднестровском государственном университете им. Т.Г. Шевченко.

УДК 621. 372.88 (075)
ББК 32.883

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

ISBN 978-9975-925-44-0

© Еременко В.Т., Рытов М.Ю.,
Павлинов И.А., Долгов А.Ю., 2018



ВВЕДЕНИЕ

Для каждого из трех последних столетий характерно преобладание своей господствующей технологии в развитии экономики и общества. Так, XVIII век был ознаменован индустриальной революцией и механизацией производства. В XIX веке наступила эпоха парового двигателя. На протяжении всего XX века основу главной технологии составляли сбор, обработка и распределение информации. Среди прочих разработок особо следует отметить создание глобальных телефонных сетей, изобретение радио и телевидения, рождение и быстрое распространение радиосвязи с подвижными объектами (радиоподвижная связь), компьютерная индустрия, запуск спутников связи. Существующие и вновь разрабатываемые сети связи вначале развивались самостоятельно.

В 1962 г. академик Академии наук СССР Александр Александрович Харкевич в статье «Информация и техника», опубликованной в журнале «Коммунист» № 12, впервые в мире сформулировал основные принципы создания Единой сети связи (ЕСС). По его мнению, ЕСС должна объединять существующую и развивающуюся сети связи путем планомерного их наращивания в органическом взаимодействии с системой вычислительных, управляющих и справочных центров.

Этот принцип был положен в основу создания Единой автоматизированной системы связи СССР, а в 1996 г. учтен при разработке Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации (ВСС РФ). В 2003 г. в целях наиболее рационального использования средств, вкладываемых в развитие связи, Правительство РФ приняло решение о создании Единой сети электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ России), объединяющей все телекоммуникационные системы и сети страны.

Телекоммуникационная система – система передачи, предназначенная для передачи звуковой информации, изображений и других информационных потоков с помощью телефона, телетекста, телеграфа, радиовещания, электронной почты, спутниковой и факсимильной связи и т. д.

Под телекоммуникационной сетью (ТС) понимается совокупность средств электросвязи, обеспечивающих доставку информации терри-

ториально удаленным пользователям, а также средств хранения и обработки информации, подлежащей передаче, и принятой информации.

Важность развития ЕСЭ России подтверждена в Федеральном законе № 126-ФЗ «О связи» от 07.07.2003, в котором указано, что на базе взаимоувязанной сети связи, новых средств связи и технологий необходимо создать Единую сеть электросвязи Российской Федерации. Этот закон стал правовой основой деятельности в области связи, а также определил права и обязанности лиц, участвующих в указанной деятельности или пользующихся услугами связи. В законе введено понятие «единая сеть электросвязи», подразумевающее сети связи различных категорий – сеть связи общего пользования; выделенные сети связи; технологические сети связи, присоединенные к сети связи общего пользования; сети связи специального назначения и другие. В законе намечены пути дальнейшего развития и совершенствования телекоммуникационных сетей на всей территории Российской Федерации с использованием современных отечественных и импортных средств связи. Специалистам в области связи предстояло разрешить основные проблемы:

1. Как должна совершенствоваться связь в стране, чтобы удовлетворять все возрастающие требования по доставке информации?

2. Сколько и каких средств связи для этого необходимо создать и внедрить?

3. Как оптимально развивать телекоммуникационные сети, чтобы при минимальных затратах получить нужный эффект, обеспечить своевременность доставки и достоверность передаваемых сообщений, а также максимально использовать оборудование и каналы связи?

Следует отметить, что в настоящее время проблема развития телекоммуникационных сетей является не столько технической, сколько организационно-технической и социально-экономической. Необходимо определить, сколько средств, людских и материальных ресурсов потребуется для отрасли связи в целом и для ее составляющих (акционерных обществ, предприятий связи), чтобы увеличить прирост национального дохода. Надо не только знать аппаратуру, предназначенную для передачи и распределения информации, но и строить телекоммуникационную сеть так, чтобы она, с одной стороны, максимально удовлетворяла потребностям абонентов в услугах связи, а с другой – обеспечивала эффективное использование отдельных ее элементов.

В настоящее время рынок телекоммуникационных услуг России представлен более чем 30 сетями, доступными как для государственного, так и для коммерческого использования. В этих условиях перед потенциальным пользователем встает задача выбора телекоммуника-

ционных систем, возможности которых в наибольшей степени удовлетворяют его запросы с учетом специфики предполагаемой сферы применения.

Таким образом, вопросы, касающиеся изучения, построения и оценивания телекоммуникационных систем и сетей, остаются в центре внимания мировой науки. В настоящее время осуществляется интенсивная разработка документов международной организацией по стандартизации в данной области. Именно поэтому изучение теории телекоммуникационных систем и сетей связи становится неотъемлемой частью системы подготовки инженеров электросвязи.

Предлагаемое учебно-методическое пособие состоит из восьми глав.

В первой главе приводятся основные понятия, относящиеся к телекоммуникационным системам и сетям общего пользования, которые обеспечивают терминологическую однозначность восприятия сведений, содержащихся в последующих главах. Рассматриваются первичные сигналы и методы модуляции.

Вторая глава посвящена принципам построения сетей и систем связи, методам коммутации в сетях связи. Материал данной части учебника содержит основные понятия теории эффективности, являющиеся базовыми при оценивании эффективности функционирования систем и сетей связи.

В третьей главе описывается семиуровневая эталонная модель взаимодействия открытых систем, которая отражает основные процессы, происходящие в сетях связи при передаче информации от абонента к корреспонденту.

В четвертой главе рассматриваются состав, структура и основные принципы построения Единой сети электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ России), приводятся термины и определения, применяемые при изучении ее элементов.

Последующие три главы учебника содержат описание функционирующих или вводимых в эксплуатацию на территории России вторичных сетей связи, входящих в состав ЕСЭ России.

В восьмой главе раскрыты основные принципы построения цифровых и интеллектуальных сетей связи. Рассматриваются особенности системы управления ЕСЭ России.

Глава 1

ПЕРВИЧНЫЕ СИГНАЛЫ И МЕТОДЫ МОДУЛЯЦИИ



1.1. Общие понятия, относящиеся к передаче информации на расстояние (информация–сообщение–связь)

Понятие «информация» имеет много различных значений. В связи с этим существуют и разные подходы к ее определению и оценкам (количественным, качественным и др.). Академик А.А. Харкевич под информацией предложил понимать «сведения, являющиеся объектом хранения, передачи, преобразования» [9]. Взяв за основу это определение, под информацией мы также будем понимать некоторые сведения о заданном объекте (процессе, событии, факте и т. д.).

Различают два вида информации об объекте: информация о его состоянии (конкретная) и информация о его свойствах (абстрактная).

Информация о состоянии объекта – это информация, отражающая его состояние (поведение) как перечень значений (заданных в числовом или другом виде) каких-то его параметров, определенных (измеренных) в некоторый момент (период) t_0 . Таким образом, информация о состоянии объекта в момент t_0 содержит сведения о некоторых параметрах $a_1, a_2, \dots, a_n$ этого объекта, знание которых необходимо для управления или выработки решения. Эта информация представляется вектором $\vec{I}_A(t_0) = b_1(t_0), b_2(t_0), \dots, b_n(t_0)$ – набором значений (оценок) $b_i(t_0)$ параметров a_i , выраженных числами или представленных в другом виде. Заметим, что b_i отображает действительное значение параметра a_i , как правило, с некоторым приближением, определяемым как особенностью объекта и способом измерения (оценки), так и системой отображения: языком, свойством носителя и т. п. Одному и тому же объекту может соответствовать множество различных элементов информации (векторов), отличающихся друг от друга полнотой представления (набором параметров).

Информация о свойствах объекта – это информация, содержащая описание свойств или поведения объекта и соотношения (законы), характеризующие этот объект.

Ценность информации (ее потребительская стоимость) заключается в эффекте (материальном или каком-либо другом), получаемом при ее использовании и определяемом тем, где и как она применена и насколько вовремя доставлена. Зависимость ценности информации от времени доставки может быть представлена *функцией ценности* (иногда ее называют функцией старения) $Q(t)$, которая имеет вид кривых, показанных на рисунке 1.1, где время может измеряться как в секундах, так и в часах, днях, месяцах и годах, а эффект, если его исчислять в деньгах, может в одних случаях измеряться в копейках, а в других – миллионами рублей. Иногда информацию характеризуют не ее ценностью, а критическим временем $T_{кр}$, после которого она становится ненужной или даже вредной [9].

Обмен информацией для людей не прихоть, а такая же естественная потребность, как пища, воздух, сон и т. д. Обмен информацией включает ее передачу и прием. Когда говорят о передаче информации, то подразумевают, что есть источник информации, получатель (потребитель) информации и средства ее передачи. Средства передачи, определенные физиологическими возможностями человека (например возможностями голосовых связок или зрительных органов), не могут решить проблему передачи больших объемов информации на значительные расстояния. Для ее решения человек создал и широко использует технические средства – средства связи. В узком смысле под понятием «связь» понимается техническая база средств связи, обеспечивающая передачу и прием информации. Отношения между связью и информацией такие же, как между транспортом и перевозимым грузом. Средства связи не нужны, если нет информации, как не нужен грузовой транспорт при отсутствии груза.

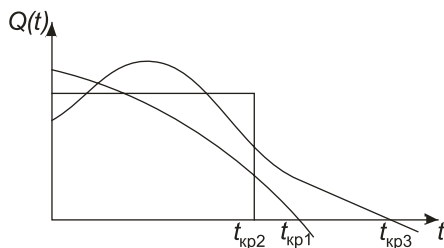


Рис. 1.1. Зависимость ценности информации от времени доставки сообщения

В широком смысле понятие «связь» – процесс передачи сообщений от источника к получателю [4].

Для того чтобы информацию можно было доставить, она должна быть представлена в виде сообщения $S(I_a)$, записанного на каком-либо носителе с использованием определенного языка.

Носитель информации – средство регистрации информации (магнитная лента, гибкий диск и т. д.).

Сообщение кроме основной информации должно включать адрес, указывающий, куда оно должно быть доставлено, ряд сведений, позволяющих идентифицировать как все сообщение, так и отдельные составляющие, единицы измерения, подпись (адрес отправителя) и некоторую служебную информацию, определяющую порядок доставки.

Таким образом, *сообщение* – это форма выражения (представления) информации, удобная для передачи на расстояние. Объем сообщения V_s определяется всей указанной информацией и чаще всего оценивается числом знаков (букв или цифр) или временем его передачи, когда речь идет о телефонных сообщениях или вещании программ.

Способность видеть позволяет человеку воспринимать информацию в форме неподвижных или подвижных изображений, называемых оптическими сообщениями (текст на листе бумаги, фотография и т. д.). Способность слышать помогает воспринимать информацию, представляющую собой механические колебания частиц воздушной среды и называемую звуковыми сообщениями (музыка, речь).

Сообщения в форме изображений или звуков естественны и удобны для общения между людьми, но нормальная жизнедеятельность их немыслима без электронно-вычислительных машин (ЭВМ). Со временем человек обязательно «научит» ЭВМ распознавать звуковые образы (звуки), а пока они воспринимают информацию в форме знаков. Знаки – это буквы, цифры и другие символы, из которых составляются сообщения путем их нанесения на специальные носители информации: перфоленты, магнитные ленты, барабаны, диски и т. д. Сообщения, предназначенные для обработки ЭВМ или полученные от ЭВМ, принято называть данными.

Любое сообщение имеет переменный параметр, в который заложена информация, содержащаяся в нем. Этот параметр называется *информационным*. По характеру изменения информационных параметров различают непрерывные и дискретные сообщения. Если информационный параметр сообщения в процессе изменения может принимать любые значения из некоторого множества возможных, то сообщение называется *непрерывным*. Непрерывными являются звуковые сообще-

ния. Действительно, звуковое давление может принимать любые значения из непрерывного множества возможных.

Любые текстовые и цифровые сообщения составляются из определенного конечного известного набора знаков (например, букв алфавита). Подобные сообщения принято называть *дискретными*.

Содержащее информацию сообщение бесполезно, если оно не передано тому, кому предназначено, – получателю информации. Когда сообщение записано на каком-либо вещественном носителе, то его можно доставить получателю с помощью того или иного вида транспорта. Так поступают при передаче письменных сообщений в почтовой связи. Однако такой способ не является единственно возможным. Для передачи сообщений могут быть использованы физические процессы, характеризующиеся способностью переносить с определенной скоростью от источника к получателю сообщения, содержащие информацию в виде звуковых или электромагнитных волн. Физический процесс, отображающий передаваемые сообщения, называют *сигналом*.

Электрические сигналы имеют ряд существенных преимуществ перед сигналами другой физической природы: они могут передаваться на большие расстояния, их форму можно преобразовывать сравнительно простыми техническими средствами, скорость их распространения близка к скорости света.

Систематизация сигналов разнообразна, но наибольшее применение нашла классификация по виду передаваемых сигналов и виду передаваемых сообщений. Классификация по виду сигналов охватывает аналоговые, дискретные и цифровые; узкополосные и широкополосные сигналы.

По виду передаваемых сообщений сигналы делятся на телефонные, радиовещания и звукового сопровождения телевидения, телеграфные и передачи данных, факсимильные и телевизионные, а также сигналы управления и взаимодействия различных объектов. Все они являются результатом преобразования сообщений (звукового давления, текстового документа, отдельного изображения или же множества изображений) в электрические колебания. Такие сигналы принято называть *первичными*.

Отображение передаваемого сообщения в первичном сигнале обеспечивается с помощью изменения какой-либо физической величины, характеризующей процесс передачи. Ее называют *информационным параметром сигнала*.

Аналоговым (непрерывным) сигналом называется сигнал электросвязи, у которого величина представляющих (информационных) параметров может принимать непрерывное множество состояний. Аналоговым может быть и импульсный сигнал, если один из его параметров (амплитуда, длительность, частота следования, фаза) принимает бес-

численное множество состояний (рис. 1.2, а). К аналоговым относятся телефонный, радиовещания и звукового сопровождения телевидения, фототелеграфный и телевизионный сигналы.

Дискретным называется сигнал электросвязи, у которого величина одного из представляющих параметров квантуется, т. е. имеет счетное множество состояний (рис. 1.2, б).

Цифровой сигнал электросвязи – сигнал, у которого счетное множество величин одного из представляющих параметров описывается ограниченным набором кодовых комбинаций (рис. 1.2, в).

Если отношение граничных частот эффективно передаваемой полосы частот первичного сигнала $F_{max}/F_{min} \leq 2$, то такие *сигналы* называются *узкополосными*, а если $F_{max}/F_{min} \gg 2$ – *широкополосными*.

Первичные сигналы электросвязи в телекоммуникационной системе и сети являются объектом транспортировки, так как они должны быть переданы от источника к потребителю. Для установления соотношения между параметрами и характеристиками первичных сигналов и свойствами каналов передачи вводят такие параметры и характеристики первичных сигналов, которые просто измерить и по которым возможно определить условия их передачи с минимальными искажениями и максимально возможной защищенностью.

К таким параметрам относится *длительность первичного сигнала*, определяющая интервал времени, в пределах которого сигнал существует. Следующим параметром первичного сигнала является средняя мощность, определяемая выражением

$$W_{cp} = \frac{1}{TR_0} \int_0^T U^2(t) dt, \quad (1.1)$$

где T – период усреднения (при $T = 1$ мин средняя мощность называется среднeminутной, при $T = 1$ ч – среднечасовой и при $T > 1$ ч – долговре-

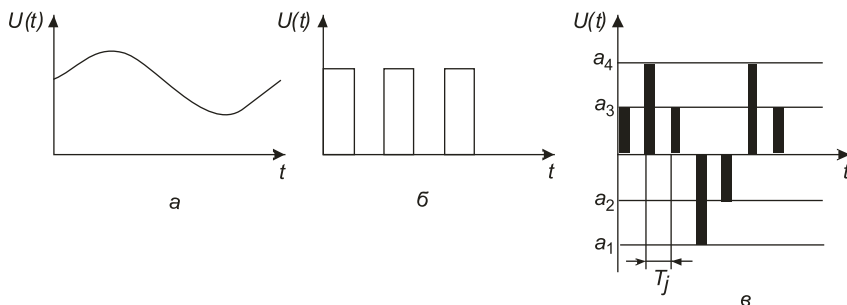


Рис. 1.2. Электрические сигналы:
а – непрерывный (аналоговый), б – дискретный, в – цифровой

менной); R – сопротивление нагрузки, на которой определяется средняя мощность сигнала; $U(t)$ – напряжение первичного сигнала.

Первичный сигнал также характеризуется *максимальной мощностью* $W_{\max}$, под которой понимается мощность эквивалентного синусоидального сигнала с амплитудой U_m , превышаемой мгновенными значениями переменной составляющей сигнала $U(t)$ с определенной малой вероятностью ε . Для различных видов сигналов значение ε принимается равным 10^{-2} , 10^{-3} и даже 10^{-5} .

Средняя и максимальная мощности сигнала должны быть такими, чтобы при прохождении сигнала по каналу передачи не превышались допустимые значения, обеспечивающие неискаженную передачу сигналов для правильного воспроизведения передаваемого сообщения на приеме.

Минимальная мощность $W_{\min}$ – это мощность эквивалентного синусоидального сигнала с амплитудой U_m , превышаемой мгновенным значением переменной составляющей сигнала $U(t)$ с определенной вероятностью, обычно равной $1 - \varepsilon \cong 0,98$.

Возможный разброс мощностей первичного сигнала в конкретной точке канала характеризуется *динамическим диапазоном* D_c , под которым понимается отношение (дБ):

$$D_c = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\min}}, \quad (1.2)$$

где $W_{\max}$ – максимальная (пиковая) мощность и $W_{\min}$ – минимальная мощность сигнала в одной и той же точке канала.

Превышение максимальной мощности сигнала над средней мощностью называется *пик-фактором* Q_c , определяемым по формуле (дБ):

$$Q_c = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{cp}}. \quad (1.3)$$

Превышение средней мощности первичного сигнала W_{cp} над средней мощностью помехи W_n называется *защищенностью*:

$$A_s = 10 \lg \frac{W_{cp}}{W_n}. \quad (1.4)$$

Первичные сигналы электросвязи (непрерывные и дискретные) являются непериодическими функциями времени. Таким сигналам соответствует сплошной спектр, содержащий бесконечное число частотных составляющих. Однако всегда можно указать диапазон частот, в пределах которого сосредоточена основная энергия сигнала (не менее 90 %) и ширина которого

$$\Delta F_c = F_{\max} - F_{\min}, \quad (1.5)$$

где $F_{\min}$ – минимальная частота первичного сигнала; $F_{\max}$ – максимальная частота первичного сигнала. Этот диапазон еще называют *эффективно передаваемой полосой частот* (ЭППЧ) сигнала, устанавливаемой экспериментально, исходя из требований к качеству передачи для конкретного вида первичных сигналов.

Произведение трех физических параметров первичного сигнала (длительности T_c , динамического диапазона D_c и эффективно передаваемой полосы частот ΔF_c), т. е.

$$V_c = T_c \cdot D_c \cdot \Delta F_c, \quad (1.6)$$

называется *объемом первичного сигнала*.

Важным параметром первичного сигнала является его потенциальный информационный объем, или *количество информации* I_c , переносимой им в единицу времени (бит/с):

$$I_c = 3,32 \cdot \eta \cdot \Delta F_c \cdot \lg \left(1 + \frac{W_{cp}}{W_n} \right), \quad (1.7)$$

где η – коэффициент активности источника первичного сигнала (для телефонных сигналов берется равным 0,25–0,35, а для остальных – 1); ΔF_c – эффективно передаваемая полоса частот, Гц; W_{cp} – средняя мощность первичного сигнала и W_n – средняя допустимая мощность помехи.

Процесс передачи или приема сигналов, знаков, текстов, изображений, звуков по проводной, радио-, оптической или другим электромагнитным системам называется *электросвязью* [2].

Для лучшего усвоения понятий будем использовать системный подход – способ проведения исследований, когда все явления, объекты, предметы и процессы рассматриваются как системы. В зависимости от предмета исследований системный подход позволяет любой промежуточный элемент более крупной системы рассматривать как отдельную самостоятельную систему взаимосвязанных составляющих [5]. Такой подход является достаточно полным и объективным, что позволяет сформировать целостное представление о связи.

На практике наиболее часто приходится иметь дело с передачей буквенно-цифровых текстов телеграмм, данных для ЭВМ, речи, изображений подвижных и неподвижных объектов (фотографии, чертежи, рисунки, полосы газет и т. д.). Неоднородность передаваемых сообщений привела к необходимости создания нескольких видов электросвязи. *Вид связи* – классификационная группа связи, выделенная по виду передаваемых сообщений [3]. Кратко опишем каждый из них в зависимости от характера передаваемых сообщений (рис. 1.3).

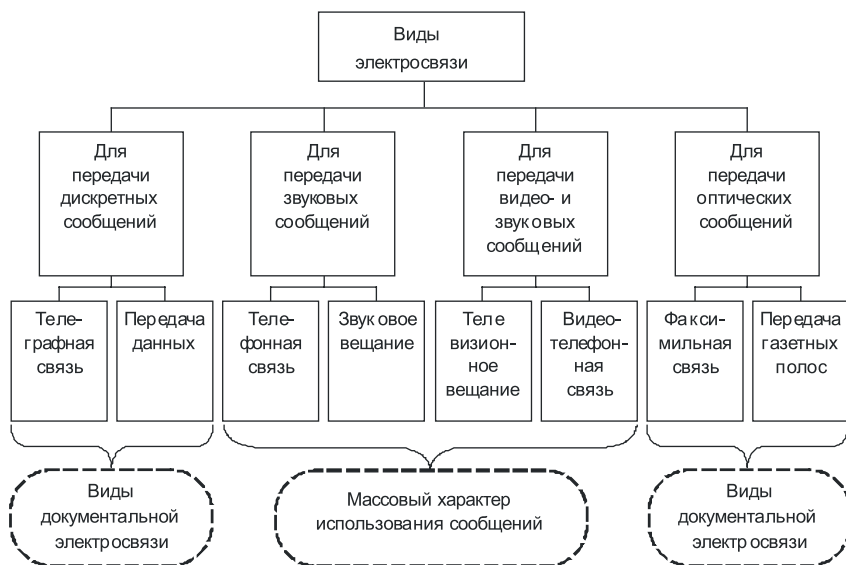


Рис. 1.3. Классификация видов электросвязи

Телеграфная связь и передача данных обеспечивают передачу дискретных сообщений соответственно в виде текстов (телеграмм) и цифровых данных, причем передача данных является более быстрым и качественным видом передачи сообщений.

Факсимильная связь и ее разновидность – передача газетных полос обеспечивают передачу оптических сообщений в виде неподвижных изображений (в том числе и цветных).

Виды электросвязи, обеспечивающей передачу сообщений, записанных на носители, и прием этих сообщений с последующей записью на носителе, называют *документальными*.

Такие виды электросвязи, как телефонная связь и звуковое вещание, предназначены для передачи звуковых сообщений.

Телефонная связь – вид электросвязи, предназначенный для обмена информацией преимущественно путем разговора с использованием телефонных аппаратов [6].

Звуковое вещание – вид электросвязи, предназначенный для передачи программ звукового вещания широкому кругу территориально рассредоточенных слушателей посредством радио- и проводных линий [7].

Таким образом, телефонная связь обеспечивает ведение переговоров между людьми (абонентами), а звуковое вещание – односторон-

ную и высококачественную передачу звуковых сообщений (радиопрограмм), предназначенных одновременно для многих слушателей.

Телевизионное вещание и видеотелефонная связь осуществляют одновременную передачу оптических и звуковых сообщений. Телевидение при этом обеспечивает одновременную передачу сообщений для широких масс населения, а видеотелефонная связь – двустороннюю передачу индивидуальных сообщений, позволяя вести переговоры, при которых собеседники видят друг друга. Правда, видеотелефонная связь не получила широкого распространения из-за относительно высокой стоимости передачи сообщений.

Рассмотренные основные виды электросвязи охватывают далеко не все области ее использования в современной жизни. Некоторые дополнительные сферы специального применения электросвязи будут рассмотрены далее.

Для реализации задач, стоящих перед связью, необходима определенная система. Понятие «система», как и «информация», имеет много определений. Система – множество закономерно связанных друг с другом элементов, представляющее собой определенное целостное образование, единство [12]. Применительно к связи можно рассматривать понятие системы связи как совокупность сетей связи с единым управлением и обеспечением.

Сеть связи – часть системы связи, представляющая собой совокупность узлов и линий передачи, выделенная по определенному признаку (виду, роду связи, структурной и функциональной автономности и др.) и предназначенная для обмена информацией между абонентами (пользователями) связи.

Узел связи – это организационно-техническое объединение сил и средств связи, развернутых на пунктах управления, в объекте (сооружении) или заданном районе для обеспечения связи.

Линия передачи – совокупность физических цепей и (или) линейных трактов, систем передачи, имеющих общие линейные сооружения, устройства их обслуживания и одну и ту же среду распространения сигналов электросвязи в пределах действия устройств обслуживания [3].

Для строительства или развертывания линий передачи применяются, как правило, однородные средства связи. Линии передачи могут быть стационарными и полевыми. По роду связи они подразделяются на радио- и проводные (кабельные), по предназначению в системе связи – на линии осей, рокад связи, линии прямой связи, линии привязки, по принадлежности к первичной сети – магистральные, внутризоновые, местные. Кроме того, на узлах связи развертываются (прокладываются)

соединительные, абонентские линии передачи, линии дистанционного управления и телесигнализации.

Род связи – классификационная группа, выделенная по среде распространения или по применяемым средствам связи [3].

Соединительная линия передачи – линия передачи, соединяющая между собой сетевую станцию и сетевой узел или две сетевые станции. Внутриузловая соединительная линия соединяет между собой элементы узла или сетевой станции.

Абонентская линия передачи – линия передачи, соединяющая между собой сетевую станцию или сетевой узел и конечное устройство первичной сети.

Проводная линия передачи – линия передачи, в которой сигналы электросвязи распространяются в пространстве вдоль непрерывной направляющей среды. Различают воздушные, кабельные, волоконно-оптические линии передачи.

Радиолиния передачи – линия передачи, в которой сигналы электросвязи передаются посредством направленного излучения и приема в открытом пространстве. Различают радиорелейные, тропосферные и спутниковые линии передачи.

Радиорелейная линия передачи – группа приемопередающих станций, расположенных на местности на расстоянии прямой геометрической видимости их антенных систем, через которые последовательно проходят сигналы, несущие передаваемую потребителями (абонентами) информацию.

Функционально в системе связи могут быть выделены подсистемы связи – это части системы связи, выделенные по определенному признаку, которые обладают определенной самостоятельностью и допускают при необходимости декомпозицию на составляющие их элементы [12].

Например, для эффективного управления и всестороннего обеспечения функционирования системы связи при любых условиях создаются подсистемы управления и обеспечения функционирования как организационно-технические объединения органов и объектов управления, сетей связи управления. Названием «подсистема» подчеркивается, что она должна обладать свойствами системы (в частности свойством целостности). Этим подсистема отличается от простой группы элементов, для которой не сформулирована подцель и не выполняется свойство целостности. Для такой группы используется название «компонент», например стационарный компонент подсистемы.

Элемент – простейшая неделимая часть системы связи, обладающая определенной самостоятельностью в действиях по отношению ко всей системе (например, узел или линия связи) [12].

1.1.1. Телефонные (речевые) сигналы

Для понимания сущности физических параметров речевых, а затем и телефонных сигналов рассмотрим процесс речеобразования.

В образовании звуков речи принимают участие легкие, гортань с голосовыми связками, образующими голосовую щель, область носоглотки, язык, зубы и губы. В процессе произнесения речи человек вдыхает воздух и наполняет им легкие, которые через бронхи продувают воздух в гортань и далее через вибрирующие голосовые связки – в полость рта и носа.

Голосовые связки, то сжимая, то открывая голосовую щель, пропускают воздух импульсами, частота следования которых называется основным тоном. Частота основного тона лежит в пределах от 50–80 Гц (очень низкий голос – бас) до 200–250 Гц (женские и детские голоса).

Импульсы воздуха встречают на своем пути систему резонаторов, образуемых объемами полости рта и носоглотки, положением языка, зубов и губ и изменяющихся в процессе произнесения различных звуков. Проходя через эту систему резонаторов, одни гармонические составляющие импульсной последовательности основного тона получают усиление, а другие – ослабление. Картина спектра полученного звука (гласного) принимает вид, изображенный на рис. 1.4.

Отметим, что частота основного тона меняется в значительных пределах при переходе от гласных звуков к согласным и наоборот.

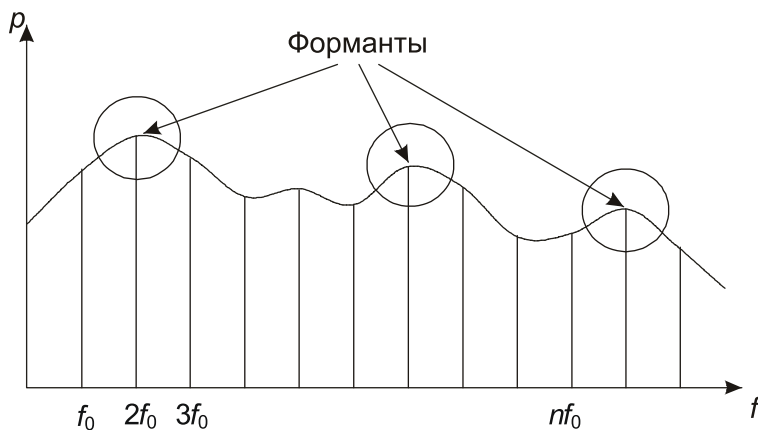


Рис. 1.4. Спектр формирования звука
 p – уровни спектральных составляющих; f_0 – частота основного тона;
1, 2, 3... n – гармоники основного тона

На рис. 1.4 ясно видны усиленные области частот, характерные для спектра конкретного звука. Эти усиленные области частот называются формантными областями или просто формантами. Звуки речи отличаются друг от друга числом формант и их расположением в частотной области. Поскольку форманты значительно мощнее других составляющих, то они главным образом и воздействуют на ухо слушающего, формируя звучание того или иного звука.

Разборчивость передаваемой речи зависит от того, какая часть формант доходит до уха слушающего без искажений и какая исказилась или по тем или иным причинам не была услышана. Представленный на рис. 1.4 вид спектра соответствует произнесению гласных звуков, обладающих заметной периодичностью. Многие согласные звуки непериодичны и их частотные спектры являются либо полностью сплошными, либо содержат в своем составе участки сплошного спектра (штриховая линия).

В отдельных звуках замечено максимально до шести усиленных частотных областей. Некоторые из них никакого значения для распознавания звуков не имеют, хотя и несут в себе довольно значительную энергию. Спектральные исследования отдельных звуков русского языка отмечают наличие максимально четырех формант с условными максимумами на частотах 500 Гц (первая форманта), 1 500 Гц (вторая форманта), 3 500 Гц (третья форманта). Важными являются первые одна-две форманты (на оси частот), исключение из передачи любой из них вызывает искажение передаваемого звука, превращая его в другой звук, либо вообще потерю им признаков человеческой речи. Первые три форманты звуков речи лежат в полосе частот от 300 до 3 400 Гц, что и позволяет считать эту полосу частот вполне достаточной для обеспечения хорошей разборчивости передаваемой речи, сохранения естественности звучания и тембра голоса, узнаваемости говорящего.

Следовательно, эффективно передаваемая полоса частот телефонного сигнала $F_c^T = 0,3\text{--}3,4$ кГц.

Исследования по определению минимальной, максимальной и средней мощностей телефонного сигнала с учетом характеристик микрофонов телефонных аппаратов, типов и характеристик абонентских и соединительных линий телефонных сетей, особенностей говорящих позволяют сделать следующие выводы:

1. При средней активности источника телефонного сигнала $\eta^T = 0,25\text{...}0,35$ минимальная мощность телефонного сигнала в точке нулевого относительного уровня $W_{\min}^T = 0,1$ мВтО.

2. Средняя мощность телефонного сигнала в этой же точке на интервалах активности источника $W_{cp}^T = 88$ мВтО.

3. Максимальная мощность телефонного сигнала с вероятностью превышения $\varepsilon = 10^{-5}$ в точке нулевого относительного уровня $W_{\max}^T = 2220$ мкВтО.

Конкретное качество микрофона, телефона, абонентских и соединительных линий, а также интенсивность речи говорящего определяют динамический диапазон мощности речевого сигнала.

Согласно формулам (1.2) и (1.3) динамический диапазон и пик-фактор составляют $D^T = 43$ дБ (в практических расчетах принимают $D^T \approx 40$ дБ) и $Q^T = 14$ дБ соответственно.

Для оценки количества информации, содержащейся в телефонном сигнале, воспользуемся формулой (1.7), подставив в нее следующие значения $\eta = 0,33$, $\Delta F_c^T = 3\,400 - 300 = 3\,100$ Гц, $W_{cp}^T = 88$ мкВтО и мощность помехи $W_n = 0,1$ мкВтО, в результате получим $I^T = 10\,000$ бит/с.

1.1.2. Сигналы звукового и телевизионного вещания

Система телевизионного вещания предусматривает передачу сигналов телевизионного вещания и звукового сопровождения.

Сигналы звукового вещания и звукового сопровождения телевидения. По своему характеру сигналы звукового вещания и звукового сопровождения телевидения схожи с телефонными. Источниками первичных сигналов звукового вещания и звукового сопровождения телевидения являются высококачественные микрофоны. Эти сигналы представляют собой чередование сигналов различного вида: речи (особо следует выделить речь дикторов); художественного чтения (сочетания речи и музыки), вокальных и инструментальных музыкальных произведений – от сольного исполнения до симфонических оркестров.

Частотный спектр сигналов вещания и звукового сопровождения занимает полосу частот от 15 до 20 000 Гц. Однако в зависимости от требований к качеству воспроизведения эффективно передаваемая полоса частот ΔF_c^{3B} , отводимая для передачи сигналов вещания и звукового сопровождения телевидения, может иметь три градации: 30–15 000 Гц – высший класс; 50–10 000 Гц – первый класс; 100–6 000 Гц – второй класс.

Значение средней мощности сигнала вещания W_{cp}^{3B} существенно зависит от интервала усреднения. В точке с нулевым относительным уровнем мощность сигнала составляет 923 мкВтО при усреднении за час, 2 230 мкВтО – за минуту и 4 500 мкВтО – за секунду. Максимальная мощность сигнала звукового вещания $W_{\max}^{3B}$ в этой же точке составляет 8 000 мкВтО.

Динамический диапазон сигнала вещания D^{3B} весьма широк, так как должны быть переданы сигналы минимальной (например, шорох листьев в тихую летнюю ночь) и максимальной (например, рев моторов взлетающего лайнера) мощности, и достигает 100–110 дБ. Динамический диапазон речи диктора равен 25–35 дБ, художественного чтения – 40–50 дБ, небольших вокальных и инструментальных ансамблей – 45–55 дБ, симфонического оркестра – 60–65 дБ.

При определении динамического диапазона сигнала вещания максимальным считается такой уровень его мощности, вероятность превышения которого составляет 2 %, а минимальным – 98 %.

Для качественной передачи сигналов звукового вещания и их восприятия обходятся динамическим диапазоном $D^{3B} = 65$ дБ.

Потенциальная информационная емкость сигнала звукового вещания при реальных значениях помех в зависимости от ширины ЭППЧ лежит в пределах 140–200 кбит/с.

Динамический диапазон сигналов радиовещания также значительно шире, чем у телефонного сигнала. Для речевых сообщений динамический диапазон составляет 35–50 дБ, а для музыкальных передач – 55–65 дБ.

Телевизионные сигналы. Первичный телевизионный сигнал представляет собой подвижное изображение, или видеосигнал.

Подвижное изображение передается в виде мгновенных фотографий – кадров, сменяющих друг друга. Причем для создания эффекта плавного движения передается $Z_k = 25$ кадров в секунду. Каждый кадр состоит из строк, число которых определяется установленными стандартами. В широко распространенном стандарте кадр содержит 625 строк (Z_c). Чтобы смена кадров на экране приемной телевизионной трубки (кинескопа) была незаметной (без мерцаний), число изображений должно составлять не менее 50 кадров в секунду. Все это требует увеличения скорости развертки, что усложняет оборудование формирования и передачи телевизионных сигналов. Для устранения возможного мерцания каждый кадр передается в два этапа: сначала только нечетные строки, а затем – четные. В результате на экране кинескопа создается кадр из двух изображений, называемых полями или полукадрами. Общее число последних в секунду как раз и составляет 50, вследствие чего смена изображений становится незаметной и формируется немерцающее изображение. Вследствие инерционности человеческого зрения передача 50 полукадров в секунду воспринимается как слитное движущееся изображение.

Ширина спектра первичного телевизионного сигнала может быть определена следующим образом. Максимальная частота спектра соот-

ветствует передаче чередующихся черных и белых квадратных элементов изображения. Вертикальный размер элементов определяется размером строки. Учитывая, что ширина кадра относится к его высоте как 4/3 (это определяется особенностью человеческого зрения), нетрудно определить число элементов M , содержащихся в одной строке:

$$M = \frac{4}{3} Z_c^2. \quad (1.8)$$

Поскольку в секунду передается 25 кадров (50 полукадров, состоящих поочередно из четных и нечетных строк изображения), общее число элементов, передаваемых за секунду, равно $25 \cdot M$. Следовательно, время передачи одного элемента:

$$\tau = \frac{1}{25 \cdot M} = \frac{3}{4 \cdot 625^2 \cdot 25} = 0,083 \text{ мкс.}$$

Максимальная частота спектра телевизионного сигнала, исходя из того, что элементы передаются полукадрами, составляет

$$F_{\max} = \frac{1}{2\tau} = \frac{1}{2 \cdot 0,083 \cdot 10^{-6}} \approx 6,024096 \text{ МГц.}$$

Таким образом, полагая нижнюю граничную частоту равной 50 Гц (частота смены полукадров), можно определить спектр телевизионного сигнала – 50 Гц–6 МГц с учетом передачи сигналов звукового сопровождения.

Энергетический спектр телевизионного сигнала имеет дискретный характер, максимумы энергии которого сосредоточены вблизи гармоник частоты строк $n \cdot F_c$ ($n = 1, 2, 3 \dots$). Однако практически вся энергия сигналов яркости сосредоточена в диапазоне 0–1,5 МГц. Эта особенность видеосигнала используется при установлении видеотелефонной связи, организуемой в полосе частот от 50 Гц до 1,2–1,5 МГц.

Защищенность сигналов яркости от помех должна быть не менее 48 дБ. Число градаций яркости телевизионного сигнала $k \approx 100$, динамический диапазон видеосигнала $D_{\text{ТВ}} = 40$ дБ. Пик-фактор телевизионного сигнала не превышает 4,8 дБ, а потенциальный информационный объем

$$I_{\text{ТВ}} = 6,64 \cdot 6 \cdot 10^6 \lg 100 \approx 80 \text{ Мбит / с.}$$

Все рассмотренное выше справедливо для сигналов черно-белого телевидения. Сигналы цветного телевидения имеют некоторые особенности.

1.1.3. Сигналы документальной связи: факсимильные, телеграфные и передачи данных

Факсимильные сигналы. Факсимильный сигнал по своей природе схож с телевизионным сигналом. Он обеспечивает передачу неподвижных изображений: фотографий, чертежей, текстов (в том числе и рукописных), газетных полос и др. Первичный факсимильный сигнал получается в результате преобразования светового потока, отраженного элементарными площадками изображения, в электрические сигналы. Эти площадки образуются фокусированием небольшого светового пятна, которое перемещается по поверхности изображения. В приемнике принятый электрический сигнал возбуждает какое-либо физическое воздействие, окрашивающее элементарные площадки носителя записи, в результате чего возникает копия передаваемого изображения.

Частотный спектр первичного факсимильного сигнала определяется скоростью развертки (вращения барабана) и размером анализирующего светового пятна. Максимальная частота факсимильного сигнала рассчитывается при чередовании черных и белых полей изображения, ширина которых равна диаметру светового пятна. В этом случае частота сигнала

$$f_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{120 \cdot d} \text{ Гц}, \quad (1.9)$$

где D – диаметр барабана, мм; N – число оборотов барабана в минуту, об/мин; d – диаметр светового анализирующего пятна, мм.

Международным союзом электросвязи (МСЭ) рекомендованы следующие параметры факсимильных аппаратов: $N = 120, 90$ и 60 об/мин; диаметр барабана $D = 70$ мм и диаметр светового пятна $d = 0,15$ мм. Соответственно из выражения (1.9) получаем $f_{\phi}^{120} = 1465$ Гц, $f_{\phi}^{90} = 1100$ Гц и $f_{\phi}^{60} = 732$ Гц. При передаче газетных полос частота сигнала достигает $180\text{--}250$ кГц.

При передаче реальных изображений формируется первичный сигнал сложной формы, энергетический спектр которого содержит частоты от 0 до f_{ϕ} . В зависимости от характера изображений они подразделяются на штриховые, содержащие две градации яркости, и полутоновые, число градаций которых определяется требованиями к качеству передачи факсимильного сообщения.

Динамический диапазон сигнала, соответствующего передаче полутоновых изображений, $D_{\phi} \cong 25$ дБ.

Пик-фактор факсимильного сигнала Q_{ϕ} определяется из соотношения

$$Q_{\phi} = 20 \lg(U_{\max}^{\phi} / U_{\text{cp}}^{\phi}), \quad (1.10)$$

где $U_{\max}^{\Phi}$ и $U_{\text{ср}}^{\Phi}$ – максимальное и среднеквадратическое значения напряжения факсимильного сигнала соответственно. Пик-фактор факсимильного сигнала определяется следующим образом. Предположим, что все градации яркости полутонового изображения равновероятны, т. е. вероятность появления j -й градации $p_j = 1/k$, где k – количество градаций яркости, обеспечивающих заданное качество передачи. Перенумеруем в порядке возрастания уровня сигнала, соответствующие различным градациям яркости, таким образом, что напряжение j -го уровня будет составлять

$$U_j = \frac{U_{\max}^{\Phi} \cdot j}{k}, \quad (1.11)$$

а среднеквадратическое значение сигнала может определяться как

$$U_{\text{ср.ф}}^2 = \sum_1^k U_j^2 p_j = \frac{U_{\max}^2}{k^3} \sum_1^k j^2. \quad (1.12)$$

Практика показала, что

$$\sum_1^k j^2 = \frac{k(k+1)(2k+1)}{6},$$

и поэтому

$$U_{\text{ср}}^{\Phi} = \frac{U_{\max}^{\Phi}}{k} \sqrt{\frac{(k+1)(2k+1)}{6}}.$$

Следовательно,

$$Q_{\Phi} = 7,78 + 20 \lg k - 10 \lg[(k+1)(2k+1)]. \quad (1.13)$$

При $k = 16$ пик-фактор факсимильного сигнала $Q_{\Phi} \cong 4,4$ дБ. Заметим, что увеличение числа градаций яркости мало влияет на рост пик-фактора. Несложно показать, что при $k \rightarrow \infty$ пик-фактор составляет $Q_{\max}^{\Phi} = 4,8$ дБ.

Динамический диапазон факсимильных сигналов, согласно вышеприведенным рассуждениям, будет равен

$$D_{\Phi} = 20 \lg(k+1). \quad (1.14)$$

Необходимая защищенность полутоновых, как и штриховых, сигналов составляет $A_3^{\Phi} = 35$ дБ. При этом потенциальная информационная емкость факсимильных сигналов составляет

$$I_{\Phi} = 6,64 f_{\Phi} \lg k, \quad (1.15)$$

где число градаций для штриховых изображений $k = 2$.

Одним из важнейших видов факсимильной связи является передача газет в пункты их печатания. Для этого используются специальные высокоскоростные факсимильные аппараты, обеспечивающие высокое качество копий за счет существенного увеличения четкости (уменьшения диаметра анализирующего пятна до 0,04–0,06 мм). Для типовой аппаратуры передачи газетных полос наивысшая частота сигнала достигает 180 кГц, а время передачи газетной полосы – 2,3–2,5 мин. Изображение газетной полосы является штриховым, т. е. $k = 2$. Информационная емкость такого сигнала, согласно формуле (1.15), равна 360 кбит/с.

Сигналы передачи данных и телеграфии. Все рассмотренные до сих пор сигналы являются непрерывными. Сообщения и сигналы в телеграфии и передаче данных относятся к дискретным.

Исторически идея телеграфной связи принадлежит американскому художнику Сэмюэлю Финли Бриза Морзе, который в 1837 г. разработал систему электросвязи по одному проводу и дал ей название «телеграф». Годом позже он дополнил ее знаменитой азбукой Морзе, т. е. механизмом кодирования сообщения – обязательным элементом современной документальной связи. 24 мая 1844 г. между Балтимором и Вашингтоном состоялся первый публичный сеанс телеграфной связи. Уже через 14 лет был проложен первый трансатлантический кабель, просуществовавший лишь 26 дней.

В 1874 г. французский инженер Жан Морис Эмиль Бодо изобрел телеграфный мультиплексор, позволяющий по одному проводу организовать до шести телеграфных каналов. Значимость этого изобретения и авторитет Бодо были столь велики, что, когда другой французский инженер Томас Мюррэй разработал первый в истории символьный телеграфный код с фиксированным размером символа (5 бит на символ), он назвал его кодом Бодо, который с незначительными изменениями применяется и сегодня. Рассмотрим, как он формируется.

Устройства преобразования телеграфных сообщений и данных в электрический сигнал представляют каждый знак сообщения (букву, цифру) в виде определенной комбинации импульсов и пауз одинаковой длительности. Импульс соответствует наличию тока на выходе устройства преобразования (например телеграфного аппарата), пауза – его отсутствию.

Таким образом, первичные сигналы телеграфии и передачи данных получают на выходе телеграфных аппаратов или аппаратуры передачи данных и представляют собой последовательность однополярных (рис. 1.5, а) или двухполярных (рис. 1.5, б) прямоугольных импульсов постоянной амплитуды и длительности.

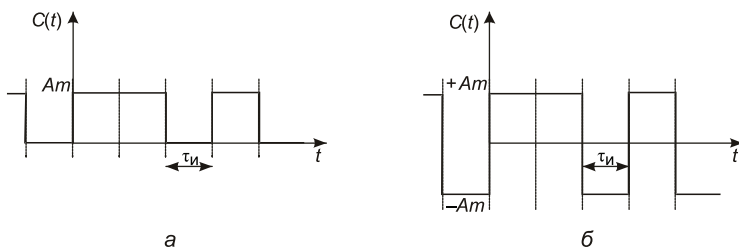


Рис. 1.5. Сигналы передачи данных и телеграфии:
 $C(t)$ – первичный сигнал передачи данных и телеграфии;
 Am – амплитуда импульсов; τ_n – длительность импульсов

При этом положительный импульс обычно соответствует передаваемому символу «1», а пропуск или отрицательный импульс – символу «0». Такие сигналы принято называть двоичными.

Заметим, что чем меньше длительность импульсов, отображающих сообщения, тем больше их будет передано в единицу времени. Величина, обратная длительности импульса, называется скоростью телеграфирования (передачи данных) $V_t = 1/\tau_n$ и измеряется в бодах (анг. – [Bd], рус. – [Бод]). В телеграфии используются импульсы длительностью 0,02 с, что соответствует стандартной скорости телеграфирования – 50 Бод. Применяются и другие скорости, например 75 Бод. Скорости передачи данных значительно выше. Так, существует аппаратура передачи данных со скоростями 200, 600, 1 200 Бод и более.

Вероятность появления «1» и «0» для однополярной последовательности импульсов (иногда называемой *обобщенным телеграфным сигналом*) и импульсов положительной или отрицательной полярности, а также статистические связи между импульсами определяются свойствами источника сообщения. Чаще эти вероятности равны 0,5 и импульсы последовательности принимаются статистически независимыми. Следовательно, при передаче двоичных сигналов нет необходимости восстанавливать в приемнике импульсы без искажений, т. е. сохранять их форму. Для восстановления информации достаточно зафиксировать только знак импульса при двухполярном сигнале либо наличие или отсутствие импульса при однополярном сигнале.

Расчеты показывают, что импульсы можно уверенно зафиксировать, если для их передачи используется ширина полосы частот, численно равная скорости передачи в бодах. Так, для стандартной скорости 50 Бод ширина спектра телеграфного сигнала составит 50 Гц, для скорости 2 400 Бод (среднескоростная система передачи данных) – 2 400 Гц.

Информационная емкость сигналов передачи данных и телеграфии равна скорости передачи, т. е. $I_{\text{тлг}} = B_{\text{т}}$.

Такая характеристика, как динамический диапазон, для сигналов передачи данных и телеграфии, как и для всех двоичных сигналов, не применяется.



1.2. Модуляция

Сформированное абонентом сообщение, предназначенное для передачи корреспонденту, преобразуется специальными устройствами (микрофоном, телеграфным аппаратом) в первичный электрический сигнал. Поскольку ослабление и скорость распространения сигнала зависят от частоты, то для передачи первичного электрического сигнала необходимо перенести его в более высокую область частот. Этот перенос осуществляется за счет изменения одного из параметров переносчика или несущей частоты. Данный процесс получил название «модуляция». В пункте приема осуществляется обратное преобразование – демодуляция.

Модуляция – процесс, в результате которого происходит изменение параметра или параметров сигнала-переносчика (несущей частоты) пропорционально другому сигналу (сигналу сообщения).

Методы модуляции различаются шириной занимаемого спектра, помехоустойчивостью и спектральной эффективностью. Различают аналоговые и цифровые методы модуляции.

1.2.1. Аналоговые методы модуляции

Аналоговая модуляция – способ модуляции, при котором параметры модулируемого колебания (амплитуда, частота, фаза) изменяются пропорционально амплитуде входного модулирующего сигнала. При аналоговых методах модуляции в качестве переносчика (несущей) используют гармоническое колебание высокой частоты – несущее колебание. Запишем его в виде

$$\Psi(t) = U_{\omega} \cos(\omega t + \phi_{\omega}) = U_{\omega} \cos(2\pi f t + \phi_{\omega}), \quad (1.16)$$

где U_{ω} – амплитуда несущего колебания, f – частота несущего колебания, ω – круговая частота, ϕ_{ω} – начальная фаза несущего колеба-

ния. Из (1.16) видно, что несущее колебание характеризуется тремя параметрами: амплитудой U_ω , частотой ω и начальной фазой ϕ_ω .

Изменение одного из этих параметров несущего колебания $\Psi(t)$ под воздействием первичного сигнала $C(t)$ называется амплитудной, частотной или фазовой модуляцией.

1.2.1.1. Амплитудная модуляция

Амплитудная модуляция – процесс преобразования первичного сигнала, который заключается в изменении амплитуды несущего колебания U_ω по закону первичного сигнала при постоянных его частоте и фазе (рис. 1.6).

Заметим, что в этом случае изменение полярности (знака) первичного сигнала приводит к изменению фазы несущей модулированного сигнала на π радиан.

Первичный сигнал представляет собой сложное колебание, спектр частот которого ограничен полосой F_1-F_2 или $\Omega_1-\Omega_2$:

$$C(t) = \sum_{\Omega_i=\Omega_1}^{\Omega_2} U_{\Omega_i} \cos(\Omega_i t + \phi_{\Omega_i}), \quad (1.17)$$

где U_{Ω_i} – амплитуда i -й частотной составляющей первичного сигнала; Ω_i – i -я частотная составляющая первичного сигнала; ϕ_{Ω_i} – начальная фаза i -й частотной составляющей первичного сигнала. Для упрощения выводов формул и соотношений положим, что модулирующий сигнал $C(t)$ представляет собой одночастотное гармоническое колебание вида

$$C(t) = U_\Omega \cos(\Omega t + \phi_\Omega). \quad (1.18)$$

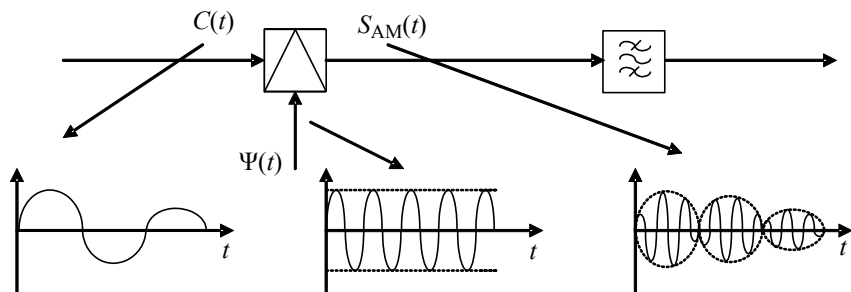


Рис. 1.6. Формирование амплитудно-модулированных сигналов

При таком допущении возможно выполнить анализ, а затем распространить выводы на случай сложного модулирующего колебания – первичного сигнала.

Анализ амплитудно-модулированных сигналов. При модуляции амплитуды несущего колебания (1.16) гармоническим сигналом (1.18) амплитудно-модулированное (АМ) колебание имеет вид

$$\begin{aligned} S_{AM}(t) &= [U_{\omega} + U_{\Omega} \cos(\Omega t + \phi_{\omega})] \cos(\omega t + \phi_{\omega}) = \\ &= U_{\omega} \left[1 + \frac{U_{\Omega}}{U_{\omega}} \cos(\Omega t + \phi_{\Omega}) \right] \cos(\omega t + \phi_{\omega}). \end{aligned} \quad (1.19)$$

Величину $\frac{U_{\Omega}}{U_{\omega}}$ называют коэффициентом глубины модуляции $m = \frac{U_{\Omega}}{U_{\omega}}$, и с учетом этого выражение (1.19) для АМ-сигнала будет иметь вид:

$$S(t) = U_{\omega} [1 + m \cos(\Omega t + \phi_{\Omega})] \cos(\omega t + \phi_{\omega}). \quad (1.20)$$

Отметим, что при линейной амплитудной модуляции $m \leq 1$, при $m = 0$ модуляции нет и $S(t) = \Psi(t)$, т. е. получаем немодулированное несущее колебание $\Psi(t)$.

Выражение (1.20) путем тригонометрических преобразований приведем к виду

$$\begin{aligned} S_{AM}(t) &= U_{\omega} \cos(\omega t + \phi_{\omega}) + \frac{m}{2} U_{\omega} \cos[(\omega - \Omega)t + \\ &+ (\phi_{\omega} - \phi_{\Omega})] + \frac{m}{2} U_{\omega} \cos[(\omega + \Omega)t + (\phi_{\omega} + \phi_{\Omega})]. \end{aligned} \quad (1.21)$$

Анализ последнего выражения показывает, что спектр АМ-сигнала содержит несущее колебание с амплитудой U_{ω} и колебания двух боковых частот, симметричных относительно несущей ω и с одинаковыми амплитудами $U_o = \frac{m}{2} U_{\omega}$. Спектр первичного сигнала и АМ-сигнала при модуляции гармоническим колебанием показан на рис. 1.7, а.

Спектральные составляющие, расположенные выше частоты ω_0 , образуют верхнюю боковую полосу частот, а спектральные составляющие, расположенные ниже частоты ω_0 , – нижнюю боковую полосу. Если первичный сигнал представляет собой сложный сигнал, спектр которого ограничен полосой частот $\Omega_1 \dots \Omega_2$, то АМ-сигнал будет иметь вид:

$$S(t) = U_{\omega} \left[1 + \sum_{\Omega_j = \Omega_1}^{\Omega_2} m_{\Omega_j} \cos(\Omega_j t + \phi_{\Omega_j}) \right] \cos(\omega t + \phi_{\omega}) \quad (1.22)$$

или

$$S(t) = U_{\omega} \cos(\omega t + \phi_{\omega}) + \frac{1}{2} U_{\omega} \sum_{\Omega_j = \Omega_1}^{\Omega_2} m_{\Omega_i} \cos[(\omega - \Omega) t + (\phi_{\omega} - \phi_{\Omega_i})] + \frac{1}{2} U_{\omega} \sum_{\Omega_j = \Omega_1}^{\Omega_2} m_{\Omega_i} \cos[(\omega + \Omega_i) t + (\phi_{\omega} + \phi_{\Omega_i})], \quad (1.23)$$

где m_{Ω_i} – глубина амплитудной модуляции по i -й составляющей модулирующего сигнала с амплитудой U_{Ω_i} . При линейной АМ $\sum m_{\Omega_i} \leq 1$; $\frac{1}{2} m_{\Omega_i} U_{\omega} = U_{6i}$ – амплитуда напряжения боковой частоты (верхней боковой соответствует знак «+», нижней боковой – знак «-»). Выражения, стоящие в квадратных скобках в формулах (1.22) и (1.23), при линейной модуляции всегда положительны (так как $1 \geq m \geq 0$) и при $\omega \geq \Omega$ представляют собой огибающую модулированного колебания.

Из последнего выражения следует, что спектр АМ-сигнала содержит несущую и две боковые полосы частот (нижнюю и верхнюю), симметричные относительно несущей частоты ω_0 . Полная ширина спектра канального сигнала при АМ равна удвоенной наивысшей частоте спектра первичного сигнала $\Delta f = 2F_2$ (из рисунка 1.7, б видно, что $\Delta\omega = \omega + \Omega_2 - \omega + \Omega_2 = 2\Omega_2 = 2\pi\Delta f = 4\pi F_2$ откуда следует, что $\Delta f = 2F_2$).

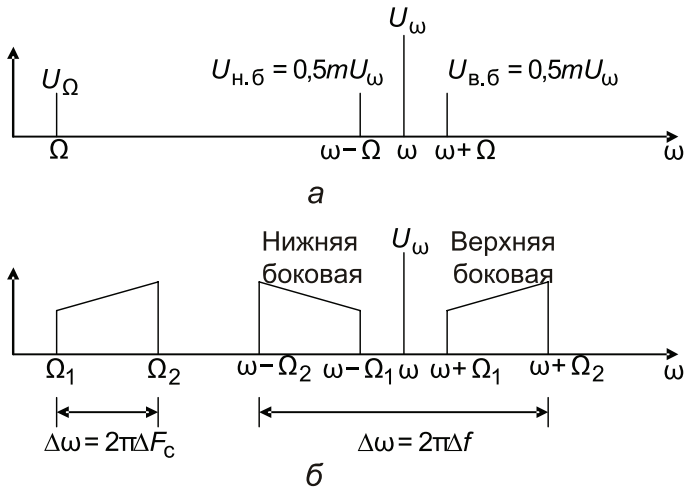


Рис. 1.7. Спектр первичного сигнала и АМ-канального сигнала:
а – при модуляции гармоническим колебанием; б – сложным сигналом

Мощность АМ-сигнала W_{AM} равна сумме мощностей несущего колебания W_{ω} , нижней боковой полосы частот $W_{\omega-\Omega}$ и верхней боковой полосы частот $W_{\omega+\Omega}$. Мощности боковых равны между собой, т. е. $W_{\omega-\Omega} = W_{\omega+\Omega} = W_6$. Следовательно,

$$W_{AM} = W_{\omega} + W_{\omega-\Omega} + W_{\omega+\Omega} = W_{\omega} + 2W_6. \quad (1.24)$$

Из формулы (1.24) следует, что мощность боковых полос на сопротивлении условной нагрузки R равна $W_6 = \frac{U_{\omega}^2}{2R}$. Отношение мощности боковой к мощности несущего колебания составляет

$$\frac{W_6}{W_{\omega}} = \frac{U_{\omega}^2}{8R} m^2 / \frac{U_{\omega}^2}{2R} = \frac{1}{4} m^2. \quad (1.25)$$

Из выражения (1.25) очевидно, что при $m \leq 1$ $W_6 = 0,25m^2W_{\omega} \leq 0,25W_{\omega}$ и, следовательно,

$$W_{AM} = W_{\omega}(1 + 0,5m^2) \leq 1,5W_{\omega}. \quad (1.26)$$

Из соотношений (1.24) и (1.25) следует, что мощность несущего колебания при амплитудной модуляции остается неизменной, а мощность АМ-сигнала возрастает на величину $2W_6$, зависящую от коэффициента глубины модуляции m . Мощность АМ-сигнала при этом может увеличиться не более чем в 1,5 раза.

Достоинства амплитудной модуляции: простота технической реализации, относительно неширокая полоса частот АМ-сигнала и возможность ее уменьшения, простота демодуляции АМ-сигнала. Основными недостатками АМ являются: низкая помехоустойчивость; основная мощность АМ-сигнала сосредоточена в несущем колебании, которое не содержит полезной информации, что приводит к неопределенной нагрузке элементов тракта передачи (в основном усилительных устройств).

Демодуляция АМ-сигнала осуществляется путем его перемножения на опорный сигнал несущей и последующего выделения огибающей АМ-сигнала низкочастотным фильтром (рис.1.8).

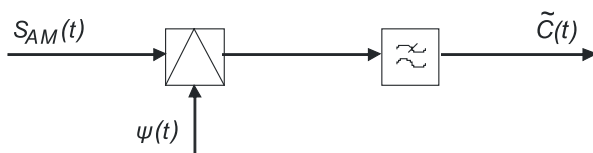


Рис. 1.8. Демодуляция АМ-сигналов

Из формул (1.21) и (1.26) видно, что исходный – первичный – сигнал содержится только в боковых полосах частот и поэтому для восстановления первичного сигнала из АМ-сигнала на приеме необязательно передавать по каналу весь спектр АМ-сигнала. В связи с этим могут применяться различные методы передачи АМ-сигналов:

– **передача двух боковых полос и несущей частоты.** В этом случае полоса частот, отводимая для одного канального сигнала,

$$\Delta f = 2F_2, \quad (1.27)$$

где F_2 – максимальная частота первичного сигнала;

– **передача двух боковых полос частот без несущей.** В этом случае полоса частот, отводимая для одного канального сигнала, будет

$$\Delta f = 2F_c; \quad (1.28)$$

– **передача одной боковой полосы частот и несущей.** В этом случае полоса частот, отводимая для одного канального сигнала,

$$\Delta f = F_2; \quad (1.29)$$

– **передача одной боковой полосы частот без несущей.** В этом случае полоса частот, отводимая для одного канального сигнала, будет составлять

$$\Delta f = F_c, \quad (1.30)$$

где ΔF_c – максимальная частота первичного сигнала;

– **передача одной боковой полосы частот, несущей и части второй боковой полосы частот.** В этом случае полоса частот, отводимая для одного канального сигнала,

$$\Delta f = F_2 + F_n, \quad (1.31)$$

где F_n – максимальная частота первичного сигнала, передаваемого на второй (частично подавленной) боковой полосе частот. Обычно для этого метода $\Delta f = 1,2F_2$.

Все перечисленные методы обеспечивают принципиальную возможность формирования канальных сигналов в системах передачи с ЧРК, линейного разделения канальных сигналов и восстановления первичных сигналов на приеме. Однако практическая реализация этих методов требует различных технических решений.

Способы передачи амплитудно-модулированных сигналов

Передача двух боковых полос и несущей частоты. Этот способ обеспечивает относительно простое формирование канального сигнала с помощью канального амплитудного модулятора (КАМ) и несложного канального полосового фильтра, простое получение первичного сигнала на приеме путем взаимодействия несущей частоты с нижней и верхней боковыми полосами частот при их поступлении на канальный демодулятор (КД) и выделение его с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ). В этом случае нет необходимости в генераторе несущей частоты на приеме. Структурная схема передачи двух боковых и несущей, а также соответствующие частотные преобразования приведены на рис. 1.9 и 1.10.

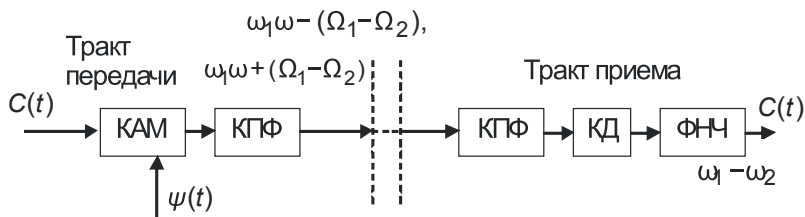


Рис. 1.9. Структурная схема передачи двух боковых полос и несущей

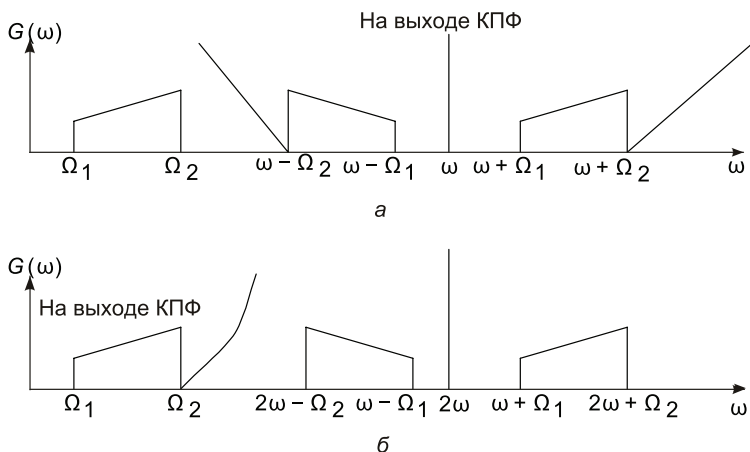


Рис. 1.10. Спектр канального сигнала на передаче:
а – на передаче; б – на приеме

На вход КАМ-тракта передачи поступает первичный сигнал $C(t)$, спектр которого $G_c(\omega)$ занимает полосу частот $\Omega_1 - \Omega_2$ (рис. 1.9). С помощью несущего колебания $\Psi(t)$ частотой ω формируется канальный сигнал $s(t)$ со спектром $G_s(\omega)$, в состав которого входят нижняя боковая полоса частот $\omega - \Omega_2 \dots \omega - \Omega_1$, несущая частота ω и верхняя боковая полоса частот $\omega - \Omega_1 \dots \omega - \Omega_2$. Формирование такого канального сигнала осуществляется при помощи канального полосового фильтра (КПФ).

Передача двух боковых полос без несущей частоты. Этот способ передачи АМ-сигналов в отличие от предыдущего позволяет использовать групповые усилители для усиления многоканального сигнала. Отсутствие несущей частоты позволяет увеличить мощность боковых полос частот и тем самым повысить помехозащищенность АМ-сигналов. Для формирования канальных сигналов при таком способе передачи АМ-сигналов не требуется сложных канальных полосовых фильтров, а подавление несущей частоты возможно путем применения балансных схем канальных модуляторов, иногда в сочетании с заграждающими фильтрами. Структурная схема способа передачи двух боковых без несущей приведена на рис. 1.11, (обозначения аналогичны таковым на рис. 1.9).

При данном способе передачи АМ-сигналов требуется усложнение приемного оборудования, так как для восстановления первичного сигнала необходимо синхронное и синфазное детектирование, в противном случае возникают биения сигналов и вносится дополнительное затухание для полезных сигналов. При несоблюдении этих условий прием сигналов будет невозможен.

Передача одной боковой полосы и несущей. Каждая из боковых полос частот АМ-сигнала содержит информацию о первичном сигнале. Следовательно, появляется возможность уменьшить ширину полосы частот канального сигнала в два раза по сравнению с двумя выше рассмотренными методами, а также в два раза увеличить число каналов в одной и той же полосе частот, что повышает эффективность использования линий связи. Исходный первичный сигнал на приеме будет получен от взаимодействия переданных боковой полосы частот и несущего коле-

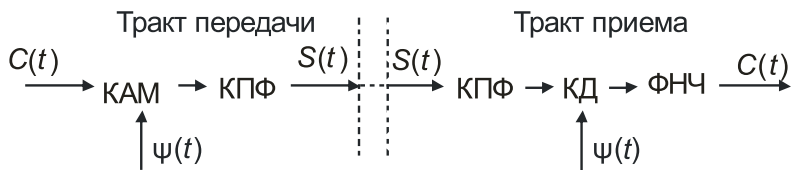


Рис. 1.11. Схема передачи двух боковых без несущей

бания в канальном демодуляторе. Структурная схема передачи одной боковой и несущей аналогична схеме на рис. 1.9. Однако этот метод требует применения сложных канальных полосовых фильтров для подавления неиспользуемой боковой полосы частот. Кроме того, уменьшение соотношения мощностей полезного сигнала и несущей приводит к снижению помехоустойчивости, так как мощность полезного сигнала, равная мощности одной боковой полосы частот, уменьшается в два раза по сравнению с рассмотренной по способу передачи с двумя боковыми.

При передаче сложного сигнала и использовании квадратичного детектора возникают комбинационные составляющие спектра вида $\Omega_k - \Omega_j$, лежащие в пределах полосы частот передаваемого сигнала $\Omega_1 - \Omega_2$, устранить которые путем фильтрации невозможно. Использование усилителей для усиления многоканального группового сигнала при этом методе является еще более сложной задачей из-за дополнительного увеличения соотношения мощностей несущей и боковой полосы частот. Из-за указанных недостатков метод передачи одной боковой и несущей не получил распространения и представляет только исторический интерес.

Передача одной боковой полосы частот. Способ передачи одной боковой полосы (ОБП) дает возможность наиболее экономично использовать возможности линий связи, так как ширина спектра канального сигнала при ОБП минимальна и равна ширине спектра первичного сигнала: $\Delta f = \Delta F_c$. Отсутствие несущего колебания в спектре ОБП дает возможность значительно повысить мощность боковой полосы частот при той же мощности канального сигнала и тем самым обеспечить наибольшую помехоустойчивость метода ОБП по сравнению с другими способами передачи АМ-сигналов. Подавление несущей частоты, мощность которой значительно превышает мощность боковой полосы частот, позволяет применять групповые усилители для одновременного усиления сигналов всех каналов системы передачи.

При использовании способа ОБП в результате модуляции происходит перемещение сигнала по шкале частот при неизменной ширине занимаемой им полосы. Такой способ модуляции называется преобразованием частоты. Демодуляция также приводит к перемещению спектра сигнала по шкале частот, только в обратном направлении. В связи с этим в аппаратуре многоканальных СП с ЧРК, основанной на использовании метода ОБП, модуляторы и демодуляторы называются преобразователями частоты.

Отмеченные выше достоинства способа ОБП определяют его преимущественное применение для формирования канальных сигналов в каналообразующем оборудовании СП с ЧРК. Обобщенная струк-

турная схема передачи с одной боковой полосой частот приведена на рис. 1.12.

На выходе канального полосового фильтра (КПФ) тракта передачи получается сигнал одной (верхней) боковой вида $U_{\omega+\Omega} \cos(\omega + \Omega)t$. Этот же спектр будет наблюдаться и на выходе КПФ-тракта приема. Исходный сигнал в тракте приема будет получен путем взаимодействия в канальном демодуляторе (КД) боковой полосы частот и несущей частоты, подавленной от генератора (Г) тракта приема. На выходе КД появляется сигнал

$$U_{\omega+\Omega} U_{\omega} \cos(\omega + \Omega)t \cos \omega t = \frac{1}{2} U_{\omega+\Omega} U_{\omega} \cos 2\omega t. \quad (1.32)$$

С помощью ФНЧ можно выделить исходный сигнал $U_{\Omega} \cos \Omega t$. Для восстановления первичного сигнала без искажений необходимо, чтобы частоты несущих колебаний тракта передачи и приема совпадали. В противном случае спектр восстановленного сигнала окажется смещенным на величину расхождения несущих частот передачи и приема $\pm \Delta \omega$ и на выходе КД будет иметь вид $U_{\Omega} \cos(\Omega \pm \Delta \omega)t$. Следовательно, расхождение несущих частот (асинхронность) обуславливает смещение спектра восстановленного первичного сигнала на величину $\pm \Delta \omega$. Это явление называется изменением частоты передаваемого сигнала в канале. Оно приводит к ухудшению качества передаваемого сообщения. Так, при передаче речи снижается ее разборчивость, при передаче музыкальных программ изменяется характер звучания музыкальных инструментов, при передаче телеграфных сигналов или сигналов передачи данных увеличиваются ошибки в виде преобладаний в приемнике сигналов. Для каналов тональной частоты допускается сдвиг частоты в канале составляющей не более 2 Гц, что значительно усложняет построение генераторного оборудования СП с ЧРК.

Передача одной боковой полосы, несущей и части второй боковой полосы. Подавление ненужной боковой полосы частот с помо-

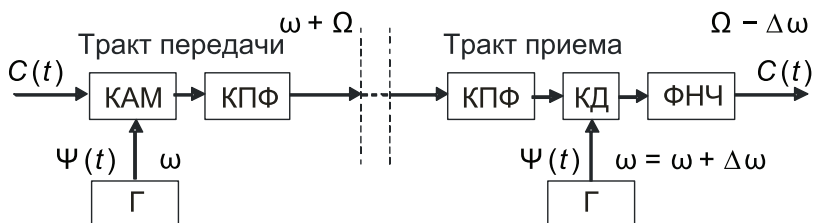


Рис. 1.12. Структурная схема передачи с одной боковой полосой частоты

щью фильтров возможно, если имеется полоса расфилтровки ΔF_0 значительной ширины. Для телефонных сигналов эта полоса равна 600 Гц.

Однако некоторые первичные, например телеграфные, сигналы передачи данных, телевидения и фототелеграфии имеют спектр, занимающий полосу частот от $F_1 = 0$ –50 Гц до F_2 . В результате несущего АМ-колебания первичными сигналами такого типа образуются две боковые полосы частот практически без промежутка между ними и для полного подавления одной из боковых необходим идеальный канальный полосовой фильтр либо передача такого АМ-сигнала в виде одной боковой полосы и части второй боковой полосы, т. е. передача с асимметричными боковыми полосами.

Спектр АМ-колебания с асимметричными боковыми полосами при передаче нижней боковой полосы и части верхней боковой показан на рис. 1.13.

Для формирования спектра АМ-сигнала в этом случае применяется фильтр с кососимметричной характеристикой коэффициента передачи относительно несущей (так называемый фильтр Найквиста). Этот фильтр в переходной области между полосами пропускания и задерживания должен иметь характеристику коэффициента передачи по амплитуде, подобную показанной на рис. 1.14.

Сумма коэффициентов передачи по амплитуде для любой пары боковых частот в переходной области от $(f - F_0)$ до $(f + F_0)$ должна быть равна коэффициенту передачи A_0 в полосе пропускания, т. е. в

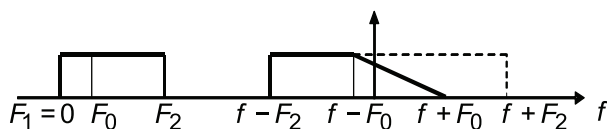


Рис. 1.13. Спектр АМ-колебания при передаче одной боковой полосы, несущей и части второй боковой

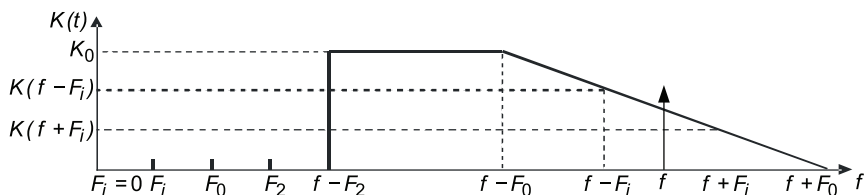


Рис. 1.14. Частотная характеристика коэффициента передачи фильтра, формирующего амплитудно-модулированный сигнал при передаче одной боковой полосы, несущей и части второй боковой полосы

полосе частот от $(f - F_0)$ до $(f + F_0)$, например $K(f - F_i) + K(f + F_i) = K_0$. Кроме того, фазовая характеристика формирующего фильтра в переходной области должна быть линейной и симметричной (кососимметричной) относительно несущей частоты. В этом случае после демодуляции все составляющие спектра исходного первичного сигнала будут восстанавливаться с одинаковыми амплитудами. Спектр частот остатка верхней боковой от f до $(f + F_0)$ сформирован так, что при восстановлении сигнала на приеме остаток верхней боковой дополняет спектр сигнала в полосе частот от 0 до F_0 , доводя значения амплитуд частотных составляющих до значений, при которых отсутствуют амплитудно-частотные искажения (рис. 1.15).

Таким образом, характеристика фильтра устраняет амплитудно-частотные искажения, которые могли бы возникнуть вследствие передачи одних составляющих сигнала только в составе одной боковой полосы (составляющие от F_0 до F_2), а других – в составе двух боковых полос (составляющих от 0 до F_0).

1.2.1.2. Угловая модуляция

Угловая модуляция – метод аналоговой модуляции, при котором угловые параметры модулированного сигнала (частота и фаза) изменяются пропорционально амплитуде входного модулирующего сигнала. При угловой модуляции в формуле (1.16) полагают постоянной амплитуду и в соответствии с модулирующим сигналом $C(t)$ изменяется фазовый угол. В случае изменения фазы

$$\phi_{\omega}(t) = \omega_0 t + k_{\Phi M} C(t) + \phi_0, \quad (1.33)$$

где $k_{\Phi M}$ – коэффициент пропорциональности; $\Delta\phi = k_{\Phi M} C(t)$ – индекс фазовой модуляции. Угловая модуляция этого вида носит название фазовой (ФМ).

Если модуляция осуществляется гармоническим сигналом

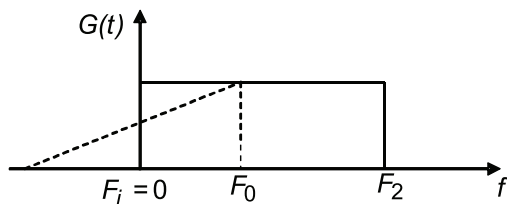


Рис. 1.15. Спектр восстановленного сигнала на приеме

$$C(t) = U_{\Omega} \cos \Omega t, \quad (1.34)$$

то мгновенная частота несущего колебания изменяется по закону

$$\omega(t) = \omega_0 + U_{\Omega} k_{\text{ЧМ}} \cos \Omega t = \omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t, \quad (1.35)$$

где $k_{\text{ЧМ}}$ – коэффициент пропорциональности; величина $\Delta\omega = k_{\text{ЧМ}} U_{\Omega}$ – девиация частоты (максимальное отклонение частоты модулированного сигнала от частоты несущего колебания). Угловая модуляция такого вида носит название частотной (ЧМ).

ЧМ является одним из наиболее распространенных методов модуляции, применяемых в диапазоне УКВ. Она позволяет получать высокую помехоустойчивость связи при передаче различных сообщений, использовать статистические свойства многоканального сигнала при частотном уплотнении и обеспечивать постоянное остаточное затухание каналов связи.

На рис. 1.16 показано изменение частоты несущего колебания при частотной модуляции.

Изменения фазы ЧМ-сигнала при гармоническом модулирующем сигнале определяются выражением, которое следует из формул (1.34) и (1.35):

$$\phi_{\omega}(t) = \omega_0 t + M_{\text{ЧМ}} \sin \Omega t + \phi_0, \quad (1.36)$$

где $M_{\text{ЧМ}} = \Delta\omega / \Omega$ – индекс частотной модуляции, который является безразмерной величиной, численно равной максимальному изменению фазы.

Частотно-модулированное колебание запишется в виде

$$S(t) = U_{\Omega} \cos(\omega_0 t + M_{\text{ЧМ}} \cos \Omega t + \phi_0). \quad (1.37)$$

В случае фазовой модуляции изменение фазы колебаний $\phi(t) = M_{\text{ФМ}} U_{\Omega} \cos \Omega t$. В связи с этим фазомодулированное колебание с учетом выражения (1.35) для $\phi(t)$ определяется как

$$S(t) = U_{\Omega} \cos(\omega_0 t + M_{\text{ФМ}} \cos \Omega t + \phi_0). \quad (1.38)$$

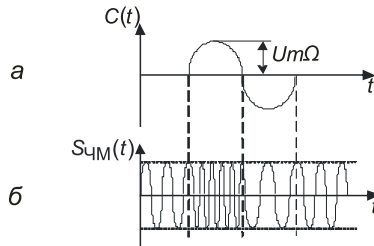


Рис. 1.16. Исходный (а) и частотно-модулированный (б) сигналы

Из сравнения формул (1.37) и (1.38) следует, что по внешнему виду сигнала $S(t)$ трудно различить, какая модуляция применена – частотная или фазовая. Эти виды модуляции, как правило, называют угловой модуляцией, а $M_{\text{ЧМ}}$ и $M_{\text{ФМ}}$ – индексами угловой модуляции.

Несущее колебание, подвергнутое угловой модуляции, можно представить в виде суммы гармонических колебаний:

$$S(t) = U_{\Omega} \{ I_0(M) \cos \omega t + I_1(M) \cos(\omega + \Omega t)t + I_1(M) \cos(\omega - \Omega t) + \\ + I_2(M) \cos(\omega + 2\Omega)t + I_2(M) \cos(\omega - 2\Omega)t + I_3(M) \cos(\omega + 3\Omega)t + (1.39) \\ + I_3(M) \cos(\omega - 3\Omega)t + \dots \},$$

где M – индекс угловой модуляции, принимающий значение $M_{\text{ЧМ}}$ при ЧМ и $M_{\text{ФМ}}$ при ФМ. Амплитуды гармоник в этом выражении определяются некоторыми коэффициентами $I_k(M)$, значения которых при различных аргументах приводятся в специальных справочных таблицах. Чем больше M , тем шире спектр модулированного колебания.

При ЧМ полоса пропускания канала системы передачи определяется как $\Delta f \approx 2(M_{\text{ЧМ}} + 1)$. Помехоустойчивость системы передачи тем выше, чем больше значение $M_{\text{ЧМ}}$. Фазовая модуляция для передачи аналоговых сигналов обычно не применяется, так как для достижения одинаковой с ЧМ помехоустойчивости требуется более широкая полоса частот и, кроме того, демодуляция ФМ-колебаний технически сложнее, чем демодуляция ЧМ-колебаний.

Таким образом, как следует из выражения (1.39), спектр модулированной несущей при угловой модуляции даже при гармоническом первичном сигнале $C(t)$ состоит из бесконечного числа дискретных составляющих, образующих нижнюю и верхнюю полосы спектра, симметричные относительно несущей частоты и имеющие одинаковые амплитуды.

1.2.1.3. Импульсная модуляция

В системах передачи с импульсной модуляцией передача и прием информации осуществляются за счет изменения одного из параметров переносчика под воздействием модулирующего сигнала, поступающего от потребителей (абонентов). В качестве переносчика при импульсной модуляции используется периодическая последовательность прямоугольных импульсов (ПППИ), которая характеризуется параметрами: A – амплитуда импульса, $\tau_{\text{и}}$ – длительность (ширина) импульсов, T_0 – период следования импульсов или $F_{\text{д}} = \frac{1}{T_0}$ – частота следования, или

тактовая частота следования $\Omega_0 = 2\pi F_0$, положение импульсов относительно тактовых точек $t_i = i \cdot T_d$, $i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ и отношение $T_d / \tau_{\text{и}} = g$, называемое скажностью ПППИ (рис. 1.17).

В современных системах передачи с временным разделением каналов (ВРК) величина скажности лежит в пределах 20–2 500.

Любой из указанных параметров импульсной последовательности можно изменять (модулировать) в соответствии с передаваемым первичным сигналом. Модуляция при этом называется импульсной. Применение в основном нашли три вида импульсной модуляции: амплитудно-импульсная (АИМ), широтно-импульсная (ШИМ) и временная импульсная модуляция (ВИМ), разновидностями которой являются фазоимпульсная модуляция (ФИМ) и частотно-импульсная модуляция (ЧИМ).

Амплитудно-импульсная модуляция

При амплитудно-импульсной модуляции амплитуда ПППИ изменяется по закону первичного, или модулирующего, сигнала $c(t)$, а длительность импульсов, частота их следования и положение относительно тактовых точек остаются постоянными. Тактовыми точками называются точки оси времени, отстоящие друг от друга на период T_i . Для каждого канала связи имеются свои тактовые точки, которые сдвинуты относительно друг друга на время ΔT_i . При АИМ положения передних фронтов импульсов совпадают с соответствующими тактовыми точками. На рис. 1.18 показаны временные диаграммы формирования АИМ-сигнала.

Первичный сигнал $c(t)$ модулирует амплитуду ПППИ $f(t)$, в результате получается каналный амплитудно-модулированный сигнал $s(t)$.

Различают два вида амплитудно-импульсной модуляции (АИМ):

– первого рода (АИМ-1), при которой мгновенное значение амплитуды импульсов зависит от мгновенного значения модулирующего сиг-

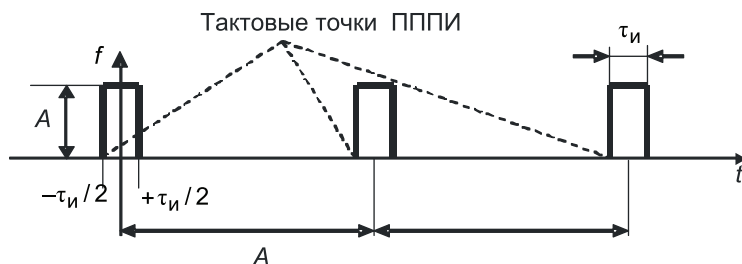


Рис. 1.17. Переносчик – периодическая последовательность прямоугольных импульсов

нала, а вершины импульсов повторяют исходный сигнал на длительности импульсов (рис. 1.18, а);

– второго рода (АИМ-2), при которой высота импульсов определяется только значением модулирующего колебания в тактовых точках (в точках дискретизации) и остается постоянной на всей его длительности (рис. 1.18, б). Различие между сигналами АИМ-1 и АИМ-2 оказывается существенным, если длительность импульсов τ сравнима с их периодом следования, при скважности ПППИ $g > 10$ различия между ними практически исчезают.

Формирование сигналов АИМ-1 осуществляется с помощью идеального ключа, управляемого последовательностью импульсов $f(t)$ (рис. 1.19).

Если коэффициент передачи ключа в открытом состоянии равен единице, а в закрытом – бесконечности, то сигнал АИМ-1 можно записать в виде

$$S(t)_{\text{АИМ-1}} = C(t)f(t), \quad (1.40)$$

где $f(t)$ – импульсная несущая с единичной амплитудой.

Амплитуды этих импульсов прямо пропорциональны или равны мгновенному значению модулирующего сигнала в точках дискретизации $i\Delta t$. Моменты дискретизации могут совпадать с началом импульса, его серединой или концом.

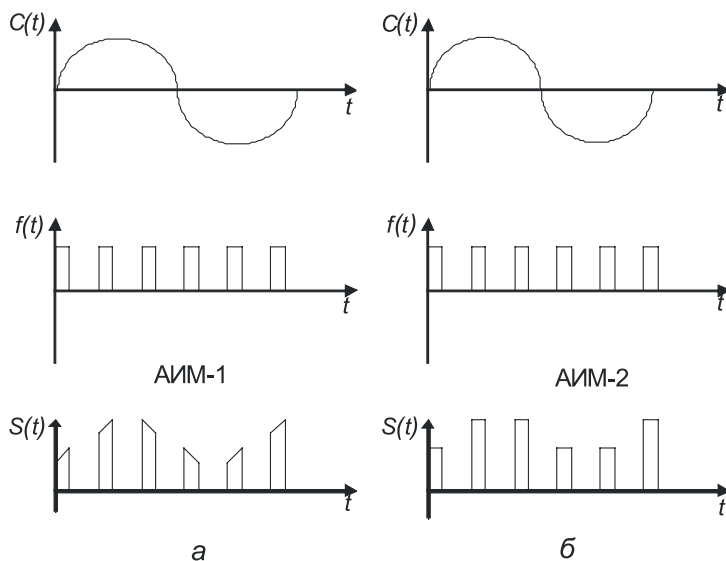


Рис. 1.18. Виды амплитудно-импульсной модуляции

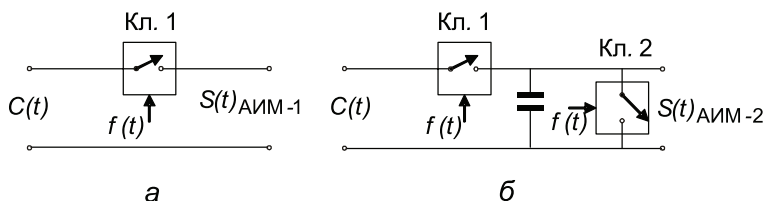


Рис. 1.19. Формирование сигналов АИМ-1 и АИМ-2

Для импульсов прямоугольной формы АИМ-2 формируется с помощью схемы (рис. 1.19, б).

В момент появления коротких импульсов последовательности $f_1(t)$ открывается ключ Кл.1 и накопительный конденсатор С заряжается до значения, равного $C(i\Delta t)$. Это значение напряжения остается до прихода импульсов второй последовательности $f_2(t)$, с помощью которой открывается ключ Кл. 2. Через него разряжается конденсатор С.

При АИМ-2 форма отсчетных импульсов может быть произвольной, например в виде прямоугольников, треугольников, приподнятого косинуса и т. п.

В общем случае при произвольной форме импульсов в импульсной несущей сигнал АИМ-2 записывается в виде

$$S(t)_{\text{АИМ-2}} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C(i\Delta t) f_0(t - i\Delta t), \quad (1.41)$$

где $f_0(t)$ – одиночный импульс последовательности; $i\Delta t$ – сдвиг импульсов относительно выбранного начала отсчета

$$f(t) = \sum f_0(t - i\Delta t). \quad (1.42)$$

Применение различных форм импульсов в несущем колебании сигнала АИМ-2 позволяет сформировать спектр сигнала АИМ-2 с заданными свойствами.

Системы передачи с ВРК на основе амплитудно-импульсной модуляции отличаются простотой построения оконечных станций, однако они обладают низкой помехоустойчивостью и весьма критичны к частотным характеристикам линейных, групповых трактов и линий связи. В применяющихся на практике системах передачи с ВРК методы АИМ используются на первой ступени формирования канальных сигналов систем передачи с ВРК, использующих другие виды импульсной модуляции.

Широтно-импульсная модуляция

При широтно-импульсной модуляции (ШИМ) длительность импульсов ПППИ изменяется под воздействием модулирующего первичного сигнала, остальные же ее параметры остаются неизменными. Длительность передаваемых импульсов меняется по закону

$$\tau = \tau_0 [1 + M_{\text{ШИМ}} C(t)], \quad (1.43)$$

где $M_{\text{ШИМ}}$ – коэффициент модуляции по ширине импульсов; τ_0 – длительность немодулированных импульсов.

Различают одностороннюю (ОШИМ) и двустороннюю ШИМ (ДШИМ) (рис. 1.20).

На практике наибольшее применение находит односторонняя ШИМ (ОШИМ), при которой изменение длительности импульса ПППИ происходит только за счет перемещения одного из фронтов (например заднего), а положение другого (переднего) фронта остается неизменным относительно тактовых точек ПППИ. При двусторонней ШИМ и передний и задний фронты импульсов симметрично перемещаются относительно их центра, соответствующего тактовым точкам ПППИ. Перемещение фронтов импульсов осуществляется по закону модулирующего напряжения.

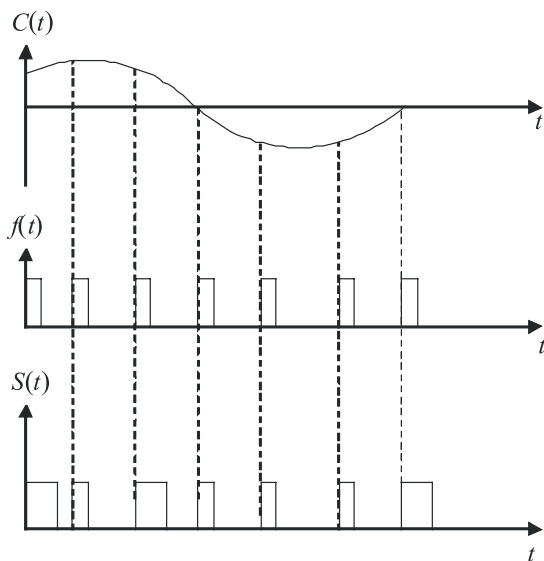


Рис. 1.20. График, поясняющий одностороннюю широтно-импульсную модуляцию

В зависимости от того, каким образом устанавливается связь между моментами отсчета мгновенных значений модулирующего сигнала $s(t)$ и шириной импульса ПППИ, различают широтно-импульсную модуляцию первого (ШИМ-1) и второго (ШИМ-2) рода.

При ШИМ-1 длительность импульсов меняется в соответствии с текущим значением модулирующего напряжения, а при ШИМ-2 – длительность импульсов $s(t)$ пропорциональна мгновенным значениям сигнала $s(t)$ в тактовых точках (рис. 1.20). При $\tau_{\text{И}} \ll T_{\text{д}}$ различия между ШИМ-1 и ШИМ-2 несущественны.

Широтная импульсная модуляция используется в многоканальных системах передачи импульсной радиосвязи, а также в некоторых радиотелеметрических системах и системах телеуправления, телеконтроля и телемеханики.

Фазоимпульсная модуляция

При фазоимпульсной модуляции (ФИМ) сдвиг импульсов ПППИ относительно тактовых точек изменяется по закону первичного (модулирующего) сигнала $s(t)$.

Характерная особенность импульсов, модулированных по фазе, – неизменность амплитуд и длительностей всех импульсов, переменным же является интервал времени между соседними импульсами (рис. 1.21).

Существует несколько разновидностей ФИМ, в частности фазоимпульсная модуляция первого рода (ФИМ-1), при которой временной сдвиг импульсов ПППИ пропорционален значению модулирующего сигнала в момент появления импульса ПППИ, и фазоимпульсная модуляция второго рода (ФИМ-2), при которой временной сдвиг импульсов ПППИ пропорционален значениям модулирующего напряжения в тактовых точках. Обычно применяется ФИМ-2 (рис. 1.21). При отрицательных значениях модулирующего сигнала импульсы ПППИ смещаются влево, при положительных – вправо.

Величина амплитуды исходного сигнала в спектре ФИМ-сигнала прямо пропорциональна частоте исходного сигнала, что затрудняет демодуляцию ФИМ с помощью фильтра нижних частот, затухание в полосе эффективного пропускания должно изменяться по определенному закону, обеспечивающему безыскаженное восстановление исходного сигнала (реализация такого фильтра вызывает технические трудности).

В спектре ФИМ-сигнала амплитуды исходного сигнала значительно (на два-три порядка) меньше, чем при АИМ или ШИМ. В связи с этим в системах передачи с ВРК на основе фазоимпульсной модуляции принятый каналный сигнал $s(t)$ преобразуется в последовательность импульсов с АИМ или ШИМ, из которой при помощи обычного фильтра

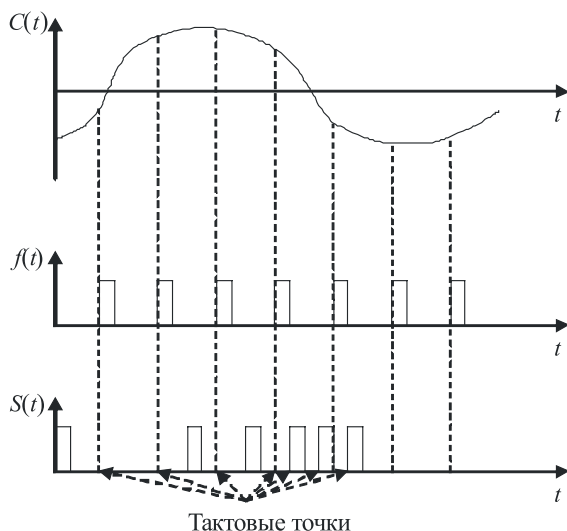


Рис. 1.21. График, поясняющий формирование канальных сигналов на основе фазоимпульсной модуляции

нижних частот выделяется исходный сигнал. Преобразование ФИМ в ШИМ сопровождается меньшими искажениями по сравнению с преобразованием ФИМ и АИМ. Кроме того, при преобразовании ФИМ в ШИМ демодулятор оказывается несколько более устойчивым по отношению к внешним импульсным помехам. На практике чаще применяется демодуляция ФИМ с предварительным преобразованием ее в ШИМ.

Для устранения вредного воздействия помех в приемных устройствах систем передачи с ФИМ (как и с ШИМ) применяются ограничители амплитуд.

ФИМ широко применяется в радиотелеметрических системах высокой точности и несколько меньше в многоканальных системах радиосвязи.

Модуляцию ФИМ и ЧИМ объединяют во временно-импульсную (ВИМ). Между ними существует связь, аналогичная связи между фазовой и частотной модуляцией синусоидального колебания.

Импульсные последовательности, изображенные на рис. 1.20, 1.21, называются последовательностями видеоимпульсов. Если позволяет среда распространения, то видеоимпульсы передаются без дополнительных преобразований (например, по кабелю). Однако по радиолиниям передавать видеоимпульсы невозможно и поэтому сигнал подвергается второй ступени преобразования (модуляции).

В результате модуляции с помощью видеоимпульсов несущего колебания высокой частоты получают радиоимпульсы, которые способны

распространяться в эфире. Сигналы, полученные в результате преобразований на первой и второй ступенях, могут иметь названия АИМ-АМ, ФИМ-АМ, ФИМ-ЧМ и др.

Сравнение импульсных видов модуляции показывает, что АИМ имеет меньшую ширину спектра по сравнению с ШИМ и ФИМ. Однако последние более устойчивы к воздействию помех.

Частотно-импульсная модуляция

При частотно-импульсной модуляции (ЧИМ) по закону модулирующего напряжения меняется частота повторения импульсов, длительность и амплитуда остаются неизменными.

Этот вид модуляции в некотором смысле подобен обычной частотной модуляции синусоидальных колебаний, с той разницей, что несущей частотой, которая меняется по закону модуляции, является частота повторения импульсов ω_i .

Найдем моменты появления импульсов при модуляции их по частоте следования.

ЧМ-колебание с несущей частотой ω_i аналитически определяется выражением

$$S(t) = A_o \cos[\omega_i t + M_{\text{чм}} \int_0^t C(t) dt + \phi_o].$$

Моменты времени t_k , в которые фаза этого колебания принимает значение ϕ_1 , определяется выражением

$$\omega_i t_k + M_{\text{чм}} \int_0^t C(t) dt + \phi_o = \phi_1 + 2\pi k,$$

где k – любое целое число.

Разделив обе части последнего выражения на ω_i , получим

$$t_k + \frac{M_{\text{чм}}}{\omega_i} M_{\text{чм}} \int_0^{t_k} C(t) dt = t'_o + kT_i. \quad (1.44)$$

Условимся в качестве мгновенной частоты модулированной последовательности импульсов понимать мгновенную частоту соответствующих синусоидальных ЧМ-колебаний. Момент появления k -го импульса будет определяться выражением (1.43).

В частном случае, когда модулирующее напряжение меняется по синусоидальному закону

$$C(t) = U_m \sin(\Omega t + \phi),$$

уравнение (1.43) принимает вид

$$t_k + t_m \sin\left(\Omega t_k + \phi - \frac{\pi}{2}\right) - kT_i + t_o'. \quad (1.45)$$

Это уравнение подобно выражению, определяющему моменты появления импульсов при ФИМ-1. Отсюда следует, что при модуляции последовательности импульсов по частоте следования получается их модуляция и по временному положению.

В формуле (1.45)

$$t_m = \frac{M_{\text{ЧМ}} U_m}{\Omega \omega_i}. \quad (1.46)$$

Отличие ЧИМ от ФИМ проявляется в том, что при ЧИМ максимальное смещение импульсов t_m обратно пропорционально как частоте Ω , так и ω_i . Это различие проявляется даже при синусоидальном модулирующем сигнале

1.2.2. Методы цифровой модуляции

Рассмотренные методы аналоговой модуляции реализованы в системах передачи с традиционной элементной базой. Современные системы передачи с временным уплотнением, напротив, могут быть реализованы исключительно цифровой электроникой. Вместе с тем переход от аналоговых систем передачи к цифровым характерен тем, что по абонентским и местным линиям связи передаются аналоговые сигналы, что требует аналого-цифрового преобразования. Различают три метода цифрового представления непрерывных сигналов (цифровой модуляции) – импульсно-кодовую модуляцию (ИКМ), разностную ИКМ, или ИКМ с предсказанием, и дельта-модуляцию. Во всех случаях процедура цифровой модуляции состоит из трех операций: дискретизации, квантования и кодирования (рис. 1.22).

Дискретизация – представление непрерывного во времени сигнала в виде периодических дискретных значений или отсчетов. Возможность такого представления основана на теореме В.А. Котельникова, по которой функция, спектр которой сосредоточен в полосе частот до $F_{\text{в}}$, полностью характеризуется своими мгновенными значениями, отсчитанными через интервалы времени $\Delta t = \pi / F_{\text{в}}$. Дискретизация необходима для временного разделения каналов, кроме того, она позволяет применять синхронные микросхемы, работа которых происходит более четко.

Квантование – округление мгновенных значений сигнала до ближайших разрешенных значений. Аналоговый сигнал представляет собой бесконечное множество мгновенных значений, цифровой – ко-

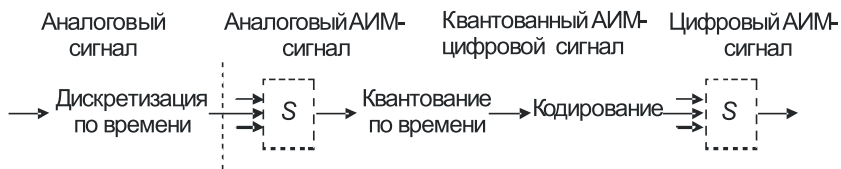


Рис. 1.22. Аналого-цифровое преобразование сигнала

нечное множество (разрешенных) значений. В телекоммуникационных системах квантование практически всегда совмещается с последующей операцией – кодированием.

Кодирование – переход от кода с высоким основанием к коду с низким основанием. Кодирование повышает помехоустойчивость и упрощает его обработку логическими устройствами.

В результате этих операций временные отсчеты передаваемого сообщения на выходе кодирующего устройства представляются в виде кодовых групп, одинаковых по форме и длительности импульсов. Импульсы расположены в определенных точках оси времени, каждый из которых может иметь только дискретное значение амплитуд, равное основанию используемого кода (при $m = 2$ только два значения). Такое представление передаваемого сигнала, когда на каждой промежуточной и оконечной системах передачи (станции) известны все его параметры, обеспечивает (при известных условиях) полную его регенерацию и получение высокой помехоустойчивости связи.

1.2.2.1. Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция

Способ формирования цифрового сигнала, при котором квантованию и кодированию подвергается сигнал разности между двумя соседними отсчетами, называется дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией – ДИКМ.

Совокупность устройств, формирующих цифровой сигнал на основе ДИКМ, называется ДИКМ-кодером, а устройства, которые выполняют обратные преобразования, – ДИКМ-декодером. ДИКМ-кодер и ДИКМ-декодер образуют ДИКМ-кодек.

Простейшим способом получения разности соседних отсчетов для ДИКМ-кодера является запоминание предыдущего входного отсчета непосредственно в аналоговой памяти и использование аналогового вычитающего устройства для получения разности, которая затем квантуется и кодируется для передачи. На приемном конце принятая цифровая последовательность в первую очередь декодируется, в результа-

те чего сначала восстанавливается последовательность квантованных приращений сигнала в моменты отсчетов, а затем путем последовательного суммирования с помощью интегратора они преобразуются в последовательность квантованных отсчетов сигнала и далее – в исходный аналоговый сигнал.

Структурная схема такой реализации ДИКМ-кодека показана на рис. 1.23.

В структурной схеме приняты следующие обозначения:

ФНЧ – фильтр нижних частот, предназначенный для ограничения полосы частот первичного (информационного) сигнала и формирования сигнала $C(t)$;

ЭЗ – элемент задержки сигнала $C(t)$ на время T , равное периоду дискретизации T_d . На выходе ЭЗ формируется сигнал вида $C(t - T_d)$;

ДУ – дифференциальный усилитель, который выполняет роль вычитающего устройства, на выходе которого получается разностный сигнал вида $C(t) - C(t - T_d)$;

Дискр – дискретизатор, осуществляющий дискретизацию разностного сигнала на выходе ДУ с частотой f_d , на выходе которого получается сигнал $r(t - T_d)$;

Кодер – кодирующее устройство, формирующее цифровой ДИКМ-сигнал;

Декодер – декодирующее устройство, преобразующее принятый цифровой ДИКМ-сигнал в отсчеты разностного сигнала;

Интег – интегратор, преобразующий сигнал $r(nT_d)$ на выходе декодера в ступенчатый сигнал, который с помощью ФНЧ приема преобразуется в сигнал вида $C'(t)$, отличающийся от сигнала $C(t)$ наличием шумов квантования и присущих ДИКМ искажений.

На рис. 1.24 приведена схема ДИКМ-кодека, содержащая в передающей части цепь обратной связи, включающую в себя декодер и интегратор.

Схема кодека на рис. 1.24 является более сложной по сравнению со схемой на рис. 1.23, так как предыдущая входная величина восста-

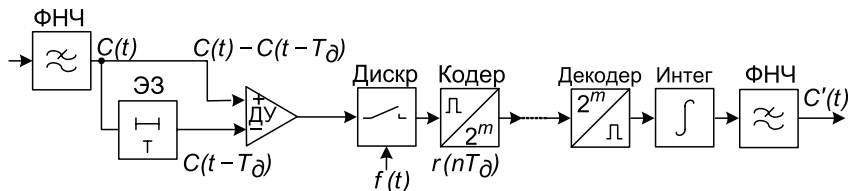


Рис. 1.23. Структурная схема аналогового ДИКМ-кодека

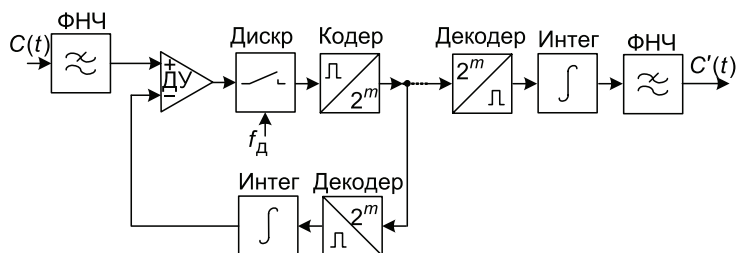


Рис. 1.24. Структурная схема ДИКМ-кодека с обратной связью

навливаются с помощью цепи обратной связи, в которой накапливаются кодированные разности значений отсчетов. По существу, сигнал в цепи обратной связи представляет оценку входного сигнала, которая получается путем интегрирования кодированных разностей отсчетов.

Преимущество реализации кодека ДИКМ с цепью обратной связи состоит в том, что при этом шумы квантования не накапливаются неограниченно. Если сигнал в цепи обратной связи отклоняется от входного в результате накопления шумов квантования, то при следующей операции кодирования разностного сигнала это отклонение автоматически компенсируется. В системе без обратной связи выходной сигнал, формируемый декодером на противоположном конце линии, может неограниченно накапливать шумы квантования.

Временные диаграммы, поясняющие принцип работы декодера ДИКМ, приведены на рис. 1.25.

В начальный момент t_1 сигнал на выходе интегратора отсутствует, а сигнал на выходе дифференциального усилителя (ДУ) соответствует непрерывному сигналу. Дискретный отсчет с амплитудой C_1 квантуется и кодируется в кодере и затем через декодер поступает на интегратор (Интег), который запоминает его амплитуду до момента t_2 (т. е. на время, равное периоду дискретизации T_d). В момент t_2 сигнал на прямом (+) входе ДУ равен аналоговому сигналу C_2 , а на инвертирующем (–) входе – C_1 . На выходе ДУ получаем разностный сигнал $\Delta C_1 = C_2 - C_1$. После квантования и кодирования этой разности в линию поступает кодовая комбинация, соответствующая разности двух соседних отсчетов. По цепи обратной связи через декодер амплитуда отсчета C_2 поступает на интегратор и запоминается им до момента t_3 . В этот момент опять происходит определение разности ΔC_2 , ее квантование, кодирование и т. д. Когда сигнал на выходе интегратора (в момент t_4) больше аналогового сигнала, разность на выходе ДУ будет отрицательной. После квантования, кодирования и декодирования на выходе интегратора получится отрицательный скачок сигнала ΔC_3 на величину этой разности.

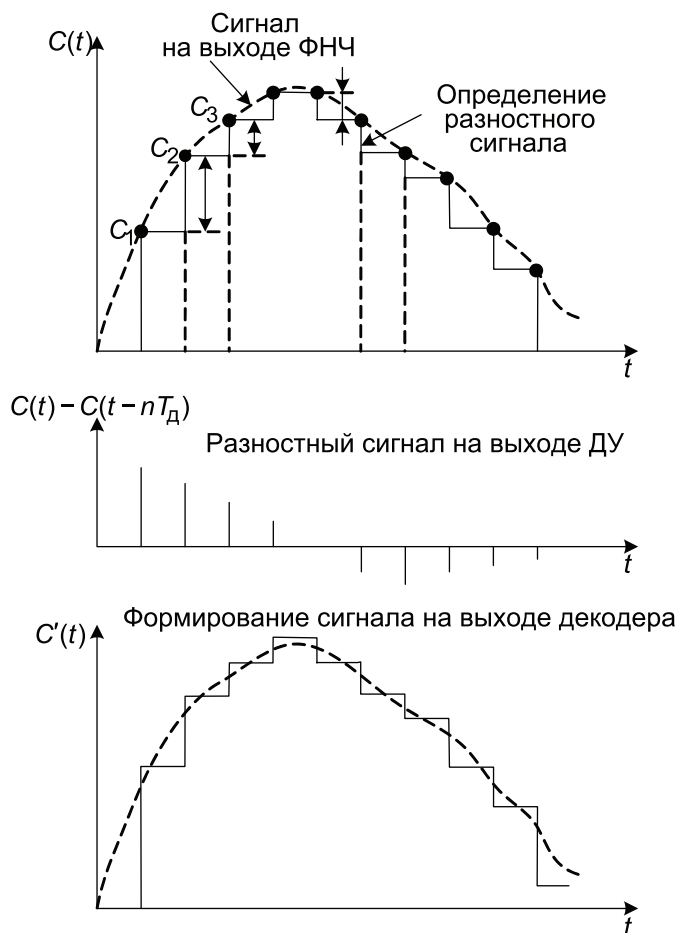


Рис. 1.25. Временные диаграммы формирования ДИКМ-сигнала

Как видно из рис. 1.25, амплитуда разностей отсчетов меньше самих отсчетов, поэтому при одинаковом шаге квантования число разрядов в кодовой комбинации при ДИКМ меньше, чем при обычной ИКМ. Если быть точнее, то при одинаковом качестве в системе передачи на основе ДИКМ можно использовать на $2/3$ разряда меньше, чем в системе с обычной ИКМ.

Кодеры и декодеры ДИКМ могут быть выполнены множеством способов в зависимости от разделения функций обработки сигнала между аналоговыми и цифровыми цепями. В одном случае функции дифференцирования (формирования разностного сигнала) и интегрирования

реализуются посредством аналоговых цепей, в другом – вся обработка сигналов может осуществляться цифровым способом, а на вход будут поступать отсчеты в форме обычного ИКМ-сигнала.

В системах ДИКМ с аналоговым дифференцированием и интегрированием аналого-цифровому преобразованию подвергается разностный сигнал, а цифро-аналоговому в цепи обратной связи – непосредственно кодовая комбинация разностного сигнала, имеющая ограниченный диапазон. Для интегрирования используются аналоговые суммирующие и запоминающие устройства. Находят также применение системы с ДИКМ, где интегрирование выполняется в цифровой форме. Кодовая комбинация разностного сигнала вместо непосредственного преобразования снова в аналоговую форму в цепи обратной связи подвергается суммированию и накапливается в регистре для получения цифрового представления предыдущего входного отсчета. Затем для получения из цепи обратной связи аналогового сигнала, применяемого для вычитания, используется цифро-аналоговый преобразователь на полный динамический диапазон сигнала.

В связи с достижениями в технологии интегральных микросхем с большой степенью интеграции (БИС) все большее применение находят системы ДИКМ, где вся обработка сигнала выполняется при помощи цифровых логических схем. Аналого-цифровой преобразователь формирует кодовые комбинации, соответствующие отсчетам с полным амплитудным диапазоном (как в обычной ИКМ), которые затем сравниваются с кодовыми комбинациями предыдущего отсчета, полученными цифровым способом. Отметим, что в этом случае аналого-цифровой преобразователь должен формировать кодовые комбинации во всем динамическом диапазоне входных сигналов, в то время как в предыдущих случаях обрабатываются только разностные сигналы.

Декодеры во всех трех рассмотренных вариантах реализуются точно так же, как цепи обратной связи соответствующих кодеров. Это связано с тем, что в цепи обратной связи формируется аппроксимация входного сигнала (задержанного на один период дискретизации). Если в тракте передачи ДИКМ-сигнала ошибки не происходит, то сигнал на выходе декодера (перед фильтрацией) идентичен сигналу в цепи обратной связи. Таким образом, чем точнее сигнал в цепи обратной связи повторяет входной сигнал, тем точнее сигнал на выходе декодера повторяет входной сигнал.

Наибольшим искажениям квантования при ДИКМ подвергаются разностные сигналы малой величины. Для уменьшения этих искажений можно применить неравномерное квантование, при котором шаг квантования возрастает по мере увеличения значения разностного сигнала. Такой метод разностного кодирования называется *адаптивной*

дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией (АДИКМ), поскольку при этом происходит адаптация величины шага квантования к параметрам кодируемого сигнала.

1.2.2.2. Дельта-модуляция

Дельта-модуляция (ДМ) представляет один из методов кодирования разностного сигнала, при котором в линию передается информация лишь о знаке приращения разности соседних отсчетов (предельный случай ДИКМ). В зависимости от знака этой разности производится увеличение или уменьшение амплитуды сигнала на фиксированную величину, называемую ступенькой.

При ДМ так же, как и при обычной ИКМ, непрерывный сигнал подвергается дискретизации и квантованию, в результате чего непрерывная функция $C(t)$ заменяется ступенчатой (кусочно-постоянной) функцией $G(t)$ (рис. 1.26, а).

В настоящее время известно большое число разновидностей ДМ, которые с различной точностью передают непрерывные сообщения. Многие из этих разновидностей предложены сравнительно недавно и

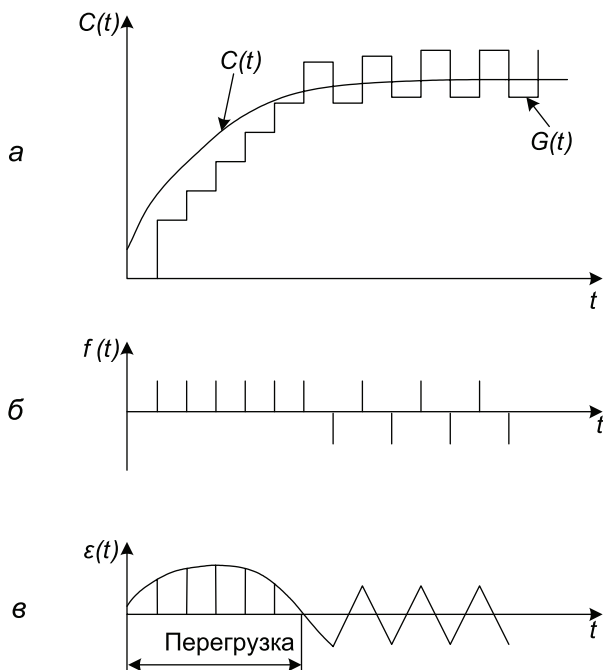


Рис. 1.26. Дельта-модуляция

находятся в стадии теоретических и экспериментальных исследований. К наиболее известным относятся линейная и адаптивная ДМ.

Линейная ДМ является первой из предложенных систем с ДМ, наиболее простой и распространенной. При линейной ДМ, в отличие от классической ИКМ, при каждом шаге дискретизации допускается приращение ступенчатой функции $G(t)$, равное величине только одного шага квантования δ (дельта). В линию передаются сведения о знаке приращения непрерывного сигнала $c(t)$ в дискретные моменты времени kT . Сигнал в каждом отсчете отличается от предыдущего на $+1$ или -1 . При этом можно передавать всего лишь один бит, сообщающий, увеличился или уменьшился сигнал по отношению к предыдущему. Алгоритм формирования линейного сигнала имеет вид

$$f(kT) = \text{sign}\{c(kT) - G[(k-1)T]\}, \quad (1.47)$$

здесь sign означает знак разности.

Таким образом, сигнал $f(t)$ при ДМ оказывается кодированным по двоичной системе и представляет собой последовательность двухполярных импульсов (рис. 1.26, б). Из формулы (1.47) и рисунку 1.26 ясно, что ступенчатый сигнал $G(t)$ можно получить путем интегрирования линейного сигнала $f(t)$:

$$G(t) = \int_0^t f(t) dt. \quad (1.48)$$

Следовательно, операция декодирования в приемнике системы передачи сводится к интегрированию линейного сигнала $f(t)$.

Как и в системах с ИКМ или ДИКМ, при ДМ возникают шумы квантования

$$\varepsilon(t) = G(t) - c(t). \quad (1.49)$$

Упрощенная структурная схема цифрового канала на основе ДМ приведена на рис. 1.27.

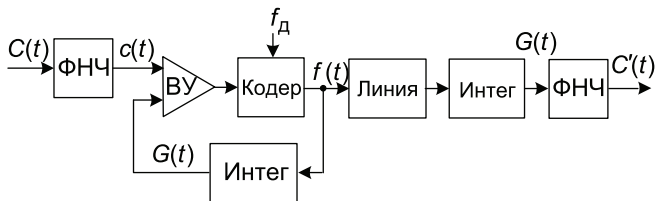


Рис. 1.27. Обобщенная структурная схема канала на основе дельта модуляции

Первичный сигнал $C(t)$ ограничивается с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ) по частоте и формируется сигнал $C(t)$ с граничной частотой $f_{\text{макс.}}$. Сигнал $C(t)$ поступает на один из входов вычитающего устройства (ВУ), на другой вход которого поступает ступенчатый сигнал $G(t)$, формируемый интегратором. На выходе ВУ получается разностный сигнал или сигнал ошибки $\varepsilon(t)$ (1.49).

Сигнал ошибки подается на кодер, на другой вход которого подается периодическая последовательность тактовых импульсов с частотой дискретизации $f_d = 1/T$. Кодер формирует положительный импульс, если в момент поступления тактового импульса $\varepsilon(t) < 0$, и отрицательный – при $\varepsilon(t) > 0$. Последовательность двухполярных импульсов $f(t)$ направляется в линию и одновременно подается на интегратор, который формирует ступенчатый сигнал $G(t)$, поскольку каждый положительный импульс, поступающий с выхода кодера, увеличивает сигнал на $+\Delta U_0$, а каждый отрицательный импульс – уменьшает на $-\Delta U_0$. С выхода интегратора сигнал подводится к ВУ, на другой вход которого поступает сигнал $C(t)$ и которое осуществляет операцию (1.47).

Функции декодирующего устройства в приемнике выполняет интегратор (аналогичный интегратору в схеме передатчика), на выходе которого получается ступенчатый сигнал $G(t)$. Поскольку все приращения (ступеньки) аппроксимирующего сигнала имеют одну и ту же величину, то напряжение на выходе интегратора растет (убывает) по линейному закону. Этот вид ДМ называется линейным. После сглаживания ступенчатого сигнала $G(t)$ фильтром нижних частот (ФНЧ) формируется сигнал $C'(t)$, достаточно близкий к сигналу $C(t)$. Совокупность устройств, формирующих сигнал $f(t)$, называется *дельта-кодером*, совокупность устройств, выполняющих преобразование сигнала $f(t)$ в сигнал $C'(t)$ – *дельта-декодером*, а в целом эти устройства образуют дельта-кодек.

Ранее отмечалось, что при ДМ приращение аппроксимирующей ступенчатой функции $G(t)$ в моменты $tk = kT$ равно шагу квантования δ . В связи с этим на участках передаваемого сигнала $C(t)$ с крутизной, большей чем максимально возможная средняя крутизна монотонно возрастающей (или убывающей) функции $G(t)$, шум квантования резко возрастает. Это явление называется перегрузкой кодера (кодирующего устройства). На рис. 1.26,в перегрузка показана на участке $T_{\text{пер}}$. Чтобы при ДМ отсутствовали перегрузки, приращение функции $C(t)$ за время тактовых интервалов T не должно превышать шага квантования. Это условие можно записать в виде

$$\left[\max \frac{dc(t)}{dt} \right] T \leq \delta. \quad (1.50)$$

С другой стороны, чтобы шум квантования был достаточно мал, необходимо задать минимально допустимое число M ступеней шкалы квантования по уровню:

$$\delta = \frac{C_{\max}}{M}. \quad (1.51)$$

Беря в формуле (1.50) знак равенства, из выражения (1.51) получим

$$T = \frac{C_{\max}}{C'_{\max}} \cdot \frac{1}{M}, \quad (1.52)$$

где $C_{\max} = \max[dc(t) / dt]$. Из формулы (1.52) следует выражение для частоты дискретизации при ДМ:

$$f_d = \frac{1}{T} = M \frac{C'_{\max}}{C_{\max}}. \quad (1.53)$$

Расчеты показывают, что для передачи телефонных сообщений с достаточно высоким качеством при ДМ требуется в 2–3 раза более широкая полоса частот, чем при ИКМ. Это существенный недостаток ДМ.

Основное достоинство ДМ – простота аппаратуры кодирования и декодирования.

Системы передачи на основе ДМ – это системы с линейным предсказанием. Одиночный интегратор в схеме (рис. 1.27) является простейшим видом предсказателя. Чем точнее предсказатель формирует копию сигнала (приближает функцию $G(t)$ к сигналу $C(t)$, тем меньше их различие и, следовательно, ниже уровень шумов квантования. Один из возможных способов совершенствования предсказания основан на использовании в схеме дельта-кодера *двойного интегратора* в качестве предсказателя. Переход к двойному интегратору в схеме дельта-кодека повышает отношение сигнал-шум квантования на 6–10 дБ для всех видов сигналов.

Дельта-модуляция с предсказателем на основе двойного интегратора называется *дельта-модуляцией с двойным интегрированием*.

Основной недостаток линейной ДМ – малый динамический диапазон передаваемых сигналов и наличие шумов перегрузки. Снизить частоту дискретизации для ДМ без увеличения шумов квантования или повысить защищенность от шумов квантования при меньшем значении частоты дискретизации возможно за счет применения ДМ с компарированием, или *адаптивной* ДМ. Идея адаптивной ДМ заключается в автоматическом изменении шага квантования в зависимости от параметров (крутизны) передаваемого сигнала. Большие значения крутизны передаваемого сигнала ($C'(t)$) могут быть переданы за счет увеличения

как ΔU_0 , так и ω . В адаптивной ДМ используется первый способ. Компандирование бывает мгновенным и инерционным.

При мгновенном компандировании шаг квантования изменяется в каждом такте. Существует несколько разновидностей дельта-модуляции с мгновенным компандированием (ДММК), но все они основаны на изменении шага квантования при появлении перегрузки по крутизне (рис. 1.26, в). Информацией о появлении перегрузки может служить появление в выходном сигнале нескольких одинаковых символов подряд. В структуру дельта-кодека ДММК (рис. 1.28) вводят анализатор (Анализ) вида импульсной последовательности и амплитудно-импульсный модулятор (АИМ). При появлении посылок одинаковой полярности анализатор управляет АИМ таким образом, что амплитуда импульсов, подаваемых на интегратор (Интегр), возрастает и соответственно возрастает шаг квантования копии сигнала. При обнаружении последовательных импульсов разной полярности анализатор подает на АИМ напряжение, уменьшающее амплитуду выходных импульсов, и шаг изменения копии уменьшается. Существуют другие схемы кодеков ДММК, в которых вместо АИМ применяется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). При ДММК защищенность от шумов квантования остается высокой в сравнительно большом диапазоне изменения мощностей входного сигнала, в то время как при ДМ она быстро уменьшается при увеличении входной мощности, что связано с ростом шумов перегрузки.

При дельта-модуляции с инерционным компандированием (ДМИК) изменение шага квантования происходит медленно, за время, соизмеримое со временем изменения огибающей кодируемого сигнала. Иногда ДМИК называют ДМ со слоговым компандированием, так как скорость изменения шага квантования соответствует скорости изменения слогов речи. Структурная схема ДМИК приведена на рис. 1.29. Так же как и в случае ДММК, схема ДМИК содержит в цепи обратной

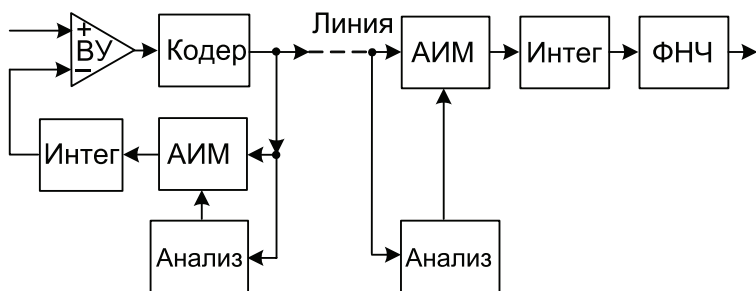


Рис. 1.28. Структурная схема кодека ДММК

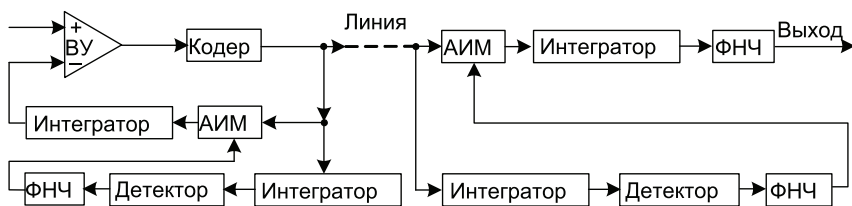


Рис. 1.29. Структурная схема кодера ДМИК

связи АИМ (ШИМ) модулятор, изменяющий амплитуду или длительность импульсов, формирующих копию сигнала на выходе интегратора. Отличие этой схемы от предыдущей состоит в том, что управление амплитудой импульсов осуществляется не безынерционно, а сравнительно медленно, в соответствии с изменением огибающей кодируемого сигнала. Сигнал управления может выделяться из выходного сигнала или его копии. Структурная схема (рис. 1.29) соответствует функционированию по первому способу. В этом случае цепь управления содержит интегратор, детектор, выделяющий низкочастотную огибающую сигнала, и ФНЧ.

Инерционность адаптации кодера ДМИК близка к периоду основного тона речевого сигнала и равна примерно 10 мс, в то время как средний интервал следования слогов превышает 100 мс.

При ДМИК шаг квантования зависит от уровня входного сигнала, возрастая с его увеличением. Если при этом в некотором диапазоне изменения сигнала обеспечивается прямая пропорциональность между его напряжением и шагом квантования, то отношение сигнал/шум квантования на выходе ФНЧ в данном диапазоне будет оставаться постоянным. Тем самым устраняется зависимость отношения сигнал/шум от уровня входного сигнала, свойственная ДМ с постоянным шагом. Эксперименты показали, что при использовании ДМИК и тактовой частоты 48 кГц отношение сигнал/шум квантования превышает 25 дБ при изменении уровня входного сигнала на 40 дБ. Следовательно, ДМИК обеспечивает такое же качество передачи, как и ИКМ при восьмиразрядном кодировании, но при требуемой скорости передачи, в 1,5–2 раза более низкой, чем ИКМ.

В заключение отметим, что влияние ошибок в линейном тракте при передаче ДМ-сигнала вызывает ошибку, равную двум шагам квантования, а при ИКМ ошибка зависит от того, в каком разряде кодовой комбинации произошел сбой под воздействием помехи. Следовательно, требования к линейному тракту по достоверности передачи при ДМ на несколько порядков ниже, чем при ИКМ.

При ИКМ для демодуляции сигнала требуются два вида синхронизации: тактовая и цикловая по кодовым группам. При ДМ принципиально отсутствуют кодовые группы, и для работы требуется только синхронизация по тактам.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое средняя мощность случайного процесса?
2. Что такое дисперсия случайного процесса?
3. Динамический диапазон первичного сигнала; физический смысл величин, входящих в формулу для определения динамического диапазона.
4. Пикфактор первичного сигнала, физический смысл величин, входящих в формулу для его определения.
5. Оценка количества (объема) информации, переносимой первичным сигналом.
6. Назовите первичный сигнал, обладающий наиболее широкой эффективно передаваемой полосой частот.
7. Назовите основные параметры первичных сигналов и их размерности.
8. Что такое канал передачи? Его структурная схема и требования к основным элементам.
9. Канал передачи как четырехполюсник. Перечислите основные параметры и характеристики канала и поясните их физическую сущность.
10. Остаточное затухание канала передачи, его оценка и влияние на качество передачи.
11. Эффективно передаваемая полоса частот канала, ее влияние на качество передачи и оценка.
12. Изобразить шаблон измерения частотной характеристики канала тональной частоты. Влияние частотной характеристики канала на качество передачи.
13. Фазочастотная характеристика канала и частотная характеристика группового времени прохождения (замедления), их взаимосвязь и влияние на качество передачи сигналов.
14. Необходимость организации двусторонних каналов. Основные проблемы.
15. Изобразите схемы организации двусторонних каналов передачи: двухпроводного однополосного, четырехпроводного однополосного и двухпроводного двухполосного.
16. Назначение развязывающих устройств при организации двусторонних каналов, требования к ним и их классификация.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Боккер П.** Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы. – М.: Радио и связь, 1991.
2. **Волкова В.Н.** Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова, В.А. Воронков и др. – М.: Радио и связь, 1983.
3. ГОСТ 22348–86. Сеть связи автоматизированная единая. Термины и определения.
4. **Дурнев В.Г.** Электросвязь. Введение в специальность / В.Г. Дурнев, А.Е. Зеневич и др. – М.: Радио и связь, 1988. – 240 с.
5. **Колесников А.А.** Прикладная математика: курс лекций / А.А. Колесников. – Л.: ВАС, 1987.
6. **Крухмалев В.В.** Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учебник для вузов / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов и др. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2004. – 510 с.
7. Основные положения развития ВСС РФ на перспективу до 2005 года: руководящий документ. – Справочное приложение 2: Словарь основных терминов и определений. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996. – 27 с.
8. Правила оказания услуг телефонной связи: Постановление Правительства РФ № 1235 от 26.09.97. – П. 3.
9. **Рогинский В.Н.** Теория сетей связи: учебник для вузов связи / В.Н. Рогинский, А.Д. Харкевич и др. – М.: Радио и связь, 1981. – 192 с.
10. Советский энциклопедический словарь. – 2-е изд. / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1983.
11. Технологии и средства связи. – М.: Business Systems. – 2001. – № 1. – С. 1–13.
12. Федеральный закон «О связи»: ФЗ № 126 от 07.07.2005.

Глава 2

СИСТЕМЫ И СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ



2.1. Системы передачи

2.1.1. Системы передачи непрерывных сообщений

Система передачи – это комплекс технических средств, обеспечивающих образование линейных, типовых групповых трактов и каналов передачи первичной сети [9].

В зависимости от вида сигналов, передаваемых в линейном тракте, системе передачи присваивают название: аналоговая или цифровая, а в зависимости от среды распространения – проводная или радио-система передачи.

В состав системы передачи входят аппаратура, осуществляющая преобразование и усиление сигналов, устройства электропитания, телеуправления и телесигнализации.

Для передачи непрерывных сообщений применяют системы передачи сигналов телефонной связи, звукового и телевизионного вещания, факсимильной связи.

2.1.1.1. Система передачи сигналов телефонной связи

Системы передачи сигналов телефонной связи предназначены для передачи на расстояние звуковых (акустических) сообщений, создаваемых голосовыми связками и воспринимаемых органом слуха (ухом) человека. В качестве передатчиков используются устройства, которые преобразуют звуковые колебания в электрические сигналы, передаваемые на расстояние. Такие акустические преобразователи называются микрофонами.

В телефонных системах чаще всего применяются угольные микрофоны, осуществляющие преобразование звуковых колебаний в электрический ток (сигнал), параметры которого изменяются аналогично изменению параметров звукового сообщения.

Приемник в системе телефонной связи выполняет обратное преобразование электрических сигналов в звуковые колебания. Такой электроакустический преобразователь называется *телефоном*.

Для удобства телефоны и микрофоны конструктивно объединены в общий корпус, называемый *микротелефоном*.

Кроме микрофона и телефона, являющихся элементами системы, у каждого абонента имеется ряд вспомогательных устройств, необходимых для удобства подключения, вызова и сигнализации. Основные и вспомогательные элементы, которыми пользуется абонент, конструктивно составляют телефонный аппарат. Современные телефонные аппараты весьма разнообразны. Они отличаются типами микрофонов, телефонов, номеронабирателей, а также формой корпуса аппарата.

Телефонные аппараты, установленные у абонента и корреспондента, могут быть связаны между собой линией или каналом.

Каналы в системах телефонной связи образуются совокупностью технических устройств и среды распространения, обеспечивающих прохождение сигналов от одного телефонного аппарата к другому.

Система передачи, обеспечивающая связь между абонентами, находящимися на расстоянии от нескольких десятков метров до сотен тысяч километров, – сложное и дорогое сооружение. Большинство затрат (от 70 до 90 % общей стоимости) приходится на линии связи. При их проектировании и развертывании основная задача состоит в том, чтобы предусмотреть передачу максимального количества сообщений при минимальных затратах материальных средств, времени развертывания, человеческих ресурсов и т. д. Решается она с помощью многоканальных систем передачи.

Многоканальной системой передачи называется совокупность технических средств, обеспечивающих одновременную и независимую передачу сообщений от N -источников к N -получателям по одной проводной или радиолинии.

В самом общем виде n -канальная система передачи представлена на рис. 2.1. Первичные сигналы $C_1(t)$, $C_2(t)$, ..., $C_n(t)$ поступают на преобразователи Π_1 , Π_2 , ..., Π_n , где происходит образование стандартных канальных сигналов $S_1(t)$, $S_2(t)$, ..., $S_n(t)$.

Для аналитического описания этого преобразования введем в рассмотрение операторы $\Pi_i (i = 1, N)$, связывающие входные $C_i(t)$ и выходные $S_i(t)$ сигналы, и получим соотношение

$$S_i(t) = \prod_{i=1}^N [C_i(t)]. \quad (2.1)$$

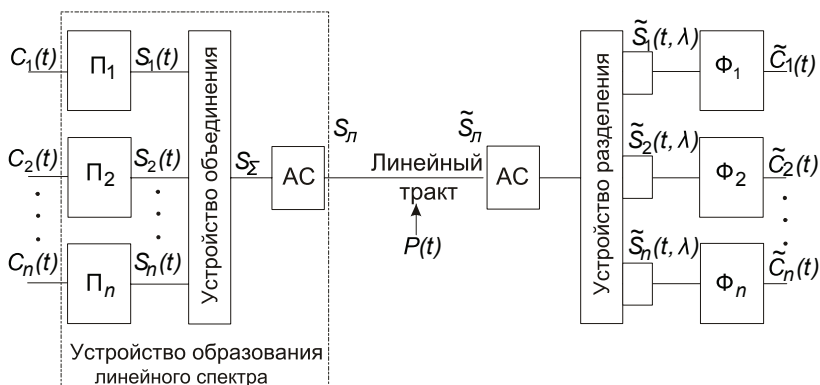


Рис. 2.1. Структурная схема многоканальной системы передачи

В процессе преобразования необходимо решить две задачи: во-первых, сформировать каналные сигналы так, чтобы в них содержались передаваемые сообщения, т. е. сведения о форме первичных сигналов, поступающих на входы каналов; во-вторых, каждый из каналных сигналов $S_i(t)$ наделить совокупностью физических признаков $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, отличающих его от остальных каналных сигналов. Эти признаки (или параметры) называются *разделительными*.

С преобразователей каналные сигналы поступают на устройство объединения, где происходит объединение в групповой сигнал S_Σ . Обозначив оператор объединения O , получим выражение

$$S_\Sigma = O \left[S_i(t, \lambda) \right]. \quad (2.2)$$

В частности, групповой сигнал можно получить суммированием каналных сигналов:

$$S_\Sigma = \sum_{i=1}^N S_i(t, \lambda). \quad (2.3)$$

Такие системы называются *аддитивными*. Системы, в которых для формирования группового сигнала применяются другие операции (не суммирование), называют *комбинационными*. В современной многоканальной связи в большинстве случаев используют аддитивные системы.

Для согласования устройства объединения (УО) с линейным трактом устанавливается аппаратура сопряжения (АС).

Линейный тракт – комплекс технических средств системы передачи, обеспечивающий передачу сигналов электросвязи в полосе частот или со скоростью, соответствующей данной системе передачи [9].

На выходе аппаратуры сопряжения формируется линейный сигнал S_n , который передается по линии передачи.

Линия передачи – совокупность линейных трактов однотипных или разнотипных систем передачи, имеющих общую среду распространения, а также общие линейные сооружения и устройства их обслуживания [9].

Линейный сигнал, проходя через элементы системы передачи, претерпевает искажения – линейные и нелинейные. Кроме того, он подвержен воздействиям преднамеренных и непреднамеренных помех. Сигнал, поступивший на вход приемной части системы, отличается от переданного. Введем следующие обозначения: $\tilde{S}(t)$ – сигнал на входе приемной части системы; L – оператор, характеризующий линейные искажения; Z – оператор, характеризующий нелинейные искажения; $P(t)$ – аддитивная помеха. Тогда принятый сигнал может быть записан в виде

$$\tilde{S}(t) = L[S(t)] + Z[S(t)] + P(t). \quad (2.4)$$

Оператор Z можно представить в различной форме, одна из наиболее часто встречающихся:

$$Z[S(t)] = a_2 \cdot S_2(t) + a_3 \cdot S_3(t) + \dots + a_n \cdot S_n(t). \quad (2.5)$$

При отсутствии нелинейных искажений все a_n равны 0 и, следовательно, $z[S(t)] = 0$.

Из АС сигнал поступает на устройство разделения (УР), где по отличительным признакам, заложенным в передающем оборудовании, происходит разделение сигнала. Обозначим через Φ операторы разделения (фильтрации) и через $\tilde{S}(t, \lambda)$ – сигналы на выходах разделителей. С учетом этих обозначений получаем следующее равенство:

$$\tilde{S}_i(t, \lambda_i) = \Phi_i[\tilde{S}(t)]. \quad (2.6)$$

После преобразователя Π_i первичный сигнал несколько искажается – $\tilde{S}_i(t)$.

Отсюда вывод: чем меньше сигнал $\tilde{S}_i(t)$ на выходе i -го канала отличается от сигнала $S_i(t)$ на его входе, тем выше качество связи. Численная оценка качества связи осуществляется по критерию достоверности, представляющему собой функционал от разности сигналов на входе и выходе канала:

$$\epsilon_i = F[S_i(t) - \tilde{S}_i(t)]. \quad (2.7)$$

Этот критерий, т. е. вид функционала F , определяется требованиями, которые предъявляются к передаче определенного вида сообщений.

Так, при передаче аналоговых (непрерывных) сообщений часто применяют критерий среднеквадратического отклонения:

$$\varepsilon_i^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [S_i(t) - \tilde{S}_i(t)]^2 dt, \quad (2.8)$$

где T – длительность сигнала.

При передаче дискретных сообщений критерием достоверности обычно служит вероятность ошибки $\varepsilon = P_{\text{ош}}$, т. е. вероятность неправильного воспроизведения переданного символа.

Аналогичный принцип построения многоканальной системы передачи реализуется и для цифровых систем.

2.1.1.2. Система передачи сигналов звукового вещания

Система передачи сигналов звукового вещания – совокупность технических устройств, обеспечивающих одновременную передачу звуковых сообщений (речи, музыки) от источника к большому числу слушателей, рассредоточенных в пространстве [10]. Организационно система звукового вещания состоит из органов формирования программ, системы передачи программ, слушателей (рис. 2.2).

Участок системы, где происходит формирование программ и производится их предварительная обработка, называется *головным звеном*. Он расположен слева от линии А–А и включает в себя часть системы, которая находится в ведении Министерства культуры Российской Федерации и акционерных обществ, работающих на коммерческих началах и находящихся под контролем государства. Здесь располагаются студии, аппаратные, устройства звукозаписи и звуковоспроизведения, репортажные устройства и вспомогательные службы. Таким образом, на участке слева от линии раздела А–А не только

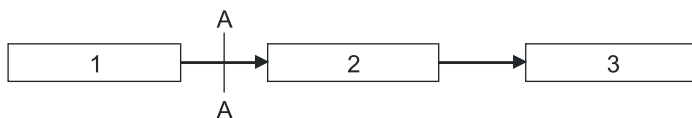


Рис. 2.2. Организационная структура системы звукового вещания:

- 1 – орган формирования программ;
- 2 – система передачи программ;
- 3 – слушатели

формируется содержание программ, но и производится преобразование звучаний программ в соответствующие электрические сигналы, подвергаемые особой обработке. Участок 2 находится в ведении Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Сформированный сигнал в электрической форме подлежит дальнейшей передаче при помощи систем передачи сигналов звукового вещания к потребителю (слушателю).

В зависимости от технических средств, используемых для передачи этого сигнала, различают системы радио- и проводного вещания. В первом случае сигналы передаются по радиоканалу, в котором средой распространения является свободное пространство. Радиоканал образуется с помощью специальных устройств, основными из которых являются радиопередатчик, передающая и приемная антенны, а также радиоприемник.

Радиопередатчик преобразует первичный низкочастотный сигнал в высокочастотный, излучаемый передающей антенной в окружающее пространство в виде электромагнитных волн. В принципе можно получить излучение при любой частоте (т. е. при любой длине волны), однако для эффективного излучения отношение линейного размера (высоты) антенны к длине волны должно быть около единицы. Для передачи низких частот без преобразования необходимы антенны очень больших размеров. Действительно, верхняя граница спектра первичного сигнала на выходе микрофона не превышает 15–20 кГц, что приводит к применению конструкций антенн, величины которых будут лежать в пределах 20–14 м (λ , $m = C/f$, Гц, где C – скорость света, равная 29 979 300 м/с). Поэтому в системах радиовещания применяются высокие частоты, позволяющие получать эффективное излучение при помощи антенн приемлемых размеров. Под воздействием поля излучения в приемной антенне возникает высокочастотный ток, характер изменения которого повторяет закон изменения высокочастотного сигнала. В радиоприемнике из высокочастотного сигнала после соответствующей обработки выделяется первичный (исходный) сигнал. Далее низкочастотный первичный сигнал преобразуется громкоговорителем в звуковое сообщение. Приемная антенна и радиоприемник вместе с громкоговорителем часто объединены в один аппарат, называемый радиоприемным устройством. В быту это устройство просто называют *радиоприемником*.

Часть обобщенной классификации радиочастотного диапазона, в котором, согласно рекомендациям международного союза по электросвязи (МСЭ), могут работать радиовещательные станции, представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Обобщенная классификация радиочастотного диапазона

Номер диапазона	Частота, Гц	Длина волны, м	Название волн
5	$(0,3-3) \cdot 10^5$	103–104	Длинные (ДВ)
6	$(0,3-3) \cdot 10^6$	102–103	Средние (СВ)
7	$(0,3-3) \cdot 10^7$	10–102	Короткие (КВ)
8	$(0,3-3) \cdot 10^8$	1–10	Ультракороткие (УКВ)

В системах проводного вещания сигналы звукового вещания доставляются к слушателям по так называемым проводным каналам, использующим в качестве среды распространения специальные направляющие устройства – проводные линии передачи. Иногда часть канала реализуется при помощи радиотехнических средств, а часть – за счет проводных. Сообщения при этом также преобразуются в сигнал с помощью микрофона, размещенного в специальном помещении – студии. Приемниками являются абонентские громкоговорители, устанавливаемые непосредственно в квартирах слушателей. Передача сигналов между микрофоном и приемником осуществляется по проводам, проходящим через специальные узлы проводного вещания.

В настоящее время существует пять программ центрального вещания:

- первая – «Радио России», основная общероссийская, информационная, общественно-политическая, познавательная и художественная;
- вторая – «Маяк», круглосуточная информационно-музыкальная;
- третья – общеобразовательная и литературно-музыкальная;
- четвертая – музыкальная;
- пятая – круглосуточная информационная, общественно-политическая и художественная;

Кроме того, в автономных республиках, краях и областях формируются программы местного вещания, для которых в крупных городах отводится до 10 ч в сутки, остальное время предоставляется программам центрального вещания.

Таким образом, Министерство культуры отвечает за формирование программ, а Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации – за дальнейшее их доведение до слушателей по физическим и радиолиниям. В точке раздела А–А производится контроль Федеральным агентством по печати и массовым коммуникациям, которое отвечает за качество передач в целом.

2.1.1.3. Система передачи сигналов факсимильной связи

Система факсимильной связи – система передачи, предназначенная для доставки неподвижного изображения, выполненного на специальных носителях определенного формата (бумаге, пленке и др.) [10]. Различные участки поверхности носителей (бланков) имеют разные коэффициенты отражения света и по-разному воспринимаются глазом. Сочетание светлых и черных участков поверхности бланка воспринимается человеком как изображение. Информационным параметром изображения является коэффициент отражения, определяемый как отношение светового потока, отраженного от участка изображения, к потоку, падающему на этот участок. Изменение коэффициента отражения при переходе от одного участка изображения к другому в общем случае имеет непрерывный характер.

Передачик системы факсимильной связи преобразует неподвижное изображение в электрический сигнал. Основным элементом передатчика является фотоэлектрический преобразователь. Для преобразования используются физические явления, происходящие в некоторых веществах под действием падающего на них светового потока: внутренний и внешний фотоэффект. Внутренний фотоэффект проявляется, например, в изменении электропроводности некоторых веществ под влиянием светового потока. Суть внешнего фотоэффекта заключается в испускании электронов некоторыми веществами под действием светового потока. Световой поток как бы выбивает электроны с поверхности некоторых материалов. Количество испускаемых электронов пропорционально интенсивности светового потока. В результате около освещенной поверхности образуется «облако» электронов. Фотоэлектрические преобразователи, использующие это явление, называются *фотоэлементами*.

Преобразование изображений в электрический сигнал с помощью фотоэлектрических преобразователей выполняется поэлементно. Для этого поверхность бланка с изображением разбивается на большое количество мелких (0,1–0,2 мм) участков, называемых элементарными площадками (рис. 2.3).

Размеры площадок выбираются с таким расчетом, чтобы отражательная способность в их пределах была однородной, т. е. характеризовалась бы одним значением

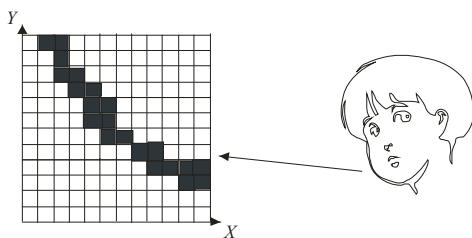


Рис. 2.3. Разложение изображения на элементарные площадки

коэффициента отражения. Элементарные площадки поочередно освещаются источником света через специальные линзы. Световой поток, отраженный от каждой площадки, собирается при помощи объектива и направляется на фотокатод фотоэлектрического преобразователя. В цепи преобразователя при этом будет протекать электрический ток, пропорциональный коэффициенту отражения площадки. Подобным образом получают сигналы поочередно от всех элементарных площадок изображения. Последовательность преобразования обеспечивается специальными развертывающими устройствами.

В результате в цепи фотоэлектрического преобразователя получается изменяющийся во времени сигнал $U(t)$. Такое поэлементное и последовательное преобразование изображения в сигнал называется *анализом изображения*, а передатчик факсимильной системы – *анализирующим устройством*.

Анализирующее устройство состоит из светооптической системы, фотоэлектрического преобразователя (ФЭП) и развертывающего устройства (рис. 2.4). Светооптическая система служит для выделения элементарных площадок изображения путем их раздельного освещения и концентрации отраженных от площадок лучей на светочувствительном элементе ФЭП. Она содержит источник света (ИС), конденсор L_1 и объектив L_2 .

С выхода ФЭП сигнал поступает в канал связи. Развертывающее устройство обеспечивает последовательность преобразования световых

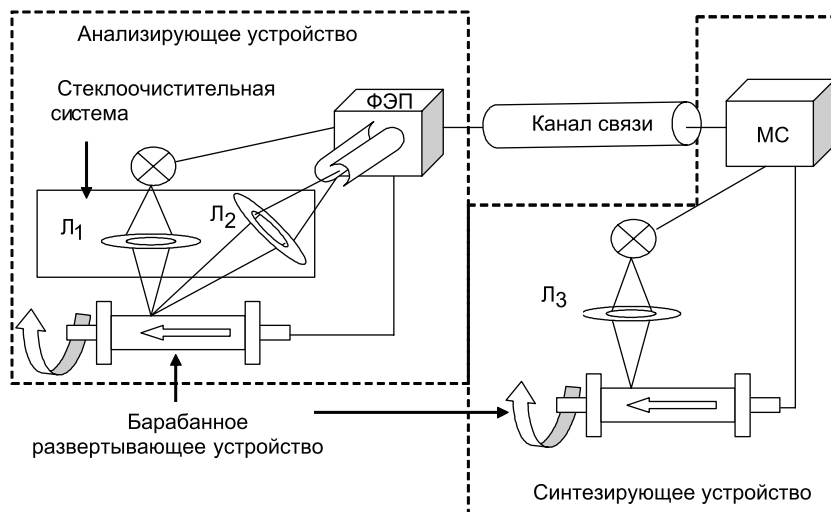


Рис. 2.4. Структурная схема факсимильной связи

потоков, отраженных от элементарных площадок изображения. На рис. 2.4 изображено развертывающее устройство барабанного типа. Бланк с изображением укрепляется на цилиндрической поверхности барабана, совершающего вращательное (вокруг оси) и поступательное (вдоль оси) движения, благодаря чему и осуществляется развертка изображения.

В современных системах факсимильной связи применяются различные способы преобразования электрического сигнала в изображение. Их можно разбить на три группы.

К первой группе относятся способы, использующие для получения изображения различного рода пишущие устройства (карандаши, перья и т. д.). При этом работой пишущего устройства управляет сигнал, обеспечивающий движение пишущего элемента и прикосновение его к определенным участкам бланка.

Вторую группу составляют способы, использующие для получения изображений различные физические или химические процессы, происходящие в структуре специальных бумаг под действием электрического тока (сигнала). При этом изменяются отражательные свойства участков бланка. Например, те участки, через которые протекал большой ток, становятся более темными.

Третья группа включает в себя способы, в которых процесс преобразования сигнала в изображение состоит из двух этапов. Вначале электрический сигнал, получаемый из канала, преобразуется в световой, который затем фиксируется на светочувствительном материале.

При всех способах воспроизведение изображений выполняется поэтапно и последовательно. Такой процесс получения изображений называется *синтезом*, а соответствующее устройство – *синтезирующим*.

На рис. 2.4 показано синтезирующее устройство, относящееся к третьей группе. Оно состоит из модулятора света (МС), объектива (Π_3) и развертывающего устройства барабанного типа. МС – это источник света, яркость которого пропорциональна величине проходящего через него тока (сигнала). Световой поток от МС собирается и фокусируется объективом на участке светочувствительного материала (фотобумаге, фотопленке и т. д.), закрепленного на поверхности барабана, который совершает движение, аналогичное движению барабана анализирующего устройства и согласованное с ним.

2.1.1.4. Система передачи сигналов телевизионного вещания

Система передачи сигналов телевизионного вещания – совокупность технических устройств, обеспечивающих доведение телевизионных программ от телецентра до одного из телезрителей [10]. У других телезрителей, конечно, «свои» аналогичные системы.

Телевидение предназначено для одновременной передачи оптических и звуковых сообщений, поэтому системы телевизионной связи содержат две подсистемы. Подсистема передачи звуковых сообщений практически не отличается от рассмотренной выше системы звукового вещания. Подсистема передачи оптических сообщений обеспечивает передачу подвижных изображений. Она, как и любая другая система электросвязи, состоит из трех основных элементов: передатчика, канала связи и приемника. Процесс преобразования подвижных изображений в сигнал и обратно не имеет принципиального отличия от процесса преобразования неподвижных изображений, но его практическая реализация существенно отличается. Эффект движения здесь, как и в кино, достигается благодаря быстрой смене неподвижных изображений (кадров). Как известно, на киноэкране за каждую секунду сменяется 24 кадра. Благодаря инерционности зрения человек не замечает моменты смены кадров, и у него создается ощущение перемещения объектов изображения. Следовательно, преобразование подвижных изображений по сравнению с преобразованием неподвижных изображений должно происходить с гораздо большей скоростью развертки. В связи с этим для преобразования подвижных изображений в сигнал и обратно применяются не механические, а электронные развертывающие устройства. Основными элементами преобразователей являются специальные электронно-лучевые трубки.

Телевизионные сигналы, как правило, передаются по радиоканалу, который содержит телевизионный радиопередатчик, передающую антенну, среду распространения радиоволн, приемную антенну и телевизионный радиоприемник (рис. 2.5).

Спектр видеосигнала достаточно широк и ограничен относительно низкими частотами ($f_{\text{max}} = 6 \text{ МГц}$), поэтому его невозможно передавать без преобразований. Преобразование видеосигнала в радиочастотный

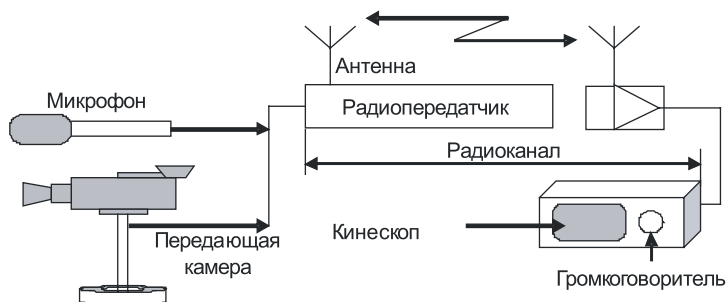


Рис. 2.5. Структурная схема системы телевизионного вещания

сигнал, способный излучаться передающей системой в окружающее пространство в виде радиоволн, осуществляется в телевизионном радиопередатчике, для чего используются несущие частоты изображения и звукового сопровождения, которые изменяются под действием видео- и звукового сигнала соответственно.

Например, для первого ТВ-канала применяются 49,75 МГц – несущая частота изображения и 56,25 МГц – несущая частота звукового сопровождения. В результате преобразования частотные границы такого канала с учетом защитных полос составят 48,5–56,5 МГц. На приемной стороне системы часть энергии радиоволн перехватывается приемной антенной, усиливается и вновь преобразуется в телевизионном радиоприемнике в видеосигнал. Для преобразования видеосигналов в сообщения используется свойство некоторых веществ светиться под воздействием падающего на них потока электронов. Такие вещества называются *люминофорами*. Яркость их свечения пропорциональна интенсивности падающего потока. Люминофоры нанесены на приемную электронно-лучевую трубку (кинескоп).

Устройства, обеспечивающие преобразование радиочастотных сигналов в электрические сигналы звуковых частот и видеосигналы, а также громкоговоритель и кинескоп конструктивно объединены в один аппарат, называемый *телевизором*.

Используемые в настоящее время системы телевизионного вещания не удовлетворяют телезрителей в полной мере, так как при близком рассмотрении ТВ-изображения на экране телевизора становится заметна строчная структура, наблюдаются искажения цвета, при высокой яркости изображения возникает мерцание строк и другие дефекты. В результате четкость ТВ-изображения значительно уступает четкости фотографии и современных кинофильмов. Ограниченные размеры экрана не обеспечивают зрителю эффекта присутствия. Для повышения качества ТВ-вещания инженеры всего мира заняты поиском новых подходов к построению его элементов. Практически все разработки, посвященные повышению качества ТВ-изображения, ведутся в трех основных направлениях:

1. Использование резервов современных ТВ-систем посредством применения дополнительной аналоговой и цифровой обработки ТВ-сигналов на передающей и приемной сторонах без изменения стандартов кодирования и передачи на передающей стороне. Это так называемое улучшение версии действующих систем, позволяющее получить ТВ-изображение повышенного качества.

2. Изменение систем передачи ТВ-сигналов по радиоканалу, позволяющее улучшить качественные показатели принимаемого изображе-

ния. При этом обеспечивается возможность приема обычным приемником изображения стандартного качества и специальным приемником изображения с повышенной четкостью.

3. Применение многострочных ТВ-систем с большим, чем у существующих стандартов, числом строк разложения и форматом кадра. Эти многострочные системы в настоящее время получили название систем телевидения высокой четкости или высокого разрешения (ТВЧ или ТВР). Система ТВЧ позволяет обеспечить ясность деталей, которые различимы в исходном сюжете при наблюдении со средней остротой зрения.

2.1.2. Системы передачи дискретных сообщений

Для передачи дискретных сообщений применяются системы телеграфной связи, передачи данных и другие. Особенностью построения таких систем сообщений является то, что в них подлежат обработке, хранению и передаче дискретные сигналы (разд. 1.1). Исходя из этой особенности и с учетом специфики задач, стоящих перед данными системами, рассмотрим более подробно каждую из них отдельно.

2.1.2.1. Система передачи сигналов телеграфной связи

Система телеграфной связи предназначена для двусторонней передачи дискретных сообщений (телеграмм). Она состоит из приемного и передающего устройств, канала связи (рис. 2.6).

Передатчик и приемник конструктивно объединяются и образуют устройство, называемое *оконечным телеграфным аппаратом*. Сле-

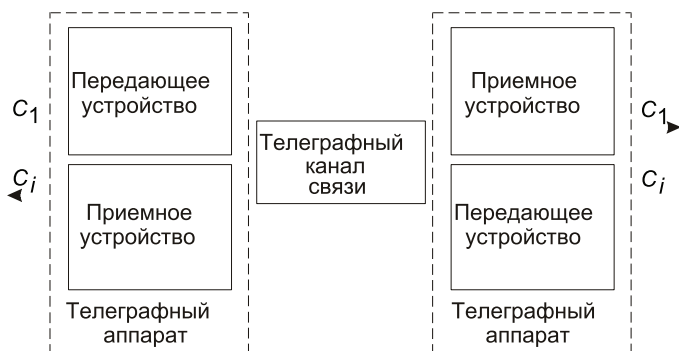


Рис. 2.6. Упрощенная структурная схема системы телеграфной связи для передачи индивидуальных сообщений: C – сообщение

довательно, телеграфная связь реализуется посредством системы, состоящей из двух оконечных телеграфных аппаратов, соединенных каналом связи.

В системах передачи дискретных сообщений используется кодовый метод преобразования сообщения в сигнал и обратно. Его смысл заключается в том, что знаки сообщения при передаче заменяются кодовыми комбинациями, составляемыми из определенных элементов. При этом каждому знаку сообщения соответствует своя комбинация.

Совокупность всех используемых комбинаций составляет телеграфный код. Старейшим и наиболее известным является код Морзе, комбинации которого составляются из двух различных элементов – точки и тире. Например, комбинация буквы Е состоит из одного элемента – точки, комбинация буквы А – из точки и тире, буквы Ш – из четырех тире и т. д. Такой код называется неравномерным.

В настоящее время наибольшее распространение получили равномерные коды, у которых длина всех кодовых комбинаций одинакова. Например, пятиэлементный код МТК-2 (международный телеграфный код) имеет 32 комбинации, что позволяет кодировать весь русский алфавит и 10 цифр (Л – 01001; О – 01111 и т. д.). Кроме пятиэлементной информационной части код имеет стартовую и стоповую посылки для синхронизации телеграфных аппаратов (рис. 2.7).

В системах передачи данных применяется международный восьмиэлементный двоичный код МТК-5, позволяющий передавать гораздо большее число различных знаков сообщений.

При использовании кодов передача сообщений сводится к передаче двух различных элементов кодовых комбинаций. Преобразование комбинации в сигнал осуществляется с помощью устройств, имеющих два устойчивых состояния. Простейшими двоичными устройствами являются контакты, последовательно замыкающие и размыкающие линейные электрические цепи. При замыкании цепи в канал подается токовый импульс, соответствующий одному элементу комбинации, например «1», а при размыкании (тока в цепи нет) – бестоковый импульс, соответствующий элементу «0». Дискретный сигнал, полученный таким



Рис. 2.7. Полная стартстопная комбинация пятиэлементного кода

образом, представляет собой комбинации токовых и бестоковых импульсов определенной длительности, последовательно передаваемых в канал связи.

Итак, процесс преобразования знаков сообщения в сигнал начинается с кодирования, в результате которого знаки заменяются кодовыми комбинациями. Затем элементы комбинации последовательно преобразуются в элементы сигнала, т. е. в импульсы тока. Эти функции выполняются специальными устройствами передающей части оконечного телеграфного аппарата.

Приемник системы телеграфной связи выполняет обратное преобразование сигнала в сообщение в следующей последовательности. Сначала элементы сигнала поочередно принимаются, преобразуются в элементы кодовой комбинации и запоминаются. Затем определяется знак, соответствующий принятой кодовой комбинации, т. е. выполняется операция, обратная кодированию и называемая *декодированием*. Процесс приема заканчивается записью знака на бумаге (перфораторной ленте). Все перечисленные операции выполняются специальными устройствами приемной части оконечных телеграфных аппаратов.

Скорость работы системы телеграфной связи определяется как техническими устройствами, так и обслуживающим персоналом и составляет 50, 100 и 200 Бод.

2.1.2.2. Система передачи данных

Система передачи данных – совокупность канала связи, аппаратуры передачи данных и оконечного оборудования данных.

Развитие систем передачи данных (СПД) связано с появлением и бурным развитием электронно-вычислительных машин. По СПД передаются сообщения, представляющие собой цифровые данные, предназначенные для обработки на ЭВМ или уже обработанные на них.

Системы передачи данных не имеют принципиальных отличий от систем телеграфной связи. В них также используется условный (кодовый) метод преобразования сообщений в сигнал и обратно, поэтому процесс передачи сообщений и устройства передатчика и приемника не отличаются от соответствующих элементов системы телеграфной связи. Вместе с тем передача данных имеет следующие особенности:

1. Требуется обеспечить высокую достоверность передаваемых сообщений, так как в отличие от телефонной и телеграфной связи оператор не может исправить ошибки по смыслу сообщения. Поэтому в подавляющем большинстве систем передачи данных предусмотрено автоматическое обнаружение и исправление ошибок, появляющихся при передаче по каналу.

2. Большие объемы данных требуют повышенных скоростей передачи. Имеет значение также время, в течение которого нужно передать сообщение. В отличие от телеграфной связи, где время передачи телеграммы составляет несколько десятков минут, данные должны передаваться за секунды, а иногда и за доли секунд. По этой причине для передачи данных определена следующая иерархия скоростей:

- низкие (50, 100, 200 бит/с);
- средние (600, 1200, 2400, 3600, 4800, 9600 бит/с);
- высокие ($1\,200\,072 \cdot i$ бит/с, где $i = 0, 1, 2, \dots$).

3. Важность технологических алгоритмов обработки данных и недопустимость больших задержек в передаче сообщений выдвигают повышенные требования к надежности системы передачи данных. Заданная надежность обеспечивается рациональным расчетом, качественным изготовлением аппаратуры и комплектующих изделий, неукоснительным выполнением правил эксплуатации.

Структурная схема одного из возможных вариантов построения СПД приведена на рис. 2.8.

СПД содержит оконечную аппаратуру (ОА), специальную аппаратуру передачи данных (АПД) и устройства согласующие (УС).

В качестве ОА в низкоскоростных системах передачи данных могут использоваться обычные телеграфные аппараты. Однако, как правило, в СПД применяются специальные высокоскоростные передатчики (трансммитеры) и приемники (реперфораторы).

АПД состоит из двух полукомплектов: передающего и приемного. Полукомплекты используются в зависимости от функций оконечных пунктов, выполняемых в процессе передачи. Если оконечный пункт передает сообщение, то работает полукомплект передачи, на приемном пункте – полукомплект приема. Поскольку функции оконечных пунктов меняются, то каждый из них имеет оба полукомплекта, конструктивно объединенных в аппаратуру передачи данных.

В АПД входят устройства защиты от ошибок (УЗО) и преобразования сигналов (УПС). Первое обеспечивает нужную степень достовер-

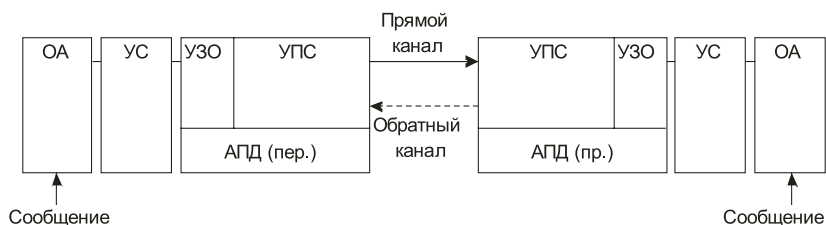


Рис. 2.8. Структурная схема системы передачи данных

ности передачи сообщений путем обнаружения и исправления ошибок, появляющихся в процессе передачи.

В настоящее время разработаны и применяются различные способы борьбы с ошибками. Наиболее простыми в реализации являются способы, основанные на повторении передачи сообщений. Если каждое из них передается несколько раз, то при анализе принятых сообщений ошибки могут быть обнаружены и устранены. При наличии между конечными пунктами одного канала связи повторение может быть только последовательным, а при наличии нескольких каналов – параллельным, т. е. одновременно по нескольким каналам. Обнаружить и исправить ошибки в обоих случаях оказывается возможным путем повторения передачи сообщений или внесения избыточной информации. В АПД применяются и другие способы борьбы с ошибками.

В качестве канала связи чаще всего используется стандартный канал тональной частоты (КТЧ) или канал тонального телеграфирования.

Устройство преобразования сигналов, имеющее также передающую и приемную части, обеспечивает согласование частотных характеристик сигналов с параметрами каналов передачи. Основным элементом передающей части УПС является модулятор, а приемной части – демодулятор. Эти устройства конструктивно объединяются под общим названием *модем*.

Согласующие устройства предназначены для согласования режимов работы оконечной аппаратуры и аппаратуры передачи данных: скорости передачи, методов фазирования, кодов и т. д.

Все элементы СПД реализуются, как правило, на электронных элементах с использованием микропроцессоров и интегральных схем.

Таким образом, современные системы передачи представляют собой комплекс сложных и разнообразных технических средств, осуществляющих преобразование, усиление и передачу сигналов электросвязи. Знание теоретических основ построения систем передачи необходимо не только для грамотной их эксплуатации, но и для проектирования линий связи.

2.1.3. Цифровые иерархии

Иерархия, рекомендованная для цифровых систем передачи, чем-то похожа на иерархию календаря. Прежде всего необходимо выбрать некоторую единицу измерения – «элементарную» скорость цифрового потока, единую для всех стран и предприятий, выпускающих аппаратуру систем передачи, и позволяющую измерять скорость суммарных

цифровых потоков. Такая единичная скорость во всем мире – 64 кбит/с. Выбор этой величины в качестве единицы объединения цифровых потоков связан, скорее, с традициями, нежели с какими-то другими соображениями.

Поскольку канал, в котором биты передаются со скоростью 64 000 цифр/с, получил название основного цифрового канала, возможности любой цифровой системы передачи оцениваются числом организованных с ее помощью именно таких стандартных каналов.

При построении цифровой иерархии учитываются следующие требования:

- возможность передачи всех видов аналоговых и дискретных сигналов;
- обеспечение как синхронного, так и асинхронного объединения, разделения и транзита цифровых потоков и сигналов в цифровом виде;
- возможность взаимодействия цифровых систем передачи с аналоговыми системами передачи и различными системами коммутации;
- выбор стандартизированных скоростей передачи цифровых потоков с учетом возможности использования цифровых и аналоговых систем передачи.

На сегодняшний день в мировой практике применяются две основные иерархии: плезиохронная и синхронная.

2.1.3.1. Плезиохронная цифровая иерархия

Плезиохронная цифровая иерархия (в англоязычном написании *Plesiochronous Digital Hierarchy – PDH*) была разработана в начале 80-х годов XX столетия. К этому времени сложились три стандарта скоростей:

- **первый стандарт** назван североамериканским (принят в США и Канаде). Скорость **первичного цифрового потока** ПЦК (или *DS1 – Digital Signal of level 1*) для него была выбрана равной 144 кбит/с, что соответствует 24 *DS0* (ОЦК).

- **второй стандарт**, принятый в Японии, использует ту же скорость первичного цифрового потока, что и североамериканский стандарт, т. е. *DS1*.

- для **третьего стандарта**, принятого в Европе и Южной Америке, скорость первичного цифрового потока была выбрана равной 2048 кбит/с. Такая скорость соответствует 32 ОЦК. Фактически используются 30 ОЦК плюс два канала синхронизации и управления со скоростью передачи 64 кбит/с.

Первый стандарт плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ) включает в себя следующую иерархическую последовательность ско-

ростей: 1544 (или $DS1$) – 6312 (или $DS2$) – 44 736 (или $DS3$) – 274 176 (или $DS4$) кбит/с (округленно: 1,5 – 6 – 45 – 274 Мбит/с). Такая последовательность соответствует ряду коэффициентов **мультиплексирования**: $n = 24$ для формирования сигнала $DS1$ из 24 сигналов $DS0$, $m = 4$ – для формирования сигнала $DS2$ из четырех сигналов $DS1$, $l = 7$ – для формирования сигнала $DS3$ из семи сигналов $DS2$ и $k = 6$ – для формирования сигнала $DS4$ из шести сигналов $DS3$. Данный стандарт ПЦИ позволяет организовать 24, 96, 672 и 4032 канала $DS0$ (или ОЦК).

Цифровые сигналы уровней $DS1$ – $DS2$ – $DS3$ – $DS4$ обычно называют первичным цифровым каналом (поток) – ПЦК (П), вторичным цифровым каналом (поток) – ВЦК (П), третичным цифровым каналом (поток) – ТЦК (П) и четверичным цифровым каналом (поток) – ЧЦК (П) первого стандарта соответственно.

Второй стандарт ПЦИ предусматривает скорость первичного цифрового канала (ПЦК) 1544 кбит/с, дает последовательность 1544 (или $DS1$) – 6312 (или $DS2$) – 32 064 (или $DSJ3$) – 97 728 (или $DSJ4$) кбит/с (ряд приближенных величин составляет 1,5 – 6 – 32 – 98 Мбит/с). Коэффициенты мультиплексирования для данного стандарта соответственно равны $n = 24$, $m = 4$, $l = 5$, $k = 3$. Указанная иерархия позволяет организовать 24, 96, 480 и 1440 каналов $DS0$ (или ОЦК). Здесь сигналы $DSJ3$ и $DSJ4$ называются цифровыми каналами (или потоками) 3-го и 4-го уровней японской ПЦИ.

Третий стандарт ПЦИ, основанный на скорости 2 048 кбит/с, обеспечивает последовательность 2048 ($E1$ – первичный цифровой канал / поток) – 8 448 ($E2$ – вторичный цифровой канал / поток) – 34 368 ($E3$ – третичный цифровой канал / поток) – 139 264 ($E4$ – четверичный цифровой канал / поток) – 564 992 ($E5$ – пятеричный цифровой канал / поток) кбит/с или приблизительно 2 – 8 – 34 – 140 – 565 Мбит/с, что соответствует коэффициентам мультиплексирования, равным $n = 30$, $m = l = k = 4$. Указанный стандарт позволяет передавать соответственно 30, 120, 480, 1 920 и 7 680 ОЦК, что обычно ассоциируется с названием цифровых систем передачи ИКМ-30, ИКМ-120, ИКМ-480 и ИКМ-1920.

Схема мультиплексирования цифровых потоков ПЦИ различных стандартов представлена на рис. 2.9.

Параллельное развитие трех различных стандартов ПЦИ сдерживало развитие глобальных телекоммуникационных сетей в мире, поэтому Международным союзом электросвязи по телекоммуникациям (МСЭ-Т) были сделаны шаги по их унификации и возможному объединению. В результате был разработан специальный стандарт, согласно которому, **во-первых**, были стандартизованы три первых уровня пер-

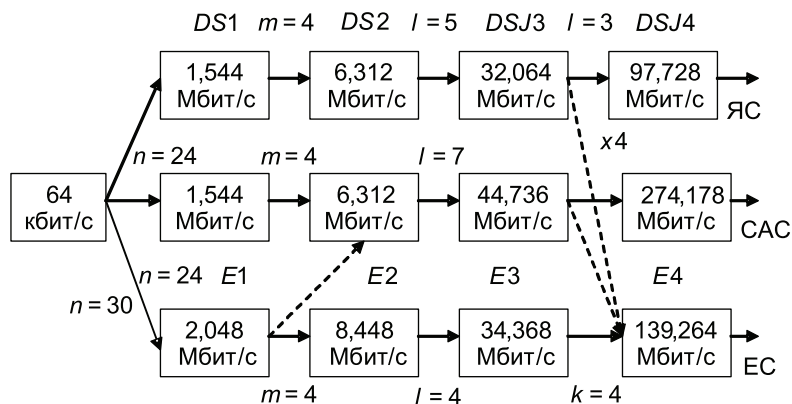


Рис. 2.9. Схема мультиплексирования (—) и кросс-мультиплексирования (---) в североамериканском (CAC), японском (ЯС) и европейском (ЕС) стандартах ПЦИ

вого стандарта ПЦИ ($DS1-DS2-DS3$), четыре уровня второго стандарта ($DS1-DS2-DSJ3-DSJ4$) и четыре уровня третьего стандарта ПЦИ ($E1-E2-E3-E4$) в качестве основных при построении цифровых систем передачи на основе ИКМ и временного разделения каналов. Кроме того, в нем указаны схемы **кросс-мультиплексирования** стандартов, например из третьего стандарта в первый (с первого на второй уровень) и обратно (с третьего на четвертый уровень); **во вторых**, была сохранена ветвь 32 064–97 728 кбит/с (округленно 32–98 Мбит/с) во втором стандарте, т. е. уровни $DSJ3$ и $DSJ4$, параллельные уровням $DS3$ в первом стандарте, и $E4$ – в третьем стандарте. Уровень $DSJ3$ фактически соответствует уровню $E3$, что облегчает кросс-мультиплексирование со второго уровня на третий.

На системы передачи ПЦИ возлагались большие надежды. Однако она оказалась очень негибкой: чтобы вводить в цифровой поток высокоскоростной или выводить из него низкоскоростные потоки, необходимо полностью «расшивать», а затем снова «сшивать» высокоскоростной поток. Это требует установки большого числа мультиплексоров и демультиплексоров. Ясно, что частое осуществление этой операции обходится дорого. На рис. 2.10 показана операция выделения потока со скоростью 2 Мбит/с из ПЦИ потока со скоростью 140 Мбит/с.

В этом случае пришлось один поток со скоростью 140 Мбит/с демультиплексировать в четыре потока со скоростями 34 Мбит/с, затем один поток в 34 Мбит/с – в четыре потока 8 Мбит/с и только после это-

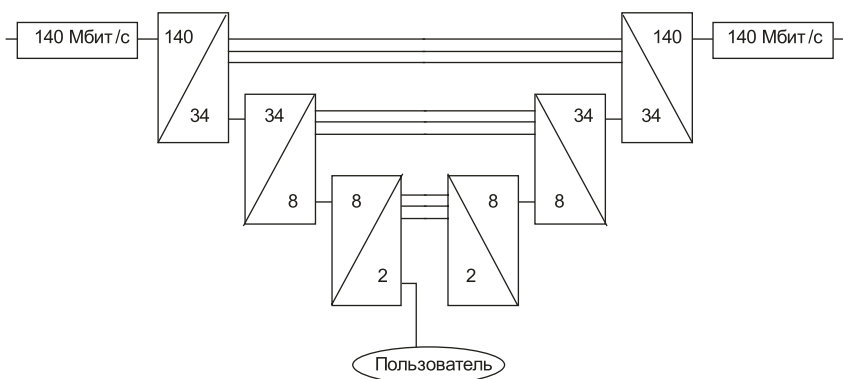


Рис. 2.10. Выделение сигнала со скоростью 2 Мбит/с из плезиохронного цифрового потока 140 Мбит/с

го «расшить» один поток 8 Мбит/с на четыре потока со скоростями 2 Мбит/с. Только таким сложным путем можно вывести или ввести поток пользователя в ПЦИ-системах передачи.

Кроме того, недостатком систем передачи плезиохронной цифровой иерархии является также то, что нарушение синхронизации в групповом сигнале более высокого уровня приводит к нарушению синхронизма во всех компонентных потоках более низкого уровня, а восстановление синхронизма при этом должно производиться последовательно от высших к низшим ступеням иерархии, что требует относительно большего времени. В настоящее время среди систем передачи ПЦИ «выживают» только системы первого уровня иерархии, снабженные новой аппаратурой так называемого гибкого мультиплексирования, которая обеспечивает:

- кроссовые соединения основных цифровых каналов 64 кбит/с;
- выделение и ввод отдельных каналов 64 кбит/с в любом наборе;
- пользовательские интерфейсы от двухпроводных окончаний для телефона до окончаний базового доступа в цифровую сеть с интеграцией услуг;
- видеоконференцсвязь и многое другое. Можно сказать, что гибкие мультиплексоры немного продлили жизнь ПЦИ-систем.

Но самое главное, что заставило уже в середине 80-х годов прошлого века искать новые подходы к построению цифровых иерархий систем передачи, – это почти полное отсутствие возможностей автоматического контроля состояния сети связи и управления ею. Без этого создать надежную сеть связи с высоким качеством обслуживания прак-

тически невозможно. Все эти факторы и побудили разработать еще одну цифровую иерархию – синхронную.

2.1.3.2. Синхронная цифровая иерархия

Синхронная цифровая иерархия (*Synchronous Digital Hierarchy – SDH*) определена в качестве международного стандарта, в котором описаны принципы построения высокоскоростной синхронной сети с временным разделением каналов и волоконно-оптическими линиями связи. Синхронная цифровая иерархия предназначена для транспортирования цифровых потоков с разными скоростями в модулях (по аналогии с контейнерными перевозками). В этой иерархии объединяются и разъединяются потоки со скоростями 155,520 Мбит/с и выше.

Для транспортирования цифрового потока с базовой скоростью 155 Мбит/с создается синхронный транспортный модуль (*Synchronous Transport Module*) STM-1. Проще всего его можно описать в виде некоторого контейнера стандартного размера, имеющего сопровождающую документацию – заголовок (поля-параметры), где собрана вся информация, необходимая для управления маршрутизацией контейнера, и внутреннюю емкость для размещения информационных символов, которые называют полезной нагрузкой. Контейнер (в литературе применяют термины кадр, модуль, прямоугольник или рамка) состоит из 9 рядов (строк) по 270 колонок каждый ($9 \times 270 = 2430$ байт) (рис. 2.11).

В контейнере первая строка заголовочной части отвечает за синхронизацию контейнера *FAS* (*Frame Alignment Signal*), во второй и третьей строках хранится информация о маршруте – заголовок регенераторного участка *RSOH* (*Regenerator Section Over Head*). С помощью секционного заголовка регенератора (*RSOH*) осуществляются восстановление потока, поврежденного помехами при передаче, и исправление ошибок в нем. В 4-й строке содержится указатель (*Pointer, PTR*), определяю-

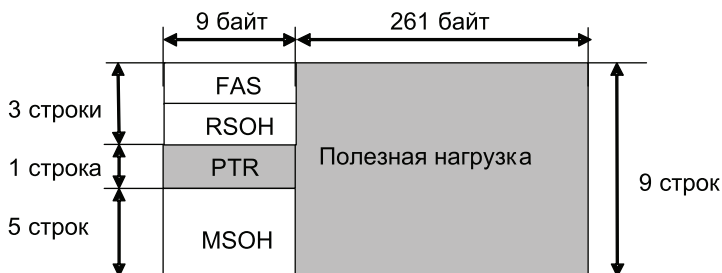


Рис. 2.11. Структура синхронного транспортного модуля уровня STM-1

щий начало записи полезной нагрузки. Нижние строки $5 \times 9 = 45$ байт (после указателя) отвечают за доставку информации в то место сети к тому мультиплексору, где этот транспортный контейнер (модуль) будет переформировываться (обрабатываться). Данная часть заголовка так и называется: секционный заголовок мультиплексора (*MSOH*).

Один цикл передачи включает в себя считывание в линию такой прямоугольной таблицы. Порядок передачи байт – слева направо, сверху вниз (так же, как при чтении текста на странице). Продолжительность цикла передачи *STM-1* составляет 125 мкс, т. е. он повторяется с частотой 8 кГц. Каждая клеточка соответствует скорости передачи $8 \text{ бит} \cdot 8 \text{ кГц} = 64 \text{ кбит/с}$. Значит, если тратить на передачу в линию каждой прямоугольной рамки 125 мкс, то за секунду в линию будет передано $9 \cdot 270 \cdot 64 = 15\,520 \text{ кбит/с}$, т. е. 155 Мбит/с.

Для создания более мощных цифровых потоков в *SDH*-системах формируется следующая скоростная иерархия (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Синхронная цифровая иерархия

Уровень иерархии	Тип синхронного транспортного модуля	Скорость передачи, Мбит/с
1	STM-1	155, 520
2	STM-4	622, 080
3	STM-16	2 488, 320
4	STM-64	9 953, 280

Четыре модуля *STM-1* объединяются путем побайтового мультиплексирования в модуль *STM-4*, передаваемый со скоростью 622,080 Мбит/с, затем четыре модуля *STM-4* – в модуль *STM-16* со скоростью передачи 2 488,320 Мбит/с.

Наконец четыре модуля *STM-16* могут быть объединены в высокоскоростной модуль *STM-64* (9 953,280 Мбит/с).

Формирование *STM-1*. При формировании модуля *STM-1* в сети *SDH* применены принципы контейнерных перевозок. Подлежащие транспортировке сигналы предварительно размещаются в стандартных контейнерах (*Container* – *C*). Все операции с контейнерами производятся независимо от их содержания, чем и достигается прозрачность сети *SDH*, т. е. способность транспортировать различные сигналы, в частности сигналы *PDH*.

Наиболее близким по скорости к первому уровню иерархии *SDH* (155,520 Мбит/с) является цифровой поток со скоростью 139,264 Мбит/с, образуемый на выходе аппаратуры плезиохронной цифровой иерархии ИКМ-1920. Его проще всего разместить в модуле

STM-1, для чего поступающий цифровой сигнал сначала «упаковывают» в контейнер (размещают на определенных позициях его цикла), который обозначается *C-4*.

Рамка контейнера *C-4* содержит 9 строк и 260 однобайтовых столбцов. Путем добавления слева еще одного столбца – маршрутного или трактового заголовка (*Path Over Head – POH*) – этот контейнер преобразуется в виртуальный контейнер *VC-4*.

Наконец, чтобы поместить виртуальный контейнер *VC-4* в модуль *STM-1*, его снабжают указателем (*PTR*), образуя таким образом административный блок *AU-4 (Administrative Unit)*, а последний помещают непосредственно в модуль *STM-1* вместе с секционным заголовком *SOH (Section Over Head)* для обработки регенераторами (*RSOH*) и мультиплексорами (*MSOH*) (рис. 2.12).

Синхронный транспортный модуль *STM-1* можно загрузить и плезиохронными потоками с одной и той же скоростью 2,048 Мбит/с. Такие потоки формируются аппаратурой ИКМ-30, они широко распространены в современных сетях. Для первоначальной «упаковки» используется контейнер *C-12*. Цифровой сигнал размещается на определенных позициях этого контейнера. Путем добавления маршрутного, или транспортного, заголовка (*POH*) образуется виртуальный контейнер *VC-12*. Виртуальные контейнеры формируются и расформируются в точках окончания трактов.

В модуле *STM-1* можно разместить 63 виртуальных контейнера *VC-12* (рис. 2.13).

При этом поступают следующим образом. Виртуальный контейнер *VC-12* снабжают указателем (*PTR*) и образуют тем самым транспортный блок *TU-12 (Tributary Unit)*. Теперь цифровые потоки разных транспортных блоков можно объединять в цифровой поток 155,520 Мбит/с. Сначала три транспортных блока *TU-12* путем мультиплексирования

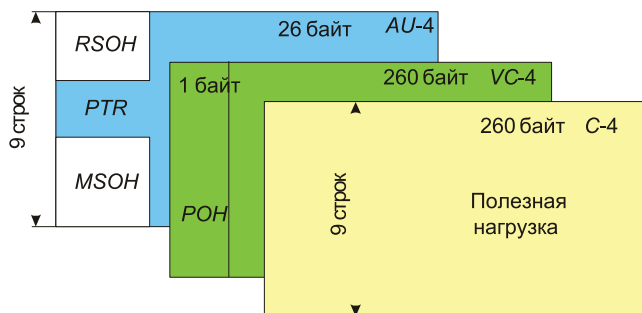


Рис. 2.12. Размещение контейнеров в модуле *STM-1*

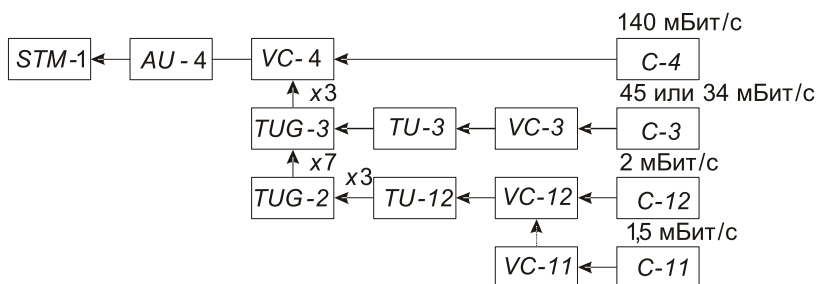


Рис. 2.13. Ввод плезиохронных цифровых потоков в синхронный транспортный модуль STM-1

объединяют в группу транспортных блоков *TUG-2* (*Tributary Unit Group*), затем семь групп *TUG-2* мультиплексируют в группы транспортных блоков *TUG-3*, а три группы *TUG-3* объединяют и помещают в виртуальный контейнер *VC-4*. Далее путь преобразований известен.

Плезиохронные цифровые потоки всех уровней размещаются в контейнерах *C*, использующих процедуры выравнивания скоростей (положительного, отрицательного и двухстороннего).

Наличие большого числа указателей (*PTR*) позволяет совершенно четко определить местонахождение в модуле *STM-1* любого цифрового потока со скоростями 2,048; 34,368 и 139,264 Мбит/с. Выпускаемые промышленностью мультиплексоры ввода-вывода (*Add/Drop Multiplexer – ADM*) позволяют ответвлять и добавлять любые цифровые потоки.

2.1.3.3. Методы асинхронной передачи

Метод асинхронной передачи (МАП в русской транскрипции или *ATM – Asynchronous Transfer Mode* – в английской) позволяет объединить возможности двух технологий – коммутации каналов и пакетов.

Основная идея *ATM* состоит в передаче любых видов трафика пакетами фиксированной длины (53 байта), называемыми ячейками (*Cells*), т. е. в создании универсальной сети передачи всех видов информации, включая мультимедиа. Согласно концепции *ATM*, в одной сети может существовать несколько виртуальных, работающих независимо подсетей, а разделение общих ресурсов достигается с помощью так называемых виртуальных путей, каждый из которых может состоять из нескольких виртуальных каналов. В одной цифровой линии доступа может быть организовано до 256 виртуальных путей, каждый из которых может включать до 2^{16} виртуальных каналов.

Ячейки содержат полезную информацию и заголовок (*Header*) (рис. 2.14). Для заголовка отводится 5 байт, для полезной информации – 48 байт.



Рис. 2.14. Структура ячейки АТМ

Цифровая информация от источников сообщений заполняет ячейки. Поскольку ячейки имеют фиксированную длину, то нет необходимости отделять их друг от друга (определять их начало и конец) с помощью служебной информации. Если у источника отсутствует потребность в передаче информации, то передаются пустые ячейки. Небольшие объемы информации, появляющиеся через большие временные интервалы, могут быть собраны для наполнения ячеек либо могут передаваться в отдельных ячейках. В последнем случае в полупустые ячейки добавляется «наполнитель». Ячейки формируются источниками по мере необходимости. В случае непрерывной передачи (речь, видеоконференция и т. п.) ячейки следуют через строго определенное время. Потоки ячеек от различных источников могут быть объединены с помощью временного мультиплексирования. Для того чтобы знать, куда направляется ячейка, в ее заголовке отводится 2 байта под идентификацию виртуального канала (*Virtual Channel Identifier – VCI*). Виртуальный канал – это фиксированный маршрут движения всех ячеек во время сеанса связи от одного пользователя к другому. Он состоит из последовательности портов коммутаторов, через которые эти ячейки проходят. Все вопросы, касающиеся особенностей управления и маршрутизации, необходимо рассматривать на более высоком – сетевом уровне. Асинхронная передача ячеек упрощает решение сетевых вопросов. Действительно, преимуществом ячеек является то, что их очень легко обрабатывать при прохождении через коммутатор. Прочитав идентификатор канала в заголовке ячейки, коммутатор переправляет ее из одного порта в другой, совершенно не задумываясь о находящейся в ячейке информации.

Технология АТМ при этом хорошо согласуется с технологией SDH: ячейки могут быть помещены в синхронный транспортный модуль STM-1, для чего они сначала «упаковываются» в виртуальный контейнер VC-4, в заголовке (*POH*) которого отмечается расположение или время начала считывания заголовков ячеек. Затем контейнер, как обычно, помещается в модуль STM-1.



2.2. Линии передачи

Существующие «линии передачи» в зависимости от используемой среды распространения сигналов подразделяются на проводные и радиолинии.

С понятием линия передачи тесно связаны такие термины как «провод», «кабель» и «линия связи». Провод – конструктивный элемент, представляющий собой проводник (проводники) той или иной конструкции в изолирующем покрытии. Кабель – законченная конструкция, состоящая из одного или нескольких проводов, заключенных в общие экранирующие, защитные и прочие покровы. Линия связи – инженерное сооружение, состоящее из проложенного по определенной географической трассе кабеля связи, при необходимости снабженная устройствами защиты от внешних влияний (грозоразрядники и т. п.), а также усилительными и регенерационными пунктами.

2.2.1. Кабельные и воздушные линии

Проводная связь – передача сообщений посредством проводных линий [2].

Проводные линии связи могут быть развернуты металлическими или волоконно-оптическими кабелями (ВОЛС). Металлические кабели по конструкции и взаимному расположению проводников подразделяются на симметричные (в зарубежной литературе их еще называют «витая пара») и коаксиальные. *Симметричный кабель* состоит из двух совершенно одинаковых в электрическом и конструктивном отношении изолированных проводников. Он может быть экранированным и неэкранированным. *Коаксиальный кабель* представляет собой два цилиндра с совмещенной осью, причем один цилиндр – сплошной внутренний проводник концентрически расположен внутри другого полого цилиндра (внешнего проводника). Проводники изолированы друг от друга диэлектрическим материалом.

Основной недостаток металлических кабелей – подверженность внешнему электромагнитному воздействию. Сущность воздействия сводится к тому, что сторонние электромагнитные поля индуцируют в цепях линий связи помехи, которые снижают качество связи, а иногда возбуждают большие токи, приводящие к разрушению линий связи и аппаратуры.

Волоконно-оптическая линия передачи представляет собой совокупность волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) и волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). ВОСП – совокупность оптических

устройств и оптических линий передачи, обеспечивающая формирование, обработку и передачу оптических сигналов. ВОЛС является физической средой распространения оптических сигналов.

ВОЛС имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с линиями связи на основе металлических кабелей. К ним относятся большая пропускная способность, слабое затухание, малые масса и габариты, высокие помехозащищенность и надежность, ничтожно малые взаимные влияния, долговечность, невысокая стоимость из-за отсутствия в конструкции цветных металлов. В ВОЛС применяют электромагнитные волны оптического и инфракрасного диапазонах с длинами волн 380–760 нм и более. Недостатки ВОЛС:

- при создании линий связи требуются высоконадежные активные элементы, преобразующие электрические сигналы в оптическое излучение и обратно, а также оптические разветвители с малым затуханием и большим ресурсом на подключение и отключение. Точность изготовления таких элементов линии связи должна быть высока, поэтому их производство дорого;

- при обрыве оптического кабеля затраты на восстановление выше, чем при использовании кабелей с металлическим проводом.

Вместе с тем преимущества ВОЛС настолько значительны, что несмотря на перечисленные недостатки, эти линии связи очень широко используются.

Средства радиорелейной, тропосферной и проводной связи применяются главным образом для строительства (развертывания) многоканальных линий между узлами связи.

Воздушные линии связи не имеют изолирующего покрытия между проводниками, роль изолятора играет слой воздуха. Проводники выполняются в основном из биметаллической сталеалюминиевой проволоки. Внутренний диаметр стальной проволоки обычно составляет 1,2–4 мм, толщина внешнего слоя меди (алюминия) – 0,04–0,2 мм. Проволока подвешивается на деревянных или железобетонных опорах с помощью фарфоровых изоляторов.

Число каналов, которое можно организовать на воздушных линиях связи, незначительно, а надежность и качество этих каналов, как правило, не высоки. Воздушные линии связи используются прежде всего на местных и частично на зонах сетей.

Затухание стальных воздушных цепей велико и очень быстро растет с увеличением частоты, а также при повышении влажности и особенно при отложении изморози на проводах. Сильное увеличение затухания наблюдается на частотах свыше 30 кГц. Исходя из этого, стальные цепи используются в диапазоне частот от 3 до 30 кГц.

Затухание биметаллических и цепей из цветного металла значительно меньше, чем стальных цепей, поэтому воздушные биметаллические и медные цепи используются в диапазоне частот приблизительно до 150 кГц. В более высоком диапазоне частот начинает сказываться влияние метеорологических условий и других внешних помех. Необходимо особо отметить то, что на воздушных линиях имеют место переходные помехи от параллельно работающих цепей. В связи с этим на воздушных линиях связи, как правило, применяются двухполосные двухпроводные системы передачи. Таким образом, на стальных цепях можно организовать три двухсторонних канала протяженностью около 200 км.

На территории России еще встречаются находящиеся в эксплуатации многоканальные системы передачи В-3-3 и В-12 соответственно на 3 и 12 каналов.

2.2.2. Радиолинии

Идея беспроводной связи впервые зародилась в XIX веке. Вплотную к ней подошли такие ученые, как Г. Герц, О. Лодж, Э. Бранли. В 1892 г. английский ученый Уильям Крукс теоретически доказал возможность и описал принципы радиосвязи. В 1893 г. сербский ученый Никола Тесла в США продемонстрировал передачу сигналов на расстояние. Тогда это событие не вызвало должного резонанса по двум причинам: во-первых, открытие опережало время, общество не было еще готово к нему; во-вторых, Н. Тесла занимался передачей энергии, а не сигнала.

С 1878 г. над проблемой беспроводной связи работал преподаватель морской школы в Кронштадте Александр Степанович Попов. В 1884 г. он изобрел первую приемную антенну, создал прибор для регистрации грозных разрядов на основе когерера – стеклянной трубки, заполненной металлическими опилками. Первая публичная демонстрация этого прибора состоялась 24 марта 1896 г. на заседании Российского физико-химического общества. А.С. Попов передал на расстояние 250 м, возможно, первую в мире радиограмму, состоящую из двух слов «Генрих Герц».

С 1894 г. успешно проводил эксперименты итальянский двадцатилетний юноша Гульельмо Маркони, будущий Нобелевский лауреат. В 1895 г. он установил связь на расстоянии около двух миль, в 1896 г. запатентовал свое изобретение (в 1943 г. его патенты были аннулированы в пользу Н. Тесла), в 1901 г. установил связь через Атлантиду.

В 1906 г. Ли де Форест создал первую электронную лампу (триод), после чего появилась возможность строить электронные усилители сигналов. Радиосвязь получила следующий толчок в своем развитии.

С 20-х годов XX в. началось коммерческое использование радиосвязи.

Радиосвязь – это электросвязь, осуществляемая посредством радиоволн [8]. Передача сигналов в естественных условиях от передающего устройства к приемному происходит в пространстве, образующем довольно сложную по своим параметрам среду. При распространении радиоволн по таким естественным радиотрассам (радиолиниям) средой служат поверхность и атмосфера Земли или космическое пространство.

Земная поверхность оказывает существенное влияние на распространение радиоволн: в полупроводящей поверхности Земли радиоволны поглощаются; при падении на земную поверхность они отражаются, при встрече с препятствием радиоволны дифрагируют на сферической поверхности земного шара. Радиоволны, распространяющиеся в непосредственной близости (в масштабе длины волны) от поверхности Земли, будем называть *земными радиоволнами*. При теоретическом рассмотрении условий распространения земных радиоволн атмосферу обычно считают сначала непоглощающей средой с относительными диэлектрической и магнитной проницаемостями, равными единице, а затем вносят необходимые поправки.

В окружающей земной шар атмосфере различают две большие области, отличающиеся своими электрическими свойствами: *нейтросферу* и *ионосферу* (рис. 2.15).

Нейтросфера занимает нижний, наиболее плотный слой атмосферы толщиной около 60 км. Она состоит из нейтральных молекул атмосферных газов и делится на *тропосферу* и *стратосферу*. Тропосфера – приземный слой нейтросферы, простирающийся до высоты 10–15 км. Она неоднородна как в вертикальном направлении, так и вдоль земной поверхности, кроме того, ее электрические параметры меняются при изменении метеорологических условий. Тропосфера обуславливает распространение так называемых *тропосферных волн*, которое связано с явлением рассеяния и отражения радиоволн от неоднородностей тропосферы.



Рис. 2.15. Строение атмосферы Земли

Стратосфера представляет собой более однородную и менее изменчивую среду. Поскольку плотность газа в атмосфере уменьшается в зависимости от высот, относительная диэлектрическая проницаемость в стратосфере близка к единице, а значит, и эта область оказывает меньшее влияние на распространение радиоволн, чем тропосфера.

Ионосферой называется область атмосферы на высоте 60–20 000 км над земной поверхностью. На этих высотах плотность газа весьма мала и газ частично или полностью ионизирован. В этой области число свободных электронов меняется в зависимости от высот и составляет 10^3 – 10^6 эл./см³. Присутствие свободных электронов существенно влияет на электрические свойства газа и обуславливает рефракцию и отражение радиоволн в ионосфере. Вследствие рефракции и отражения в ионосфере радиоволны распространяются на очень большие расстояния. Радиоволны, распространяющиеся путем отражения от ионосферы или рассеяния в ней, будем называть *ионосферными волнами*. На условия распространения ионосферных волн свойства земной поверхности и тропосферы влияют мало.

На расстояниях в 3–4 радиуса земного шара атмосфера Земли переходит в межпланетную плазму, газ в которой полностью ионизирован, плотность электронов равна плотности положительно заряженных частиц и составляет 10–100 эл./см³.

К радиоволнам относят электромагнитные колебания, распространяющиеся в среде без искусственных направляющих сред (линий). Их частота превышает 30 кГц, не достигая 3 000 ГГц,

Скорость распространения электромагнитной волны

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}, \quad (2.9)$$

где c – скорость распространения света в вакууме; ε – диэлектрическая, μ – магнитная проницаемость среды. Для воздуха $\varepsilon = \mu = 1$, а скорость распространения электромагнитных волн близка к скорости света в вакууме, т. е. $v = 3 \cdot 10^8$ м/с. Электромагнитные волны создаются источником периодически изменяющейся ЭДС с периодом T .

Если в некоторый момент электромагнитное поле (ЭМП) имело максимальное значение, то такое же значение оно будет иметь спустя время T . За это время ЭМП переместится на расстояние

$$\lambda = v \cdot T. \quad (2.10)$$

Следовательно, ток, колеблющийся с частотой, например 300 000 Гц, создает электромагнитную волну длиной 1 км, а с частотой 300 000 000 Гц – 1 м.

В зависимости от длины рабочей волны влияние одной и той же среды на распространение радиоволн проявляется по-разному. Радиоволны в зависимости от частоты их колебаний используются на радиолиниях различного назначения. В связи с этим для удобства выбора модели трассы радиолинии радиоволны делят на диапазоны (табл. 2.3). Радиоволны каждого диапазона имеют свои особенности распространения.

Таблица 2.3

Классификация радиоволн по диапазонам частот

№ диапазона (название)	Наименование диапазона волн	Границы диапазона		Области применения
4 (ОНЧ)	Мириаметровые (сверхдлинные)	От 100 до 10 км	От 3 до 30 кГц	Радионавигация, радиотелеграфная связь, передача метеосводок
5 (НЧ)	Километровые (длинные)	От 10 до 1 км	От 30 до 300 кГц	Радиотелеграфная и радиотелефонная связь, радиовещание, радионавигация
6 (СЧ)	Гектометровые (средние)	От 1 000 до 100 м	От 300 до 3 000 кГц	Радиовещание; радиотелеграфная, радиотелефонная и радиолюбительская связь, космическая радиосвязь и др.
7 (ВЧ)	Декаметровые (короткие)	От 100 до 10 м	От 3 до 30 МГц	Радиовещание, телевидение, радиолокация, космическая радиосвязь, радиоподвижная связь
8 (ОВЧ)	Метровые (ультракороткие)	От 10 м до 1 м	От 30 до 300 МГц	Телевидение, радиолокация, радиорелейная, спутниковая, космическая и радиоподвижная связь
9 (УВЧ)	Дециметровые (ультракороткие)	От 100 до 10 см	От 300 до 3 000 МГц	Радиолокация, радиорелейная связь, астрорадионавигация и др.
10 (СВЧ)	Сантиметровые (ультракороткие)	От 10 до 1 см	От 3 до 30 ГГц	Радиолокация и др.
11 (КВЧ)	Миллиметровые	От 10 до 1 мм	От 30 до 300 ГГц	Радиолокация и др.

Радиосистема передачи, в которой используется отражение декаметровых волн от ионосферы (поворот траектории распространения радиоволны), называется ионосферной системой передачи на декаметровых волнах. Траектория распространения радиоволн от одной точки на поверхности Земли составляет около 2 000 км и может быть образована несколькими ионосферными скачками. Качество радиосвязи зависит от состояния ионосферы, определяемого временем года, суток и циклом солнечной активности. Кроме того, для нее характерны многолучевое распространение радиоволн за счет отражения от различных слоев ионосферы и интерференция лучей в точке приема.

Ионосферные системы передачи на декаметровых волнах не позволяют организовать большое число каналов. Обычно их количество не превышает одного-двух телефонных или нескольких телеграфных (слуховых или буквопечатающих).

Радиосистема передачи, в которой используется рассеяние метровых волн на неоднородностях ионосферы (на высоте 75–90 км), называется ионосферной системой передачи на метровых волнах. Предельная дальность радиосвязи на метровых волнах 2 000–3 000 км на частотах 40–70 МГц. При ионосферном рассеянии в пункты приема приходит незначительная часть излучаемой энергии, что требует большой мощности на передатчике и больших по размеру антенн. Такие системы передачи позволяют организовать до трех телефонных каналов с удовлетворительным качеством.

Одним из основных недостатков КВ-радиосистем передачи является неустойчивость их работы, связанная с зависимостью отражающих способностей ионосферы от состояния солнечной активности, времени суток и года.

Системы передачи, работающие в ультракоротковолновом диапазоне, свободны от таких недостатков. В ультракоротковолновом диапазоне частот размещаются радиоволны длиной от 10 м до 0,3 мм, которые разделяются на метровые, деци-, санти- и миллиметровые.

Ультракороткие волны (УКВ) не отражаются от ионосферы и почти не поглощаются ею. Из-за прямолинейного характера распространения ультракоротковолновых волн связь на них возможна только до тех пор, пока антенна приемника «видит» антенну передатчика. Если на пути волны встречаются препятствия (лес, высотные дома, горы и т. п.), то связь невозможна.

Первая радиолиния на ультракоротковолновых волнах вступила в строй в 1935 г. между Нью-Йорком и Филадельфией. Ее протяженность составляла 150 км. Чтобы перекрыть такое расстояние, через 50 и 100 км были построены две промежуточные релейные станции, которые при-

нимали ослабленные радиоволны, замещали их новыми и посылали дальше. Сама радиоперелиния была названа радиорелейной.

Радиорелейная связь – наземная радиосвязь, основанная на многократной ретрансляции сигналов с помощью цепочки приемопередающих станций на дециметровых и более коротких радиоволнах.

Радиорелейная линия (РРЛ) – многоканальная линия радио-связи, в которой информация передается последовательно от одной приемопередающей станции к другой, причем все соседние станции находятся в пределах прямой видимости. Антенны радиорелейных станций устанавливаются на высоких мачтах и обычно удалены друг от друга на расстояние 40–70 км. В гористой местности расстояние между станциями может сокращаться до 20–30 км. Максимальная протяженность наземной гипотетической линии может составлять 10 тыс. км и более.

Первая радиорелейная линия в нашей стране была построена в 1953 г. между Москвой и Рязанью. Однако еще в начале 30-х годов советские инженеры М.И. Греков и В.М. Большеверов провели опыты по направленной радиосвязи на дециметровых волнах между Москвой и Люберцами.

К основным особенностям связи в УКВ-диапазоне прежде всего можно отнести возможность использования большой частотной емкости, которая значительно превосходит частотную емкость всех остальных вместе взятых диапазонов: длинных, средних и коротких волн. Если учесть, что каждый телефонный канал с учетом необходимых защитных промежутков занимает полосу 4,2 кГц, то в УКВ-диапазоне от 30 до 30 000 МГц (исключая миллиметровые волны) можно разместить более 7 млн телефонных каналов.

Необходимо подчеркнуть, что для создания многоканальных систем передачи диапазоны коротких и средних, а тем более длинных волн совершенно непригодны. Это вытекает из того, что воспроизведение широкополосных передач без искажений возможно лишь в том случае, когда несущая частота намного больше (не менее чем в 10 раз) модулирующей частоты. Если ширина полосы частот составляет 5 МГц (1200 телефонных каналов), несущая частота должна быть не меньше 50 МГц. Построить такие широкополосные системы передачи можно только в УКВ-диапазоне.

Другая важная особенность связи в УКВ-диапазоне – это низкий уровень помех и то, что она может быть организована только в условиях прямой видимости между антеннами, излучающими радиоволны. Малый уровень помех в УКВ-диапазоне позволяет реализовать высокую чувствительность приемников и тем самым повысить дальность и надежность связи.

Следующая особенность связи в УКВ-диапазоне – возможность создания направленных антенн, что позволяет повысить дальность связи или уменьшить мощность передающих устройств.

К недостаткам УКВ-диапазона следует отнести сравнительно ограниченную дальность распространения радиоволн, что приводит к необходимости применения радиорелейных систем для обеспечения дальних связей. Вместе с тем обязательное условие прямой видимости между станциями играет и положительную роль, так как именно за счет невозможности свободного распространения радиоволн на большие расстояния устраняются взаимные помехи между радиорелейными станциями на ограниченной территории. Кроме того, в указанных диапазонах практически отсутствуют атмосферные и промышленные помехи.

Современная радиорелейная линия состоит из двух основных и цепочки промежуточных радиорелейных станций (рис. 2.16).

Каждая станция представляет собой совокупность приемника, передатчика и высокоподнятой антенны (башни с антеннами). Оконечные станции устанавливаются в двух крайних точках РРЛ. В состав промежуточных и узловых станций включены два идентичных комплекта приемопередающего оборудования с антеннами, что обеспечивает возможность транзитной пересылки трафика с выделением лишь служебных каналов. На узловых станциях дополнительно установлен комплект аппаратуры уплотнения и разделения каналов, позволяющий ответвлять часть трафика, а вместо него добавлять новые каналы.

Аналоговые радиорелейные станции предназначены в основном для передачи многоканальных телефонных сигналов в аналоговой форме и данных с низкой скоростью по каналам ТЧ, а также сигналов телевидения. Цифровые радиорелейные станции используются для ор-

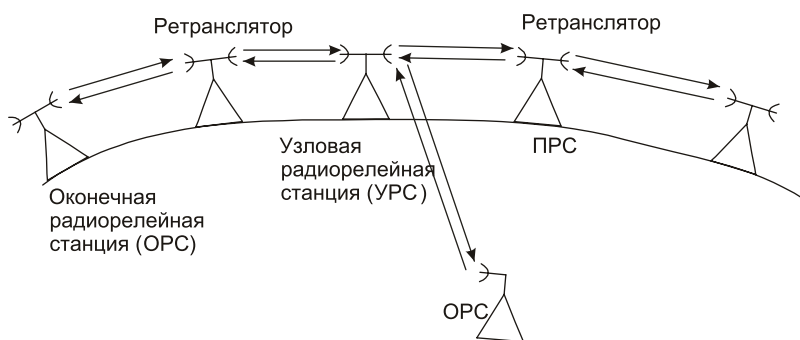


Рис. 2.16. Гипотетическая структура РРЛ

ганизации цифровых трактов передачи сигналов со скоростями от 2 до 155 Мбит/с.

Строительство радиорелейных линий большой протяженности связано со значительными затратами сил и средств связи. Открытие дальнего тропосферного распространения в 1949–1950 гг. является одним из важнейших достижений в области связи. Первые линии тропосферной связи были введены в эксплуатацию в 1953 г.

Тропосферная связь – радиосвязь, использующая рассеяние и отражение радиоволн в нижней области тропосферы [21]. В этой среде всегда есть локальные объемные неоднородности, вызванные различными физическими процессами, происходящими в ней. Волны диапазона 0,3–5 ГГц способны рассеиваться этими неоднородностями и отражаться в сторону точки приема (рис. 2.17).

Учитывая, что неоднородности находятся на значительной высоте, рассеянные ими радиоволны могут распространяться на сотни километров. Это дает возможность установления связи на расстояние более 120 км, что значительно больше расстояния прямой видимости. Тропосферные линии применяются на осях, рокадах сети связи, а также самостоятельно в качестве линий прямой связи.

Вследствие большого ослабления сигналов в тропосферной линии связи используются мощные передатчики и направленные антенны с большим коэффициентом усиления. Дальность связи в дециметровом диапазоне частот обычно не превышает 800 км, а в сантиметровом – 400 км.

Разновидностью радиорелейных линий являются спутниковые линии передачи, в которых ретранслятор связи находится на искусственном спутнике земли (ИСЗ). На земле строятся (развертываются) оконечные станции с параболическими антеннами и устройствами наведения на антенну спутника.

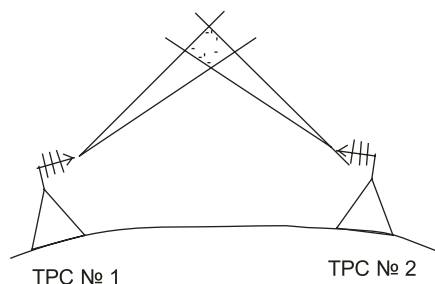


Рис. 2.17. Принцип тропосферной связи

2.2.3. Линии спутниковой связи

Спутниковая связь – космическая радиосвязь между земными станциями, осуществляемая посредством ретрансляции радиосигналов через один или несколько искусственных спутников Земли [8].

Космическая радиосвязь – радиосвязь, в которой используется одна или несколько космических радиостанций, или один или несколько отражающих спутников, или другие космические объекты [8].

Линия спутниковой связи – линия передачи между земными станциями с помощью одного ИСЗ – на каждом направлении включает в себя участок Земля – спутник (линия «вверх») и участок спутник – Земля (линия «вниз»). Земные станции соединяются с узлами коммутации сети связи (например телефонной сети связи общего пользования), с источниками и потребителями программ телевидения, звукового вещания и т. д. (рис. 2.18).

Искусственный спутник Земли (ИСЗ) может находиться на геостационарной или эллиптической орбите.

Примером ИСЗ, находящегося на геостационарной орбите, служит аппарат «Молния» с периодом обращения 12 ч, наклоном 63° , высотой апогея над северным полушарием 40 000 км. Движение ИСЗ в области апогея замедляется, при этом длительность радиовидимости составляет 6–8 ч. Преимуществом данного типа ИСЗ является большой размер зоны обслуживания.

Эллиптическая или круговая орбита (КО) имеет период обращения ИСЗ 24 ч, располагается в плоскости экватора на высоте 38 875 км от поверхности Земли. Достоинства КО: зона обслуживания составляет около трети земной поверхности, трех спутников достаточно для почти

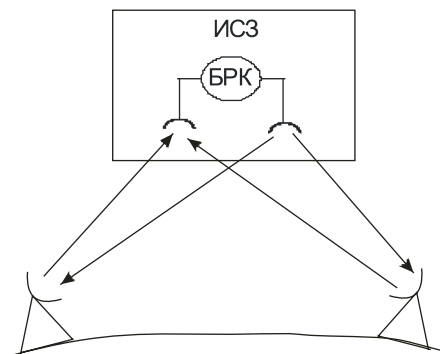


Рис. 2.18. Линия спутниковой связи

глобальной связи, антенны земных станций практически не требуют систем слежения. Однако следует учитывать, что в северных широтах ИСЗ «виден» под малыми углами к горизонту и вовсе не виден в приполярных областях.

Диапазоны рабочих частот спутниковой связи регламентированы МСЭ, различны для участков Земля – ИСЗ и ИСЗ – Земля и лежат в пределах 2–40 ГГц.

Система спутниковой связи – многоуровневая совокупность линий связи (включающих земные станции, среду распространения, спутниковые ретрансляторы), создаваемая с использованием ракетно-космического комплекса, орбитальной группировки космических аппаратов, вспомогательных подсистем и синтезируемая по определенным критериям в виде распределенной функциональной структуры со множеством параметров, находящихся во взаимосвязи и определяющих показатели назначения, качества, эффективности системы, а также предоставляемые пользователю услуги [27].

Системы спутниковой связи могут быть:

- *международными*, создаваемыми усилиями нескольких государств, имеющими глобальную зону обслуживания и функционирующими в их интересах для организации региональных и национальных сетей спутниковой связи. Примером международных систем спутниковой связи могут служить Интелсат, Интерспутник, Инмарсат;

- *региональными*, создаваемыми для обеспечения спутниковой связью группы государств, которые географически близко расположены или образуют административное или культурное сообщество. Примером региональных систем спутниковой связи являются Арабсат (Лига арабских государств), Телекс-Х (Швеция, Норвегия, Финляндия);

- *национальными*, создаваемыми для обеспечения спутниковой связью территории одной страны в условиях, когда спутниковая связь способна конкурировать с наземными системами связи. Примером национальной системы спутниковой связи можно назвать отечественные системы «Орбита», «Экран», «Москва», созданные для предоставления услуг связи и распределения телевизионных программ;

- *ведомственными*, создаваемыми в интересах конкретного ведомства (военная система спутниковой связи, система спутниковой связи ФСО России, МЧС, МВД России, Центробанка России, РАО Газпром).

Как правило, в отдельно взятой стране из-за значительных экономических затрат на создание и содержание множества отдельных систем спутниковой связи создается одна – Единая система спутниковой связи (ЕССС). С помощью элементов ЕССС развертываются и функционируют специализированные системы спутниковой связи различного назна-

чения (коммерческие, военные, правительственные) и множество других космических систем (фотонаблюдения, спутниковой навигации, исследования космического пространства, технологического управления, метеорологии). Единая система спутниковой связи с помощью специализированных систем выполняет задачи государственного значения:

- поддержание обороноспособности страны;
- обеспечение функционирования экономики;
- проведение фундаментальных научных исследований;
- предоставление различных услуг связи населению одной или нескольких стран;
- обеспечение процесса управления государством со стороны высших должностных лиц.

Обобщенная структура системы спутниковой связи в соответствии с данным выше определением представлена на рис. 2.19.

В ее состав входят три основных элемента:

- ракетно-космический комплекс (РКК);
- наземный автоматизированный комплекс управления космическими аппаратами (НАКУ КА);
- службы спутниковой связи (ССС).

Ракетно-космический комплекс (РКК) обеспечивает проектирование, производство и запуск на орбиту спутников связи. В состав РКК входят:

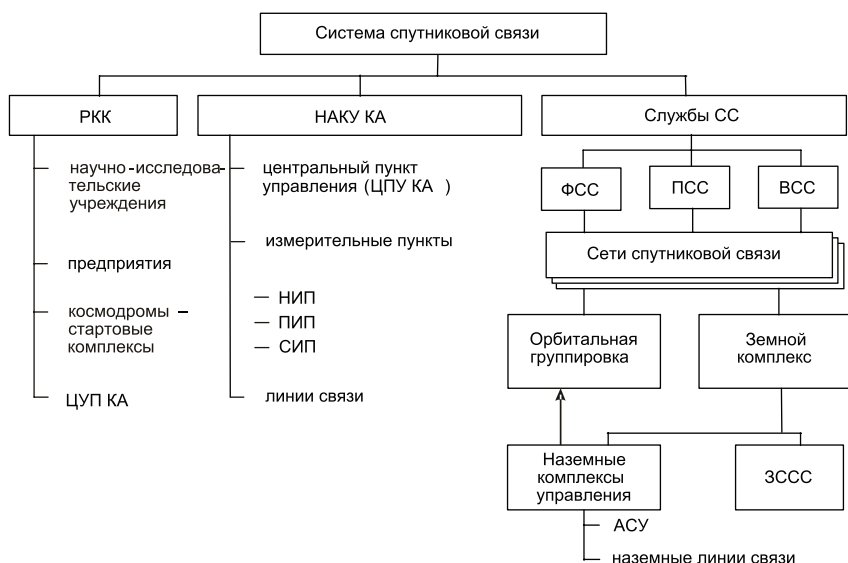


Рис. 2.19. Структура системы спутниковой связи

- научно-исследовательские учреждения (НИУ), занимающиеся разработкой и производством КА и БРК;
- промышленные предприятия, специализирующиеся на производстве КА и БРК;
- космодромы со стартовыми комплексами, предназначенными для запуска КА на орбиты различных видов;
- ракеты-носители различного класса и БРК КА;
- центр управления полетом КА (ЦУП КА).

Наземный автоматизированный комплекс управления космическими аппаратами (НАКУ КА) предназначен для управления КА в полете в течение всего жизненного цикла с помощью командных радиолиний, приема и обработки телеметрической информации о состоянии различных систем ИСЗ, проведения траекторных измерений, осуществления коррекции орбиты ИСЗ, управления бортовым ретрансляционным комплексом. В состав НАКУ КА входят:

- центральный пункт управления (ЦПУ) КА, осуществляющий координацию работы сети измерительных пунктов;
- территориально распределенные измерительные пункты (наземные измерительные пункты (НИП), плавучие измерительные пункты (ПИП), самолетные измерительные пункты (СИП)), обеспечивающие сбор информации о траектории полета и техническом состоянии каждого КА;
- линии связи, соединяющие ЦПУ с измерительными пунктами.

Результаты траекторных измерений и контроля технического состояния КА через ЦПУ передаются в ЦУП, где эти данные используются при планировании спутниковой связи

Службы спутниковой связи предоставляют услуги спутниковой связи различным потребителям через сети спутниковой связи.

В соответствии с регламентом радиосвязи в зависимости от типов земных станций и назначения систем различают следующие службы радиосвязи:

- фиксированная спутниковая служба (ФСС) – служба радио-связи между ЗС, расположенными в определенных, фиксированных пунктах, при использовании одного или нескольких спутников;
- подвижная спутниковая служба (ПСС) – служба радиосвязи между подвижными ЗС (или между подвижными и фиксированными ЗС) с участием одного или нескольких ИСЗ (в зависимости от места установки подвижной ЗС различают сухопутную, морскую, воздушную подвижные спутниковые службы);
- радиовещательная спутниковая служба (РСС) – служба радиосвязи, в которой сигналы ИСЗ предназначены для непосредственного приема населением.

Система спутниковой связи может предоставлять услуги спутниковой связи в рамках службы или нескольких служб одновременно. В ней в рамках одной службы спутниковой связи могут функционировать одна или несколько сетей спутниковой связи.

В составе каждой сети спутниковой связи можно выделить:

- орбитальную группировку, состоящую из одного или нескольких КА;
- комплекс земных станций (центральных, узловых, оконечных, абонентских);
- комплекс управления, состоящий из станций контроля и управления (СКУ), станций мониторинга (СМ) или контрольных станций, служебных линий связи.

Преимуществами систем спутниковой связи являются большая пропускная способность, глобальность действия и высокое качество связи.

С целью предоставления услуг спутниковой связи создаются системы, службы и сети спутниковой связи.



2.3. Сети электросвязи, их классификация

2.3.1. Понятие о сети электросвязи и ее составных частях

В настоящее время каждый человек пользуется теми или иными услугами электросвязи: слушает радио, смотрит телевизионные передачи, разговаривает по телефону, отправляет и получает телеграммы и т. д. В любом случае услуга электросвязи заключается в передаче сообщения на расстояние. Отправителями (источниками) и получателями (потребителями) сообщений являются люди или устройства, ими обслуживаемые, например ЭВМ. Для передачи каждого сообщения необходимы средства электросвязи или совокупность определенных технических устройств, образующих систему электросвязи. Систем электросвязи, а следовательно, и технических средств требуется очень много, поскольку речь идет о возможности предоставления услуг электросвязи всем желающим. Например, каждый радиослушатель пользуется «своей» системой электросвязи, состоящей из многих различных устройств формирования, усиления, передачи и воспроизведения сигналов. Количество подобных систем равно числу индивидуальных радиоприемников. В рассматриваемом примере передаваемое звуковое сообщение предназначено одновременно большому

числу слушателей, поэтому передающая часть таких систем будет для них общей. Аналогичная ситуация имеет место в телевидении, где количество «индивидуальных» систем электросвязи для передачи и приема телевизионных программ определяется числом телевизионных приемников. Для каждого телефонного разговора также необходима система электросвязи, обеспечивающая передачу и прием речевых сообщений.

Очевидно, что таких систем может быть большое множество, они могут быть различны по номенклатуре применяемых устройств и технологий, виду передаваемых сигналов, скорости передачи, объему предоставляемых услуг, но все они характеризуются наличием каналов электросвязи.

Создание системы для любого вида электросвязи предполагает организацию канала электросвязи между пунктами передачи и приема сообщения и подключение к нему конечных абонентских устройств. Совокупность этих каналов образует сеть электросвязи, где функции подключения определенных абонентских устройств выполняет специальная аппаратура коммутации, позволяющая образовать тракт для передачи электрических сигналов.

Таким образом, сеть электросвязи представляет собой совокупность конечных устройств, коммутационных центров и связывающих их линий и каналов связи, объединенных единой целью функционирования [7, 31].

В сеть электросвязи входят:

- пользователи (абоненты, клиенты), являющиеся источниками и потребителями информации, создающие и воспринимающие потоки сообщений и, как правило, определяющие требования по доставке и обработке информации, выбору вида связи (телефонной, телеграфной, вещания и т. п.) и получению различных услуг (видов обслуживания) с соблюдением определенного качества, пользователи потребляют услуги связи и оплачивают их;

- пункты связи:

- а) абонентские (АП), содержащие аппаратуру ввода и вывода информации в сеть электросвязи (а иногда хранения и обработки), находящиеся в постоянном пользовании определенного абонента,

- б) информационного обслуживания (ПАО) – справочные службы, различные вычислительные центры (ВЦ), банки данных, библиотеки и другие пункты коллективного пользования, обеспечивающие сбор, обработку, хранение и выдачу информации и предоставление пользователям других услуг, связанных с информационным обеспечением;

- каналы связи, объединенные в линии связи, которые обеспечивают передачу сообщений между отдельными пунктами сети;

– сетевые станции, обеспечивающие образование и предоставление вторичным сетям типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, а также их транзит [31];

– узлы:

а) сетевые (СУ), обеспечивающие образование и перераспределение сетевых трактов, типовых каналов передачи и типовых физических цепей, а также предоставление их вторичным сетям и потребителям [31],

б) коммутационные узлы (КУ) для распределения (переключения) каналов, пакетов или сообщений;

– система управления, обеспечивающая нормальное функционирование и развитие сети электросвязи и взаимоотношения с пользователями.

С точки зрения системного анализа сеть электросвязи можно представить тремя уровнями (рис. 2.20):

– первый – внешний уровень, включающий абонентов (клиентов), АП и ПИО, в пределах которого проходит формирование сообщений для передачи в сети электросвязи;

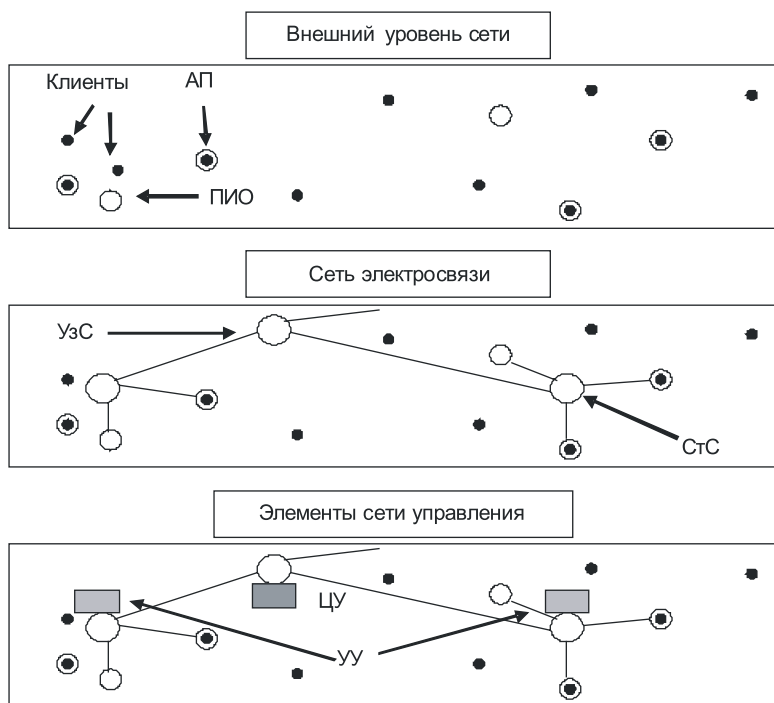


Рис. 2.20. Гипотетическая трехуровневая структура сети связи

– второй – собственно сеть электросвязи, включающая линии связи (ЛС), каналы связи (КС), станции связи (СтС) и узлы связи (УзС), обеспечивающие передачу, распределение и коммутацию сообщений между АП (ПИО) абонентов и корреспондентов;

– третий – элементы управления сетью, включающие устройства управления (УУ) узлов, центры управления (ЦУ) и всю администрацию.

Рассмотрим более подробно элементы сети и их свойства. Пользователи распределены по территории в соответствии с расположением хозяйственных, промышленных и других производственных объектов, объектов культуры и жилого фонда. Плотность пользователей (их число на 1 км² площади) меняется в значительных пределах и является наибольшей в крупных городах.

Экономические, культурные, личные и другие связи между отдельными пользователями и их коллективами, предприятиями и районами страны определяют потребность в доставке сообщений между оконечными (ОП) или абонентскими пунктами, обслуживающими соответствующих пользователей, а также между узлами, объединяющими абонентские пункты (АП) какого-либо населенного пункта или района (региона). Потребность в доставке сообщений может быть оценена потоками сообщений в единицу времени и выражена в битах, числе знаков (букв, цифр), телеграмм, страниц и других показателях, характеризующих объем сообщения. На практике удобнее определять потребность в доставке сообщения временем передачи, временем занятия типового канала или необходимым числом каналов.

Исходя из местоположения пользователей и создаваемых ими нагрузок, определяются местоположения оконечных пунктов, которые могут содержать аппаратуру ввода и вывода информации (телефонные или телеграфные аппараты, радиоприемники, телевизоры, дисплеи, датчики и т. п.). Эти пункты также могут включать в себя различные устройства для хранения и обработки информации, коммутационные устройства, если к ОП подключено несколько каналов, а также каналообразующую аппаратуру. Оконечный пункт характеризуется типом аппаратуры ввода и вывода (видом связи: телефон, телеграф и т. п.), наличием обслуживающего персонала и дополнительного оборудования, пропускной способностью, временем действия, стоимостью и областью обслуживания (индивидуальный абонент, квартира, предприятие, город и т. д.). Оконечный пункт, обслуживающий одного абонента, называют *абонентским пунктом*.

Пункты информационного обслуживания разделяются по их назначению (справочная телефонов, бюро заказов билетов, информационный по какой-либо отрасли, вычислительный центр (ВЦ), обрабатывающий экономическую информацию, и т. п.). В зависимости от объемов

передаваемой информации ПИО может иметь один или несколько каналов, соединяющих его с сетью электросвязи, а также у него могут быть прямые абоненты или выносные ОП, соединенные с ним прямыми каналами. В сети ПИО могут рассматриваться как источники информации (ИИ) и потребители информации (ПИ), а так и элементы сети, поскольку создаваемые ими потоки сообщений циркулируют только по сети.

Распределение информации (сообщений) осуществляется двумя способами: на сетевых узлах кроссированием (долговременным соединением) отдельных каналов или линейных трактов для образования прямых каналов между несмежными пунктами, а на коммутационных узлах – в соответствии с адресом каждого сообщения.

Линии связи (кабельные, радиорелейные, радио-, спутниковые и т. д.), по которым передаются сообщения, характеризуются емкостью V (числом каналов ТЧ) или суммарной пропускной способностью всех каналов. Разделение каналов в линии может осуществляться по пространству (в разных парах), частоте или времени. Основной особенностью линий связи является то, что увеличение их пропускной способности (емкости) приводит к снижению затрат на один канал связи обратно пропорционально корню квадратному от емкости. При укрупнении пучков каналов выигрыш получается не только за счет снижения затрат на каналы, но и вследствие того, что при объединении нагрузок повышается степень использования каналов и станционного оборудования.

Совокупность пучков, узлов и соединяющих их линий (каналов) образует структуру (конфигурацию) сети, указывающую на возможность осуществления связи между отдельными пунктами и возможные пути передачи сообщений. Для увеличения надежности сеть строится так, чтобы между отдельными узлами было несколько (обычно 2 или 3) независимых путей.

Система управления сетью обеспечивает поддержание в рабочем (исправном) состоянии технических средств, доставку сообщений по адресу, распределение каналов между вторичными сетями (потребителями) и их регулирование, распределение, а также управление сетью как подсистемой народного хозяйства, включая планирование и развитие сети, строительство, материально-техническое обеспечение, подготовку кадров, регулирование отношений с пользователями.

2.3.2. Классификация сетей электросвязи

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество сетей связи, различающихся по нескольким признакам, одни из которых определяют место этих сетей в системе связи, другие – принципы их

построения и характер функционирования, третьи – экономический или иного рода эффект, получаемый от их применения. Чем больше классификационных признаков используется при описании конкретной сети связи, тем более полно эта сеть может быть охарактеризована.

В литературе [25, 29] сети связи классифицируются по назначению, характеру образования и выделения каналов, типам коммутации, степени подвижности элементов сети, уровню автоматизации. Рассмотрим более подробно классификационные признаки сетей связи (рис. 2.21).

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

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



Рис. 2.21. Классификация сетей связи

При построении сетей связи ограниченного пользования реализуются специфические требования, обусловленные характером деятельности того или иного ведомства, в интересах которого создается данная сеть, а также предусматривается возможность выхода абонентов в сеть общего пользования.

Сеть внутренней связи развертывается на пункте управления (ПУ) и обеспечивает обмен сообщениями между абонентами данного пункта управления [22]. Основными элементами данной сети являются коммутационные центры внутренней связи (КЦВС), связывающие их соединительные линии (СЛ), абонентские оконечные устройства и абонентские линии (рис. 2.22, а).

Сеть дальней связи относится к одной системе связи, развертывается на территории функционирования данной системы и обеспечивает обмен сообщениями между абонентами различных пунктов управления [21] (рис. 2.22, б).

Коммутационные центры дальней связи (КЦДС), расположенные на различных ПУ, связываются каналами дальней связи, а размещенные на одном ПУ – соединительными линиями. Совокупность КЦДС, размещенных на одном ПУ, и связывающих их СЛ называется подсетью дальней связи данного ПУ. На сети дальней связи (ДС) широко применяются транзитные КЦ (ТКЦ) без абонентской емкости. Их местонахождение, как правило, не связано с расположением ПУ. Совокупность таких ТКЦ и связывающих их линий (каналов) связи образует опорную сеть связи (ОСС). ОСС часто разбивается на участки, называемые зонами опорной сети связи. Коммутационные центры дальней связи, расположенные

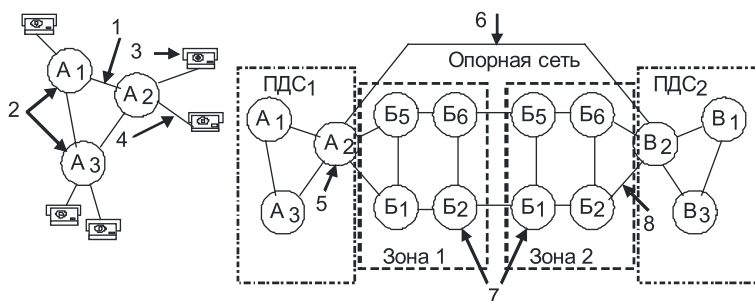


Рис. 2.22. Варианты структур сети связи:

- а – сеть внутренней связи; б – сеть дальней связи;
- 1 – соединительные линии; 2 – коммутационные центры внутренней связи;
- 3 – абонентские оконечные устройства; 4 – абонентские линии;
- 5 – коммутационный центр дальней связи; 6 – канал дальней связи;
- 7 – транзитный коммутационный центр; 8 – линии привязки

на пунктах управления, связываются с транзитными коммутационными центрами опорной сети одной или несколькими линиями привязки. Если на одном пункте управления функционируют одновременно несколько коммутационных центров, то они образуют подсеть дальней связи (ПДС).

Совокупность оконечных устройств (ОУ) и абонентских линий (АЛ), включенных в один КЦ внутренней или дальней связи, образует абонентскую сеть данного КЦ, совокупность ОУ и АЛ на ПУ – абонентскую сеть данного ПУ.

По характеру образования и выделения каналов связи сети связи подразделяются на первичные и вторичные [8].

Первичная сеть – совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи [17]. При этом под типовой физической цепью (типовым каналом) понимается физическая цепь (канал передачи), параметры которой (которого) соответствуют принятым нормам [17].

Сетевой тракт – типовой групповой тракт или несколько последовательно соединенных типовых групповых трактов с включенной на входе и выходе аппаратурой образования тракта [17].

Вторичная сеть связи – совокупность линий и каналов вторичной сети, образованных на базе первичной сети, станций и узлов коммутации или станций и узлов переключений, обеспечивающих определенный вид связи [17]. Фрагмент взаимосвязи первичной и вторичной сетей показан на рис. 2.23.

По виду обеспечиваемой связи сети могут быть телефонными, телеграфными, передачи данных и т. п.

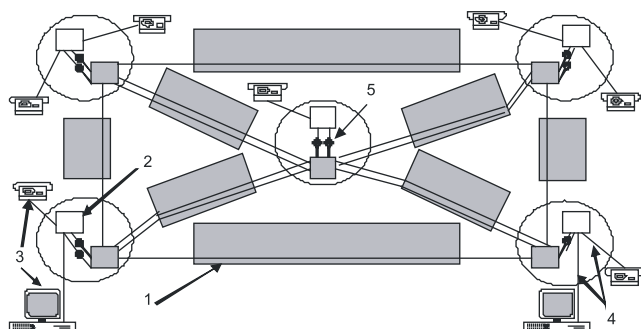


Рис. 2.23. Схема взаимосвязи первичной и вторичной сетей:
1 – системы передачи первичной сети, 2 – узлы коммутации вторичных сетей,
3 – оконечные пункты вторичных сетей, 4 – абонентские каналы или линии,
5 – точки, обозначающие границы первичной сети

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

Способ построения сети определяется принятой системой коммутации: долговременной, оперативной или их сочетанием.

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

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

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

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

Сочетание оперативной и долговременной коммутации предполагает то, что на одних участках информационного направления сети связи может применяться долговременная коммутация, а на других – оперативная.

К некоммутируемым сетям связи относятся вторичные сети, обеспечивающие долговременные (постоянные и временные) соединения оконечных устройств (терминалов) через канал электросвязи с помощью станций и узлов переключений [17]. К некоммутируемым сетям можно отнести опорную сеть связи.

Коммутируемая сеть связи – это вторичная сеть, обеспечивающая соединение по запросу абонента или в соответствии с заданной программой через канал электросвязи оконечных устройств вторичной сети при помощи коммутационных станций и узлов коммутации на время передачи сообщений [17]. Каналы передачи в коммутируемых сетях являются каналами общего пользования.

На частично коммутируемых сетях связи предусматривается использование всех систем долговременной и оперативной коммутации. Реально существующие и проектируемые на ближайшую перспективу сети связи относятся к классу частично коммутируемых.

По оборудованию и условиям размещения сети связи подразделяются на *мобильные* и *стационарные*. Под мобильными понимаются сети связи, элементы которых (КЦ, линейные средства связи) размещаются на транспортной базе и могут перемещаться. Одним из распространенных типов мобильных сетей является полевая сеть связи военного назначения. Стационарные сети связи создают на базе узлов связи, размещенных в стационарных сооружениях. В состав стационарных сетей при необходимости могут включаться подвижные элементы, например при замене на короткое время вышедших из строя стационарных эле-

ментов, временном расположении абонентов на подвижных объектах, необходимости временного усиления определенных элементов сети.

По степени автоматизации сети связи делятся на *неавтоматизированные*, *автоматизированные* и *автоматические*. На неавтоматизированных сетях связи все или подавляющее большинство основных операций выполняется человеком. Автоматизированными называются сети, в которых подавляющее число функций по выполнению определенного объема операций осуществляется техническим устройством. Такие сети оцениваются по степени автоматизации, которая определяется коэффициентом K_a , равным отношению объема операций, выполняемых техническими устройствами, к общему объему выполняемых операций:

$$K_a = \frac{n_a}{n_s}, \quad (2.11)$$

где n_s – общий объем операций, выполняемых за определенное время; n_a – количество операций, выполняемых автоматами. Возможно определение подобного коэффициента по времени:

$$K_a^t = \frac{t_a}{t_s}, \quad (2.12)$$

где t_a – суммарное время выполнения операций техническими устройствами в течение определенного периода; t_s – суммарное время выполнения всех операций.

Также может использоваться показатель эффекта введения автоматов

$$K_a^э = \frac{t_n + t_a}{t_n}, \quad (2.13)$$

где t_n – суммарное время выполнения операций за определенный период на неавтоматизированной сети соответственно.

Автоматические сети предусматривают выполнение всех функций по передаче и коммутации сообщений автоматами.

В настоящее время на сетях общего пользования из-за того, что 60 % оборудования КЦ не отвечает требованиям ЕСЭ России, применяются смешанные сети связи.

По обслуживаемой территории сети связи разделяют на местные (сельские, городские), междугородные, международные, внутрипроизводственные.

Местная сеть связи – сеть электросвязи, образуемая в пределах административной или определенной по иному принципу территории,

не относящаяся к региональным сетям связи; местные сети подразделяются на сельские и городские [31].

Сельская сеть связи – сеть связи, обеспечивающая телефонную связь на территории сельских административных районов [31].

Городская сеть связи – сеть, которая обслуживает потребности большого города. Функция городской сети – работа в качестве базовой магистрали для связи локальных сетей всего города [31].

Междугородная сеть связи – сеть связи, обеспечивающая связь между абонентами, находящимися на территории разных субъектов РФ или разных административных районов одного субъекта РФ (кроме районов в составе города) [20].

Международная сеть связи – совокупность международных станций и соединяющих их каналов, обеспечивающая международной связью абонентов различных национальных сетей [20].

Внутрипроизводственные сети – сети связи предприятий, учреждений и организаций, создаваемые для управления внутрипроизводственной деятельностью, которые не имеют выхода на сеть связи общего пользования [31].

По охвату территории сети бывают локальными, корпоративными, сельскими, городскими, местными, внутриобластными, междугородными (магистральными для первичной сети), национальными, международными, глобальными (территориальными), смешанными.

Локальная сеть связи – сеть связи, расположенная в пределах некоторой территории (предприятие, фирма и т. д.) [31].

Корпоративная сеть связи – сеть связи, объединяющая сети отдельных предприятий (фирм, организаций, акционерных обществ и т. п.) в масштабе как одного, так и нескольких государств [31].

Внутриобластная, или зонавая, сеть связи – междугородная сеть электросвязи в пределах территории одного или нескольких субъектов Федерации [31].

Магистральная сеть связи – междугородная сеть электросвязи между центром Российской Федерации и центрами субъектов Федерации, а также между центрами субъектов Федерации [31].

Национальная сеть связи – сеть связи данной страны, обеспечивающая связь между абонентами внутри этой страны и выход на международную сеть [31].

Глобальная (территориальная) сеть связи объединяет сети, расположенные в разных географических областях земного шара [31]. Одним из примеров такой сети может быть Internet.

По роду связи (используемой аппаратуре) сети могут быть подразделены на проводные (кабельные, воздушные, волоконно-опти-

ческие) и радиосети (радиорелейные, тропосферные, спутниковые, метеорные, ионосферные и т. п.).

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

По виду передаваемой информации различают аналоговые, цифровые и смешанные сети связи. Смешанные сети функционируют при переходе от аналоговых сетей связи к цифровым, проходя аналого-цифровой и цифроаналоговый этапы эволюционного развития.

По степени защищенности. По этому признаку сети связи делятся на незащищенные (сети телефонной, телеграфной связи и т. д.) и защищенные (сети засекреченной телефонной, засекреченной телеграфной связи и т. д.). В свою очередь, в защищенных сетях может использоваться аппаратура гарантированной и временной стойкости.



2.4. Принципы построения сетей электросвязи и способы коммутации, осуществляемые в них

2.4.1. Принципы построения сетей электросвязи

Сети связи охватывают огромное число различных технических устройств, расположенных на большой территории. Телефонная сеть, например, объединяет миллионы телефонных аппаратов, десятки тысяч километров линий связи, большое количество каналовобразующей и коммутационной аппаратуры и много другого специального оборудования, расположенного на территории всей страны. Сотни тысяч телеграфных аппаратов и множество различного оборудования объединяет телеграфная сеть, также охватывающая всю территорию страны. Масштабы сети передачи данных и факсимильной связи значительно меньше.

К сетям связи предъявляются определенные требования. Важнейшим из них является предъявляемое пользователями (абонентами): сеть должна обеспечить каждому абоненту возможность в удобное для него время связаться с любым другим абонентом и передать определенное сообщение. Для выполнения этого требования сеть должна быть построена по определенным принципам (основным, руководящим правилам): каждый с каждым, радиальный, узловой, радиально-узловой [5].

Принцип построения «каждый с каждым» проиллюстрирован на рис. 2.24, а. Сеть строится таким образом, чтобы каждый пункт связи

(А) был связан соединительными линиями непосредственно с любым другим пунктом. В пунктах связи сети размещаются оконечные абонентские устройства систем электросвязи, поэтому эти пункты называются *оконечными*, или *абонентскими*. Соединительные линии играют роль каналов электросвязи между оконечными устройствами. Каждый абонент такой сети имеет постоянную и прямую связь со всеми другими абонентами. Сеть, построенная по принципу «каждый с каждым», надежна, отличается оперативностью и высоким качеством передачи сообщений. Однако на практике она применяется только при небольшом числе абонентов. Объясняется это тем, что с ростом числа абонентских пунктов быстро растет количество и суммарная длина соединительных линий связи. В результате сеть становится громоздкой, а ее стоимость – непомерно высокой.

Сеть связи, построенная по *узловому (звездообразному)* принципу (рис. 2.24, б), состоит из множества абонентских пунктов (А) и одного узлового пункта (С). На оконечных пунктах установлены абонентские устройства, а на узловом – станция коммутации, к которой с помощью АЛ подключается аппаратура каждого оконечного пункта.

Станция коммутации представляет собой совокупность устройств, выполняющих электрическое соединение абонентских линий. Каждое соединение позволяет создать систему электросвязи для передачи сообщений между соответствующими абонентами.

Радиальный принцип построения сети (рис. 2.24, в, г) используется при ограниченном числе оконечных пунктов, расположенных на небольшой территории. Если число абонентов велико или они рассредоточены на большой территории, то из-за увеличения средней длины абонентских линий стоимость линейных сооружений резко возрастает.

На рис. 2.24, г приведена схема построения сети, имеющей четыре станции коммутации ($C_1 - C_2$), к каждой из которых с помощью абонентских линий подключены абонентские аппараты близко расположенных абонентов. Аппарат каждого абонента является оконечным пунктом связи и подключен только к одной станции. Все станции соединены между собой соединительными линиями. Структура сети позволяет устанавливать соединения между любыми абонентами через одну или две станции. Подобную структуру имеют, например, сети многих городов, если число абонентов в них (емкость сети) не превышает 80–90 тыс. При этом число станций не превышает десяти.

Телефонные сети крупных городов обычно имеют несколько групп телефонных станций, подобных рассмотренной. Каждая группа станций обслуживает определенный район города, называемый *узловым*. При этом связь между абонентами разных узловых районов осуществля-

ется через специальные узлы. На рисунке 2.24, д приведена одна из возможных схем построения сети с двумя узловыми районами. С целью упрощения рисунка не показаны абонентские пункты сети, связанные со станциями по узловому принципу. Телефонные станции внутри каждого узлового района связаны по принципу «каждый с каждым». Связь между узловыми районами происходит через специальные станции – узлы исходящих УИС- и входящих УВС-сообщений. Такой принцип построения сетей электросвязи получил название *радиально-узловой*.

Сети документальной связи (сети передачи данных, телеграфные, факсимильные) строятся по радиально-узловому принципу с учетом административно-территориального деления страны, обеспечивающему наименьшую стоимость создания сети и высокую эффективность использования сложных и дорогостоящих средств электросвязи.

При построении отдельных сетей можно выделить два основных организационно-технических принципа: образование прямых связей и использование базовой коммутируемой сети.

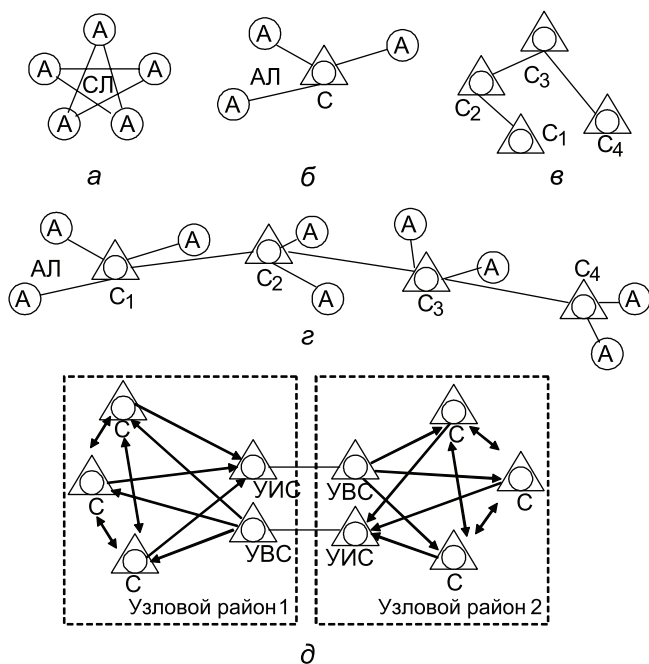


Рис. 2.24. Принципы построения сетей связи
 а – каждый с каждым; б – узловой (звездообразный);
 в, г – радиальный; в – радиально-узловой

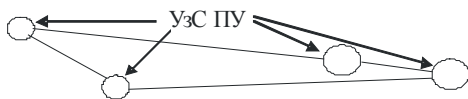


Рис. 2. 25. Гипотетическая структура сети связи, образованной линиями прямой связи

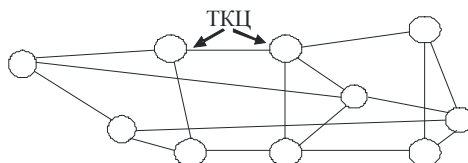


Рис. 2. 26. Гипотетическая структура сети связи, образованной с использованием базовой коммутируемой сети

Образование прямых связей предполагает образование линий связи непосредственно между пунктами управления, на которых располагаются коммутационные центры (рис. 2.25).

Особенностью принципа построения с использованием базовой коммутируемой сети связи является применение в сети кроме конечных КЦ еще одного типа КЦ – транзитного, территориально и функционально не связанного с пунктами управления (рис. 2.26).

Эти транзитные КЦ, осуществляющие оперативную коммутацию каналов, сообщений или (и) пакетов, которые связаны между собой ветвями и образуют базовую коммутируемую сеть.

Таким образом, сети, предназначенные для передачи индивидуальных сообщений, строятся в основном по радиально-узловому принципу, обеспечивающему наименьшую стоимость создания сети и высокую эффективность использования сложных и дорогостоящих средств электросвязи.

Более подробно вышеизложенные принципы будут рассмотрены в пятой и шестой главах пособия.

2.4.2. Способы коммутации в сетях связи

Классификация способов коммутации

Коммутация – процесс создания последовательного соединения функциональных единиц, каналов передачи или каналов связи на то время, которое требуется для транспортировки сигналов.

При передаче сообщений используются следующие основные способы коммутации: коммутация каналов (КК), коммутация сообщений (КС), коммутация пакетов (КП), гибридная коммутация (ГК) (рис. 2.27).

Коммутация каналов представляет собой способ коммутации, при котором обеспечивается временное соединение каналов на различных



Рис. 2.27. Классификация способов коммутации

участках сети для образования прямого канала между любой парой абонентских пунктов этой сети.

Коммутация каналов применяется, как правило, на аналоговых или односкоростных цифровых сетях связи. На таких сетях осуществляется статическое распределение сетевого ресурса или применяется фиксированная полоса пропускания, выделенная для передачи информации. При этом задержка сообщений минимальная и определяется только временем установления соединения.

Данный способ считается недостаточно гибким и на его основе практически невозможно построить мультисервисную цифровую сеть с большим набором скоростей.

В цифровых сетях связи разновидностью классической КК являются способы многоскоростной (МКК) и быстрой коммутации каналов (БКК).

Способ многоскоростной коммутации каналов является более динамичным по сравнению с обычной коммутацией каналов. При этом способе канал с минимальной скоростью передачи выбирается как базовый; путем объединения базовых каналов формируется набор каналов с различными скоростями, кратными базовой. В качестве базовой могут быть выбраны, например, скорости 8 или 64 кбит/с. Затем в зависимости от требований пользователю представляется тот или иной составной канал.

При осуществлении быстрой или многоскоростной коммутации оптимально используются возможности полупроводниковых элементов коммутационного устройства, когда в любой момент времени канал обмена будет представлять собой комбинацию нескольких каналов с базовой скоростью.

Особенностью многоскоростной коммутации является предоставление канала по требованию в паузах речевого сигнала. Динамическое

распределение полосы пропускания увеличивает эффективность сети связи, но при перегрузках часть речевых отрезков теряется. Кроме того, при реализации БКК и МКК полоса результирующего канала должна быть кратна полосе базового канала.

Коммутация сообщений – способ коммутации, при котором в каждой системе коммутации производится прием сообщения, его накопление и последующая передача в соответствии с адресом.

При применении различных способов коммутации сообщений используется накопление сообщения (или его части) в памяти центров коммутации, поэтому сообщение из оконечных пунктов сети связи передается в центр коммутации сообщений (ЦКС), затем в другой центр и т. д., пока сообщение не достигнет того, с которым непосредственно связан оконечный пункт сети связи (ОПСС). Подобная поэтапная передача сообщения позволяет получить ряд положительных свойств для сети связи, что приводит к преимущественному использованию способа коммутации сообщений в современных сетях связи. В настоящее время существует несколько вариантов этого способа коммутации. Основными из них являются полный переприем сообщений и коммутация пакетов. В первом случае в центрах коммутации осуществляется переприем полного сообщения, во втором – лишь его части (пакета), что обеспечивает получение ряда преимуществ, которые будут рассмотрены далее.

Коммутация пакетов – способ коммутации, при котором сообщение делится на части определенного формата – пакеты, принимаемые, накапливаемые и передаваемые как самостоятельные сообщения по принципу, принятому для коммутации сообщений.

Каждому пакету присваивается адрес сообщения, а в ряде случаев – признак принадлежности его сообщению и порядковый номер в нем. Если все пакеты одного сообщения передаются по единому пути (по одному виртуальному каналу), то режим коммутации называется *виртуальным*, если же каждый пакет передается по самостоятельному пути – *датаграммным*.

Виртуальный канал – это логический канал, проходящий через телекоммуникационную сеть [16].

Способ коммутации пакетов соответствует механизму полностью динамического распределения сетевого ресурса или переменной полосы пропускания, изменяющейся в зависимости от требования абонентов. Однако при этом имеют место случайные задержки информации. Способ КП является наиболее приемлемым для передачи данных, особенно при пачечной структуре трафика. *Трафик* – совокупность сообщений, передаваемых по сети электросвязи [11].

Следует отметить, что наряду со случайной задержкой информации применение способа КП связано и с другой проблемой – сложностью протоколов.

Одной из разновидностей КП является способ быстрой коммутации пакетов (БКП), основанный на более простых протоколах. Так же как и в обычной КП, в сети с БКП организуются виртуальные каналы, и информация в заголовке пакета определяет, какой из каналов должен быть использован для передачи пакета. Для реализации БКП требуется строить сеть связи на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС), включая и абонентскую сеть, что обеспечивает большие скорости передачи сообщений и малые значения вероятности ошибки. Кроме того, в сетях с БКП технически проще реализовать узлы коммутации по сравнению с сетями с КП.

Рассмотрим подробнее процедуры передачи сообщения между оконечными пунктами отправителя (О) и получателя (П) при применении различных способов коммутации на примере использования фрагмента сети связи, содержащей шесть центров коммутации, соединенных каналами связи или линиями. Каждый центр коммутации имеет входные и выходные линии (рис. 2.28).

Коммутация каналов. Сущность способа коммутации каналов (КК) при передаче сообщений заключается в следующем. В момент времени t_1 (рис. 2.29) от ОПСС отправителя сообщения в центр коммутации ЦК₁ поступает заявка на соединение с оконечным пунктом сети связи (ОПСС) получателя. В течение времени установления соединения t_{yc} производится установление соединения в ЦК₁, как показано пунктирными линиями, затем передается сигнал C_1 в ЦК₂, где также устанавливается соединение. Процедура продолжается до тех пор, пока не будут произведены все соединения в центрах коммутации (момент времени t_z), и тогда отправителю посылается сигнал готовности, после получения которого от ОПСС отправителя передается сообщение, которое для цифровых сетей связи измеряется в L бит. Время передачи сообщения $t_{п.д} = L/R_6^3$, где R_6^3 – эффективная скорость передачи бит сообщений по цифровому каналу.

На рис. 2.29 через t_p обозначено время распространения сигнала на участке между двумя ЦК.

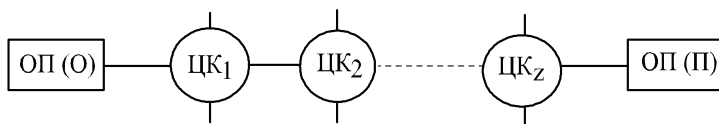


Рис. 2.28. Фрагмент сети связи

Из этого выражения следует, что коэффициент использования участка канала $R_{исп.i}$ зависит от времени установления t_{yc} и различен для разных участков канала i . Наиболее эффективно используется последний участок канала ($z - 1$). Причиной низкой эффективности первых участков является необходимость создания прямого тракта до начала передачи сообщения. При отсутствии свободного канала на каком-либо участке установленные ранее соединения разрушаются, а потери времени на подобные необслуженные вызовы являются основной причиной неэффективного использования пропускной способности каналов в сетях коммутации каналов.

Метод КК широко применяется в телефонных сетях, предоставляющих пользователям диалоговую связь. Частным случаем КК является кроссовая коммутация, которой соответствуют долговременные соединения в ЦК, позволяющие организовать прямой (некоммутируемый) канал между ОП.

Цифровые сети КК делятся на *синхронные* и *асинхронные*. В синхронных цифровых сетях передающее и коммутационное оборудование синхронизируется от единого тактового генератора, что позволяет упростить и интегрировать процессы передачи и распределения информации в системах с временным уплотнением, но требует создания сложной системы сетевой синхронизации.

В асинхронных цифровых сетях КК передающее и коммутационное оборудование независимо синхронизируется автономными тактовыми генераторами, что обеспечивает определенную гибкость в выборе аппаратуры и согласование с существующими сетями передачи данных (например телеграфными). Однако при этом появляются трудности, связанные с обеспечением помехоустойчивости передачи.

Коммутация сообщений. При использовании этого способа сообщение отправителя передается в ЦК₁, где запоминается и передается в следующий ЦК. Процедура повторяется до тех пор, пока сообщение не достигнет ЦК_z, откуда через канал связи поступит в ОПСС получателя (рис. 2.30).

Началом цикла передачи является момент времени t_1 , начиная с которого аппаратурой ОПСС отправителя производится обработка сообщения (анализ адреса и категории срочности, выбор исходящего тракта и т. п.). Время обработки является величиной случайной и зависит от состояния каналов связи, загрузки ОПСС и центров коммутации и других факторов. Для получения приближенных оценок этого времени используется среднее время обработки сообщения в ОПСС или центре коммутации $t_{обр}$. После предоставления исходящего тракта передаются заголовок и данные, содержащиеся в сообщении. Процесс передачи от

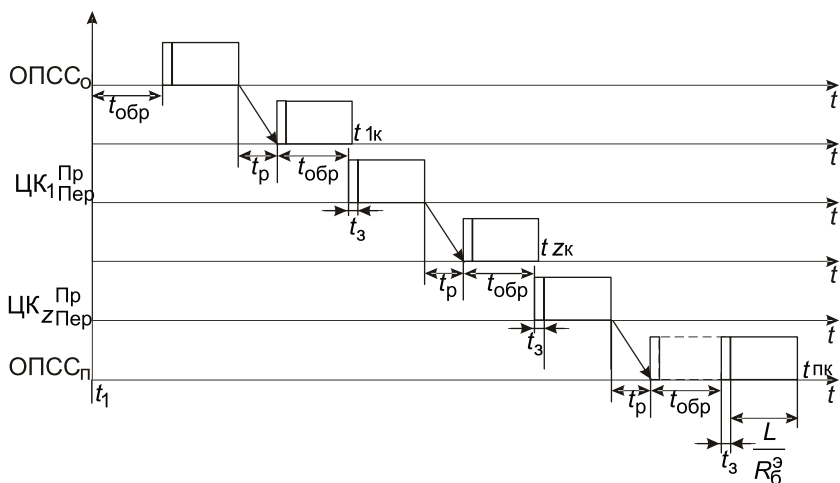


Рис. 2.30. Диаграмма, поясняющая сущность способа коммутации сообщений

ОПСС к ЦК₁ заканчивается в момент $t_{1к}$. При передаче от ЦК₁ к ЦК₂ и так далее все полностью повторяется. Последний этап содержит передачу сообщения из ЦК_z в ОПСС получателя.

Таким образом, процесс передачи состоит из $(z + 1)$ одинаковых циклов, каждый из которых имеет длительность $t_{ц} = t_{обр} + t_p + t_3 + L/R_6^3$. Следовательно, общее время доведения сообщения от ОПСС отправителя до ОПСС получателя сообщения $t_{дов} = (z + 1) \cdot t_{ц} = (z + 1) \cdot (t_{обр} + t_p + t_3 + L/R_6^3)$. Преобразуя это выражение, получим

$$t_{дов} = (z + 1) \cdot (t_{обр} + t_p + t_3) + (z + 1) \cdot L/R_6^3. \quad (2.17)$$

Различные участки направления передачи сообщения при этом способе занимают поочередно лишь на время передачи сообщения по данному участку. В результате коэффициент использования каналов одинаков для всех участков:

$$R_{исп} = \frac{L/R_6^3}{t_p + t_3 + L/R_6^3} = 1 - \frac{t_p + t_3}{t_p + t_3 + L/R_6^3} = 1 - \frac{I_3}{L + I_3}, \quad (2.18)$$

где $I_3 = t_3 \cdot R_6^3$ – длина заголовка в битах.

Таким образом, характерной особенностью способа коммутации сообщений при полном переприеме сообщений в центрах коммута-

ции является поочередное занятие каналов и центров коммутации на маршруте передачи сообщения. Форматы сообщений определяются оптимизацией процедур обмена сообщениями между отправителями и получателями. Вследствие этого объем сообщений, как правило, не оптимален с точки зрения процедур обмена в сети связи. Полный переприем сообщений, имеющих в большинстве случаев длину, во много раз превышающую оптимальную, приводит к длительным задержкам в центрах коммутации и необходимости иметь там запоминающие устройства весьма большой емкости. Эти обстоятельства и обусловили широкое применение способа коммутации пакетов.

Коммутация пакетов. При этом способе обмен сообщениями между отправителями и получателями реализуется при использовании двух протоколов (правил). Протокол обмена сообщениями является протоколом высшего уровня и обеспечивает непосредственный обмен сообщениями заданного формата между двумя ОПСС. Протоколом более низкого уровня является протокол пакетной коммутации, обеспечивающий доставку пакетов из места разделения сообщений на пакеты в место их формирования. Оптимальный выбор объема пакета позволяет уменьшить емкость запоминающих устройств и время задержки пакетов в центрах коммутации.

Доставка сообщения от отправителя к получателю в сети связи с пакетной коммутацией включает в себя процедуры получения сообщения от отправителя, образования пакетов, передачи пакетов по сети связи, формирования сообщения и выдачи его получателю.

Процедура образования пакетов из сообщения и обратный процесс формирования сообщения из принимаемых пакетов могут осуществляться либо ОПСС отправителя и получателя сообщений, либо в центрах коммутации, с которыми непосредственно связаны ОПСС отправителя и получателя сообщений.

В первом случае базовая сеть связи реализует лишь протокол пакетной коммутации, а протокол обмена сообщениями осуществляется средствами ОПСС, обмен которых с центрами коммутации также производится пакетами. В частном случае можно обходиться и без автоматизации процедур преобразования сообщений в пакеты, когда отправитель осуществляет ввод сообщений в форме пакетов.

Во втором случае ОП сети связи выдает в ЦК сообщения, т. е. обмен между ОПСС и ЦК реализуется по протоколу обмена сообщениями, в рамках которого, естественно, может быть применено и разбиение на пакеты. Затем реализуется процедура передачи пакетов в ЦК получателя, в котором осуществляется сборка сообщения, выдаваемого в ОПСС получателя.

Использование пакетной коммутации позволяет реализовать различные протоколы управления процессом доставки пакета от отправителя до получателя. Наибольшее распространение получили датаграммный способ и способ с установлением виртуального канала.

При датаграммном способе каждый пакет при перемещении в сети рассматривается как самостоятельный блок, доставляемый получателю (точнее, в элемент сети связи, реализующий процедуру формирования сообщений из принимаемых пакетов) в соответствии с приписанным ему адресом. Процесс передачи пакетов по одному маршруту датаграммным способом показан на рис. 2.31.

Предполагается, что процедуры формирования пакетов (сообщений) реализуются в ОПСС. Первый пакет сообщений передается точно таким же образом, как и при коммутации сообщений. При передаче второго пакета на участке ОПСС – ЦК₁ направления передачи сообщений одновременно передается пакет на участке ЦК₁–ЦК₂. С момента передачи пакета с номером z ведется одновременная передача пакетов на всех участках направления передачи сообщений между ОПСС отправителя и ОПСС получателя сообщений. В этом отношении способ коммутации пакетов приближается по характеристикам к способу коммутации каналов, сохраняя все преимущества коммутации сообщений.

Для определения времени доведения сообщения из ϕ пакетов можно использовать полученное ранее выражение (2.17), позволяющее определить время передачи первого пакета ($t_k - t_1$) и учесть длительность $(\phi - 1)$ остальных.

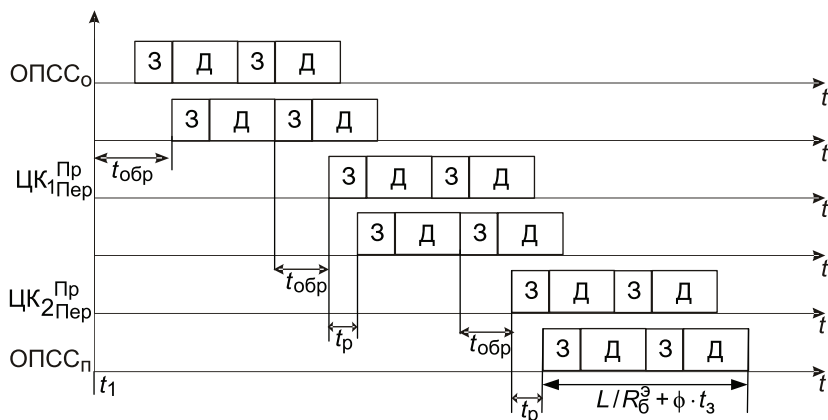


Рис. 2.31. Диаграмма, поясняющая сущность датаграммного способа коммутации

Таким образом,

$$t_{\text{дов}} = (t_{\text{обр}} + t_p + t_3) \cdot (z + 1) + \frac{L}{\varphi \cdot R_6^3} \cdot (z + 1) + \left(\frac{L}{\varphi \cdot R_6^3} + t_3 \right) \cdot (\varphi - 1). \quad (2.19)$$

После преобразований получаем

$$t_{\text{дов}} = (t_{\text{обр}} + t_p + t_3) \cdot (z + 1) + (z / \varphi + 1) \cdot L / R_6^3 + t_3 \cdot (\varphi - 1). \quad (2.20)$$

При передаче пакетов одного сообщения по нескольким параллельным направлениям передачи сообщений, образованным через различные центры коммутации сети обмена сообщениями, время доведения может быть уменьшено. Однако при любом числе каналов оно не может быть меньше суммы двух первых слагаемых формулы (2.20). Как и при коммутации сообщений, участки маршрута занимают лишь на время передачи сообщения и коэффициент их использования составляет

$$R_{\text{исп}} = \frac{L / R_6^3}{t_p + t_3 + L / R_6^3} = 1 - \frac{\varphi \cdot I_3}{L + \varphi \cdot I_3} = 1 - \frac{I_3}{L_n + I_3}, \quad (2.21)$$

где L_n – объем сообщений из формата пакета в битах ($L_n = L / \varphi$).

Принципиально пакеты можно формировать из нескольких сообщений, что целесообразно при очень малых их длинах.

Датаграммный способ относительно прост в реализации и обеспечивает минимизацию времени доведения сообщения получателю.

К недостаткам этого способа следует отнести:

1. Возможность нарушения порядка прибытия в ОП пользователя пакетов длинного сообщения ввиду независимости их маршрутов в сети, что требует сортировки пакетов в нужной последовательности.

2. Вероятность различных задержек пакетов ввиду отсутствия предварительного резервирования памяти в ОП пользователя для многопакетных сообщений, что приведет к перегрузке памяти ЦК пользователя.

3. Наличие тупиковых ситуаций, вызываемых борьбой различных процессов за обладание сетевыми ресурсами, что снижает степень их использования. В сети КП с датаграммным режимом такие ситуации возникают при условии, что поток поступающих в сеть пакетов превышает допустимый. Перегрузка сети приводит к циркуляции датаграмм,

которые не могут быть переданы в ОП пользователя ввиду отсутствия свободной памяти в ЦК пользователя.

Для исключения указанных недостатков в сети КП применяются различные методы резервирования ресурсов (прежде всего памяти ОП пользователя или ЦК). Так, если датаграммный способ дополнить виртуальным вызовом, когда перед передачей основной информации ОП источника посылает служебный пакет в ОП получателя, запрашивающий ресурсы (требуемый объем памяти ОП получателя), на который получает ответный пакет готовности, то это значительно уменьшит вероятность тупиковых ситуаций из-за перегрузки ЦК пользователя. При получении отказа ОП источника не передает сообщения и тем самым не загружает сеть.

Фиксируя дополнительно путь передачи пакетов в маршрутных таблицах тех узлов, через которые прошел служебный пакет вызова, можно значительно уменьшить вероятность нарушения порядка следования пакетов длинного сообщения. Эта разновидность КП называется коммутацией пакетов с установлением виртуального канала.

Циркуляция пакетов («петли») при этом исключается и появляется возможность контроля перегрузок за счет установления допустимого числа виртуальных каналов в сети. Заголовки пакетов (кроме первого) при использовании способа образования виртуального канала могут иметь меньший объем, чем при способе датаграмм, так как вместо полного адреса достаточно иметь лишь сведения о принадлежности к заданному маршруту, т. е. сведения об условном номере виртуального канала.

Гибридная коммутация. Сочетание достоинств способов КК и КП обеспечивается в гибридной коммутации, комбинирующих коммутацию каналов для сообщений, требующих передачи в реальном масштабе времени (речь, сигналы телеуправления и телеметрии, факсимильные сообщения и т. д.), и коммутацию пакетов для данных. Способ распределения смешанного трафика определяется в этом случае при поступлении вызова ОП источника в сеть, в которой часть пропускной способности магистральных каналов отводится под трафик, передаваемый в режиме КК, а другая часть – под трафик, передаваемый в режиме КП. Платой за широкие возможности способа ГК является увеличение аппаратно-программных затрат на реализацию сообщений L . Для коротких сообщений ($L < L_1$) нет различий между способами полного переприема сообщений (ППС) и коммутации пакетов (см. рис. 2.31).

Сравнение способов коммутации. На рис. 2.32, а показан характер зависимостей времени доведения от объема сообщения. Для сообщений длиной $L_1 < L < L_2$ наименьшее время доведения обеспечивает

способ коммутации пакетов, а наибольшее – способ коммутации каналов. При больших длинах сообщений ($L > L_3$) наилучшие результаты по времени доведения можно получить, используя способ коммутации каналов. Конкретные значения L_1 , L_2 и L_3 определяются большим числом факторов, задаваемых характеристиками, входящими в качестве аргументов в формулы (2.15), (2.16) и (2.19).

На рис. 2.32, б показана зависимость коэффициентов использования каналов для рассмотренных способов коммутации, причем для способа коммутации каналов эти коэффициенты различны для разных участков тракта. На рисунке показаны значения этих коэффициентов для первого ($КК_1$), второго ($КК_2$) и третьего ($КК_3$) участков. Для способа коммутации пакетов коэффициент использования каналов не зависит от длины сообщения, так как структура пакета в любых случаях включает одинаковое количество служебных символов в составе заголовка пакета.

Общими достоинствами способов коммутации сообщений, обуславливающими их широкое применение в перспективных сетях связи, являются:

- более эффективное использование пропускной способности каналов связи. В настоящее время при применении способов коммутации каналов пропускная способность может использоваться лишь на 20–30 %, а при применении методов коммутации сообщений – на 80–85 % и более. Это объясняется возможностью поэтапной передачи, не связанной с ожиданием установления соединения по всему тракту и, следовательно, отсутствием потерь времени на необслуженные вызовы. Кроме того, коммутация сообщений обеспечивает эффективное использование одного канала в интересах различных направлений передачи сообщений. Особенно продуктивно это осуществляется при

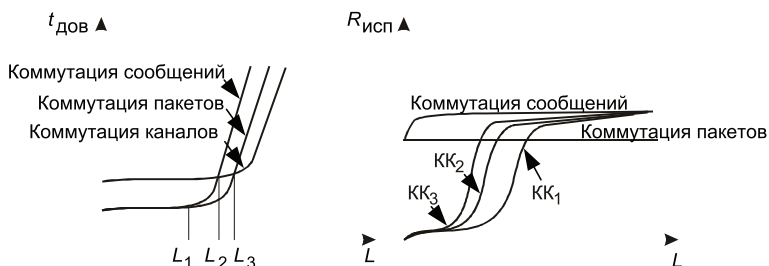


Рис. 2.32. Графики зависимости показателей качества различных способов коммутации

а – времени доставки сообщения от его объема;

б – коэффициентов использования каналов от объема сообщений

пакетной коммутации. Эффект статистического управления канала пакетами различных информационных направлений позволяет считать перспективным способ пакетной коммутации при передаче речевых и факсимильных сообщений в цифровой форме в цифровых сетях с интеграцией обслуживания;

- простота реализации многоадресной и циркулярной передачи сообщений;

- возможность более простой, чем при коммутации каналов, реализации приоритетной передачи сообщений высоких категорий срочности. Накопление сообщений в центрах коммутации позволяет организовать на маршрутах «обгон» сообщений низких категорий срочности сообщениями более высоких категорий;

- обеспечение обмена сообщениями между отправителями и получателями, использующими разнотипную аппаратуру ввода и вывода сообщений, в частности работающую с различными скоростями передачи сообщений;

- возможность передачи сообщений по участкам направлений, имеющим каналы передачи сообщений с различными скоростями.

Наиболее универсальным способом следует считать пакетную коммутацию, позволяющую осуществлять не только направленную передачу сообщений, но и диалоговый обмен.

Достоинством коммутации каналов является меньшее время доведения сообщения по уже образованному каналу, а также существенно меньшие требования к структуре сообщений и их форматам. Вследствие этого способ коммутации каналов также может использоваться в цифровых сетях с интеграцией обслуживания и в сетях передачи данных часто со способом коммутации пакетов. При обеспечении обмена сообщениями в конкретной ситуации может выбираться наиболее целесообразный способ коммутации. Например, при передаче больших объемов информации, как правило, более эффективным является способ коммутации каналов, а для передачи короткого сигнала – способ пакетной коммутации и т. д. Различия коммутации каналов и коммутации пакетов показаны в табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Сравнительная характеристика
коммутации каналов и коммутации пакетов**

Параметр	Коммутация каналов	Коммутация пакетов
Установка соединения	Требуется	Не требуется
Организация выделенного пути	Да	Нет

Продолжение табл.

Параметр	Коммутация каналов	Коммутация пакетов
Каждый пакет перемещается по одному и тому же пути	Да	Нет
Пакеты приходят в правильном порядке	Да	Нет
Критичность выхода из строя центра коммутации	Да	Нет
Доступная пропускная способность	Фиксированная	Динамическая
Возможность занятости линии	Во время установки соединения	Для каждого пакета
Возможность простоя линии	Да	Нет
Передача с промежуточным хранением	Нет	Да
Оплата	За время на линии	За трафик



2.5. Структурно-топологическое построение сетей связи

Структурно-топологическое построение сетей связи предполагает их моделирование, представление количественными показателями через соответствующие параметры, а также описание состава, конфигурации, взаимосвязи отдельных элементов и принципов установления связи. Многогранность такого описания сети связи обуславливает наличие целого ряда характеристик, которые можно объединить в три основные группы: характеристики функционирования, экономические и морфологические.

Характеристики функционирования сетей связи раскрывают протекающие в них процессы передачи информации, позволяют определить основные вероятностно-временные параметры сетей.

Экономические характеристики показывают затраты, необходимые на строительство и эксплуатационное обслуживание сетей связи, а также доход, который может быть получен от эксплуатации сетей.

Морфологические (структурно-топологические) характеристики дают описание состава и построения сетей связи, характера взаимосвязи между коммутационными центрами различных типов, а также способов группировки каналов связи по ветвям и направлениям связи.

В эту группу характеристик входят структура (организационная, организационно-техническая или техническая), топология и стереология.

Необходимо отметить, что под структурой в общем случае понимается модель, необходимая для описания процессов или объектов путем выделения в них элементов и определения существенных устойчивых связей между ними. При этом структуры могут быть организационными, техническими, функциональными, организационно-штатными и т. д. В рамках рассмотрения основ построения телекоммуникационных систем и сетей под структурой сети связи будем понимать характеристику, описывающую взаимосвязь входящих в нее коммутационных центров независимо от фактического их расположения и трасс прохождения линий связи на местности.

Структура сети служит для отображения потенциальных возможностей сети по распределению информации между ее отдельными пунктами. С этой целью на структурах сетей показываются КЦ, на которых может осуществляться распределение потоков информации, и ветви сети, раскрывающие схему связи между этими КЦ.

Многочисленность факторов, определяющих специфику построения различных сетей связи, ведет к многообразию их структур.

Основой для построения сети связи любой сколь угодно сложной структуры являются так называемые элементарные структуры [30]. Принято выделять элементарные структуры двух типов:

- радиальная (рис. 2.33);
- кольцевая (петлевая, шлейфовая) (рис. 2.34).

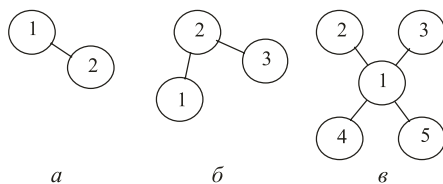


Рис. 2.33. Варианты радиальных элементарных структур:
а – двухузловая; б – трехузловая; в – пятиузловая (звездообразная)

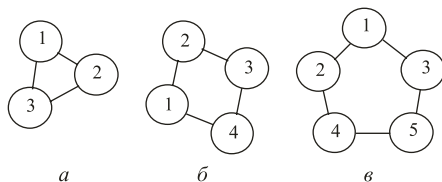


Рис. 2.34. Варианты кольцевых элементарных структур:
а – трехузловая; б – четырехузловая; в – пятиузловая

Оба типа элементарных структур характеризуются определенным соотношением основных параметров – количеством элементов (узлов) N и количеством связывающих ветвей (линий) M :

- для радиальной элементарной структуры $N \geq 2$, $M = N - 1$;
- для кольцевой элементарной структуры $N \geq 3$, $M = N$.

Признаком отличия структур одного типа может служить количество входящих в них узлов N . При этом говорят: N -элементарная элементарная структура радиального типа; N -элементарная элементарная структура кольцевого типа.

Другим определяющим параметром элементарной структуры является число ветвей, инцидентных (принадлежащих) каждому узлу. Так, для радиальной элементарной структуры характерным является наличие единственного узла, которому инцидентны $(N - 1)$ ветви, остальным же узлам этой элементарной структуры инцидентна лишь одна ветвь. Для кольцевой элементарной структуры характерно то, что любому узлу всегда инцидентны две ветви.

На базе элементарных структур строятся более сложные. При использовании только радиальных элементарных структур могут быть созданы, например, древовидные (рис. 2.35). Для сетей связи древовидной структуры сохраняется то же соотношение основных параметров, что и для радиальной элементарной структуры. Между каждой парой узлов такой структуры существует только один путь для установления связи. Другими словами, древовидная сеть – сеть односвязная. Частными случаями ее являются узловая (рис. 2.35, а) с иерархическим построением и соподчинением узлов, звездообразная (рис. 2.35, б) с одним узлом и линейная (рис. 2.35, в) сети.

В узловой сети с иерархическим построением и соподчинением узлов имеется узел высшего класса, называемый корневым, с которым соединяются узлы первого класса (уровня). К узлам первого класса под-соединяются узлы второго, третьего (и т. д.) классов.

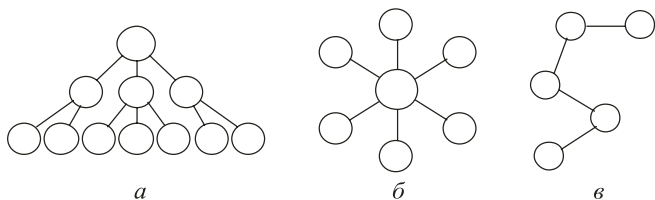


Рис. 2.35. Варианты древовидных структур:
а – узловая сеть с иерархическим построением;
б – звездообразная сеть; в – линейная сеть

Кольцевая элементарная структура является базой для построения сложных структур, которые в общем случае можно разделить на полновязные (рис. 2.36, а) и неполновязные (рис. 2.36, б–е) структуры.

Сеть полновязной структуры – сеть, соединение узлов в которой производится по принципу «каждый с каждым» и которая характеризуется следующим соотношением основных параметров:

$$M = \frac{N \cdot (N - 1)}{2}, \quad (2.22)$$

где M – количество ветвей; N – количество коммутационных центров.

Особенностью полновязной сети является то, что между каждой парой узлов этой сети существует $(N - 1)$ независимых путей для установления связи.

Для неполновязных структур соотношение основных параметров задается двойным неравенством:

$$N + 1 < M < \frac{N \cdot (N - 1)}{2}. \quad (2.23)$$

Частным случаем сетей неполновязной структуры, получивших широкое распространение, являются сети смежно-кольцевой струк-

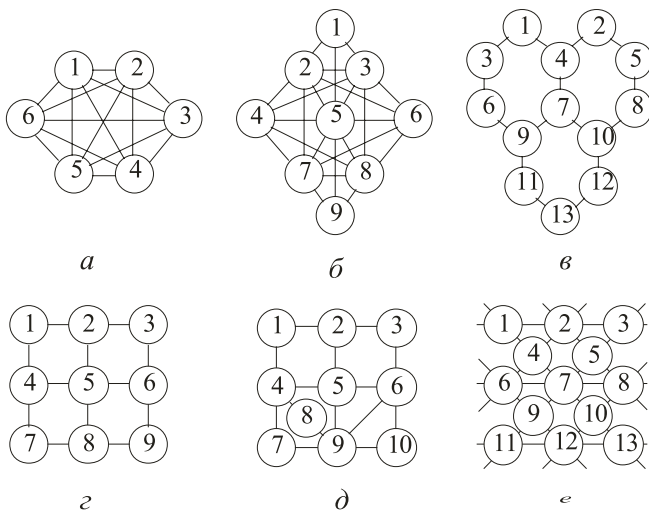


Рис. 2.36. Варианты кольцевых структур:

а – полновязная; б – «алмаз»; в – «сота»; г – «решетка»; д – «решетка» с разными кольцевыми элементарными структурами; е – двойная «решетка»

туры. Для таких сетей справедливо следующее соотношение параметров:

$$M = N + E - 1, \quad (2.24)$$

где E – число кольцевых элементарных структур.

Варианты сетей связи смежно-кольцевой структуры представлены на рис. 2.36, б–е.

Различают смежно-кольцевые структуры, образованные одинаковыми (рис. 2.36, б, в, г, е) и разными (рис. 2.36, д) кольцевыми элементарными структурами. Иногда структуры получают специальные названия: «Алмаз» или «Кристалл», «Соты», «Решетка», «Двойная решетка» (рис. 2.36, б, в, г, е соответственно).

Структуры сетей связи, представленные на рис. 2.36, в, г, е, относят к разряду регулярных структур, у которых наблюдаются равномерное распределение узлов по территории и однотипное соединение соседних узлов. У этих структур каждый узел (кроме расположенных по краям сети) имеет ранг (степень), который определяется количеством ветвей, соединяющих его с другими узлами. Для структур, показанных на рис. 2.36, в, г, е, узлы имеют ранги $r = \{3, 4, 6\}$ соответственно. При большом числе узлов в сетях с регулярными структурами число ветвей определяется формулой:

$$M = \frac{r \cdot N}{2}. \quad (2.25)$$

На сети с узлами разного ранга число ветвей определяется следующим выражением:

$$M = \frac{1}{2} \cdot \sum_{r_i=1}^{N-1} r_i \cdot N_i, \quad (2.26)$$

где N_i – число узлов ранга r_i .

Сложные комбинированные структуры сетей связи могут быть образованы совокупностью элементарных структур как радиального, так и кольцевого типов. Реальная сеть, как правило, содержит области с различными структурами. Чаще других создаются сети узловой и радиально-узловой структуры (рис. 2.37, а и б). Выбор той или иной структуры сети определяется, прежде всего, экономическими показателями и требованиями к надежности, живучести пропускной способности.

Важным специфическим структурным свойством сетей связи является возможность представления одной и той же сети связи различными

изоморфными графами [9] без петель. Две структуры принято называть изоморфными, если между множествами узлов (вершин) существует взаимнооднозначное соответствие, сохраняющее смежность.

Граф сети связи $G = (V, U)$ представляет собой набор точек, называемых вершинами $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, которые соединены между собой линиями, называемыми ветвями $U = \{u_{ij}\}$. Это позволяет изображать любую структуру в виде, удобном для дальнейшей работы с ней (рис. 2.38, а, б).

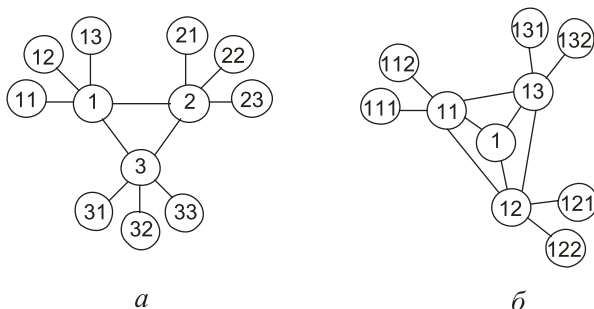


Рис. 2.37. Варианты структур сетей связи:
а – узловая; б – радиально-узловая

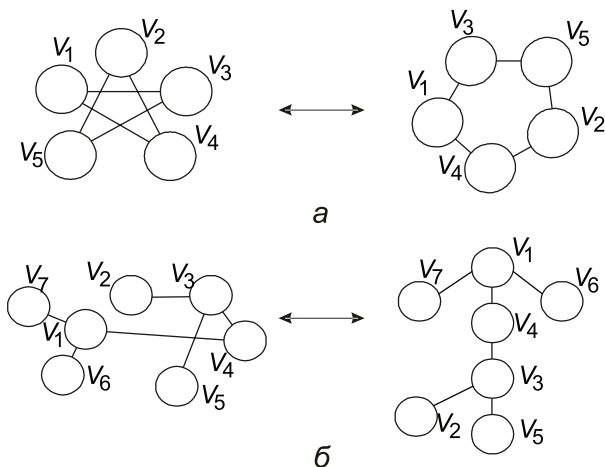


Рис. 2.38. Варианты изоморфных структур сетей связи:
а – кольцевая; б – радиально-узловая

В теории графов различают ориентированные и неориентированные, взвешенные и помеченные графы [9].

В ориентированных графах сообщения в ветвях (линиях и каналах) связи передаются только в одном направлении (рис. 2.39, а), в неориентированных – в обоих (рис. 2.39, б).

Взвешенным называется граф, в котором вершинам и ветвям соответствуют некоторые числа, называемые весами. Весом может являться пропускная способность (С), надежность, живучесть и другие характеристики элемента сети связи.

На рис. 2.39, в представлен взвешенный граф, где в качестве веса выбрана пропускная способность направления связи, выраженная в количестве каналов.

Граф, в котором вершины пронумерованы, называется помеченным, или размеченным. Иногда при работе на вычислительных машинах возникает необходимость проанализировать сеть связи, не прибегая к изображению ее в виде графа. Одной из форм математического представления сети связи (графа) является ее алгебраическое задание с помощью ряда структурных матриц.

Пусть задан граф $G = (V, U)$, вершины которого пронумерованы в произвольном порядке. Структурной матрицей смежности (соседства) $\|A\| = \|a_{ij}\|$ помеченного графа $G = (V, U)$ с n вершинами называется матрица размером $n \times n$, в которой $a_{ij} = 1$, если вершина v_i связана с вершиной v_j , и $a_{ij} = 0$ – в противном случае. Таким образом, существует взаимно однозначное соответствие между помеченными графами с n вершинами и матрицами размером $n \times n$ с нулями по диагонали. Для помеченного графа G (рис. 2.39, б), матрица смежности имеет следующий вид:

$$\|A\| = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2.27)$$

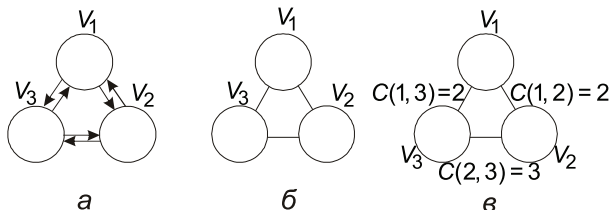


Рис. 2.39. Виды графов:
а – ориентированный, б – неориентированный, в – взвешенный

Легко заметить, что суммы элементов матрицы $\|A\|$ по строкам (столбцам) равны степеням (рангам) вершин графа G .

Степенью вершины графа G называется количество входящих и исходящих из него ветвей.

Другой матрицей, связанной с графом G , в котором пронумерованы (помечены) вершины и ребра, является матрица инцидентий ($\|B\| = \|b_{ij}\|$). Такая матрица характеризует взаимосвязь вершин и ребер, что важно при рассмотрении вопросов о связности моделируемой сети связи. Матрицей инцидентий помеченного графа $G = (V, U)$ с n вершинами и m ребрами называется матрица размером $m \times n$, в которой $b_{ij} = 1$, если вершина v_i инцидентна ребру u_j , и $b_{ij} = 0$ – в противном случае.

Для помеченного графа G (рис. 2.40) матрица инцидентий $\|B\|$ имеет вид

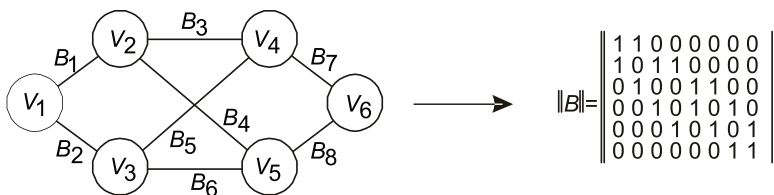


Рис. 2.40. Помеченный граф с соответствующей ему матрицей инцидентий

Для ориентированного графа G матрица инцидентий $\|B\|$ определяется следующим образом:

$$\begin{cases} b_{ij} = 1, & \text{если } u_{ij} \text{ — исходящая из } v_{ij}, \\ b_{ij} = -1, & \text{если } u_{ij} \text{ — входящая из } v_{ij}, \\ b_{ij} = 0, & \text{если } u_{ij} \text{ — петля.} \end{cases} \quad (2.28)$$

Поскольку каждая дуга инцидентна двум различным вершинам (за исключением того случая, когда дуга образует петлю), то каждый столбец матрицы инцидентий содержит один элемент, равный 1, и один, равный -1, либо все элементы столбца равны нулю.

Матрица мощности ветвей $\|M\|$ (рис. 2.39, в), элементами которой являются веса a_{ij} , принимающие значения, численно равные количеству стандартных каналов между ЦК_i и ЦК_j , имеет вид

$$\|M\| = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 3 \\ 2 & 3 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2.29)$$

Не останавливаясь подробно на аппарате преобразования матриц, отметим только некоторые особенности, на которые следует обратить внимание при синтезе и анализе сетей связи.

Произведение двух квадратных матриц $\|A\| = \|a_{ij}\|$ и $\|B\| = \|b_{ij}\|$ порядка N приводит к квадратной матрице $\|C\| = \|A\| \cdot \|B\| = \|n_{ij}\|$ того же порядка, элементы которой n_{ij} равны сумме почленных произведений i -й строки матрицы $\|A\|$ и j -го столбца матрицы $\|B\|$:

$$n_{ij} = a_{i1} \cdot b_{1j} + a_{i2} \cdot b_{2j} + \dots + a_{iN} \cdot b_{Nj}. \quad (2.30)$$

Путь m_{st} из узла a_s в узел a_t – это упорядоченная последовательность ребер, начинающаяся в a_s , заканчивающаяся в a_t и не проходящая дважды через один и тот же узел, причем конец каждого предыдущего ребра совпадает в промежуточном (для данного пути) узле с началом последующего ребра. Путь, намеченный (выбранный) для доставки тех или иных сообщений между заданной парой пунктов (узлов), будем называть *маршрутом*, а процесс установления таких маршрутов (путей) – *маршрутизацией*.

При возведении структурной матрицы в g -ю степень получается матрица, каждый элемент которой характеризует пути от узла a_i к узлу a_j , включающие ребра, численно не превышающие ранг данной матрицы:

$$\|B\|^g = \|m_{ij}^{r < g}\|. \quad (2.31)$$

Очевидно, что имеется некоторое конечное число $g_{\max}$, превышение которого не приведет к изменению матрицы, становящейся в таком случае характеристической:

$$\|B\|_{\max}^{g+1} = \|B\|_{\max}^g = \|M\|_{\text{хар}} = \|m_{ij}\|. \quad (2.32)$$

Матрица $\|M\|_{\text{хар}}$ называется *характеристической*, или просто матрицей, описывающей все возможные в сети пути между узлами. Особенностью математического описания сетей является то, что максимальный ранг не может превышать $(N-1)$, и, следовательно, справедливо неравенство

$$g \leq N-1. \quad (2.33)$$

Под рангом пути $r(m_{st})$ (иногда этот показатель называют длиной пути) понимается число ребер, образующих этот путь. Минимальный

ранг пути равен 1, максимальный – $(N - 1)$, когда путь проходит через все узлы.

Сеть связи можно описать также с помощью ее топологии. Топология сети связи дает представление о взаимном расположении и соединении КЦ этой сети, группировке каналов по ветвям и направлениям связи, а также о маршрутах и особенностях прохождения трасс линий связи на местности. Топология отображает КЦ, выполняющие все виды оперативной и долговременной коммутации. В зависимости от полноты данных о сети связи и формах ее представления различают общую, полную и частную топологии.

Общая топология дает представление о взаимном расположении всех типов КЦ, способах их соединения линиями связи, а также о характере распределения образуемых на этих линиях каналов и трактов по ветвям и направлениям связи. Пример общей топологии сети, имеющей структуру сети связи, дан на рис. 2.41 а, б.

Кроме КЦ₁... КЦ₅, выполняющих оперативную коммутацию, на схеме общей топологии показаны КЦ₀₁ и КЦ₀₂, обеспечивающие долговременное соединение каналов. Здесь же можно видеть, как группируются каналы. Так, часть каналов различных направлений связи (например, J_{12} , J_{13} , J_{14}) образуют пучки ветви m_{1-01} , а каналы одного направления (например J_{12}) топологически разнесены по различным ветвям (m_{1-01} , m_{01-02} , m_{02-2}). Общая топология объединяет структуры первичных и вторичных сетей, позволяет решать задачи по распределению каналов между КЦ и направлениями связи, а в случае необходимости – принимать решение на маневрирование этими каналами.

Схема полной топологии выполняется, как правило, на карте и обеспечивает привязку элементов сети связи (КЦ, линий связи) к местности. На ней указываются особенности прохождения трасс линий связи, места расположения станций, ретрансляционных (усилительных)

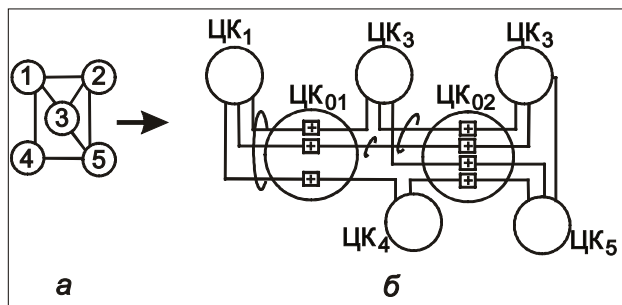


Рис. 2.41. Пример преобразования сети связи в ее общую топологию:
а – структура сети связи, б – общая топология сети связи

пунктов и т. д. Кроме того, на схеме полной топологии могут указываться объекты, не являющиеся элементами сети связи, но имеющие значение при ее эксплуатации: пункты снабжения, резерв средств связи, ремонтные органы и др.

Для решения отдельных задач по строительству и эксплуатации сети связи могут использоваться полные топологии отдельных участков данной сети, называемые их частными топологиями. Частная топология составляется по тем же правилам, что и полная. При этом возникает дополнительная возможность детализации отдельных сведений, необходимых конкретному исполнителю при решении поставленной перед ним задачи. К частным топологиям, например, относятся топологии абонентских сетей, развертываемых от оконечных КЦ на территории размещения пунктов управления или в населенных пунктах.

В ряде случаев часть элементов сети связи может размещаться на летноподъемных средствах. Объемное расположение и взаимосвязь элементов сети связи, а при необходимости и характер их перемещения можно описать с помощью стереологии этой сети. Формами представления стереологии могут служить изометрическая схема, схемы проекций сети на горизонтальную и вертикальную плоскости либо описание координат размещения элементов сети и их взаимосвязи.

Таким образом, стереология дает представление о пространственном расположении и перемещении элементов сетей связи.

Рассмотренные характеристики дают общее представление о сети связи, которая имеет ряд отличительных свойств.

Свойство сети связи – существенная черта данной сети, обуславливающая ее отличие от других сетей связи или сходство с ними и проявляющаяся при ее функционировании.

Основными свойствами сети связи являются ее связность, структурная живучесть, пропускная способность, надежность и др.

Сеть связи называется связной, если в ней может быть найден хотя бы один прямой или транзитный путь для установления связи между каждой парой узлов связи. Сеть называется h -связной, если любые два узла связаны независимыми путями, число которых не менее h . Например, сеть (рис. 2.42) является двусвязной ($h = 2$), так как имеет два независимых пути $m_{13} \cdot \{a - b, c - d\}$.

Понятие «связность» чаще относится не ко всей сети связи, а к заданным узлам a_s и a_t (h_{st} -связность), а также ко множеству путей, обладающих заданным свойством. Так, например, можно говорить о $h_{st}^{<r}$ -связности по пу-

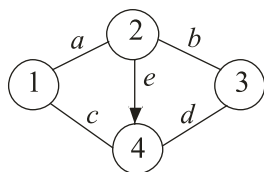


Рис. 2.42. Мостовая сеть с направленным ребром

тям ранга не более r . Например, для сети, изображенной на рис. 2.42, $h_{24} = 3$, $h_{24} = 3$, $h_{24}^{r-1} = 1$.

От связности зависит такая характеристика сети связи, как *структурная живучесть*, под которой понимается свойство сети сохранять связность при массовых разрушениях элементов или отдельных частей [4, 28]. Количественным показателем структурной живучести является вероятность наличия хотя бы одного пути установления соединения для передачи по нему сообщений после воздействия на сеть поражающих факторов.

Таким образом, из определения следует, что связность является одним из важнейших свойств сетей связи и может быть использована как показатель структурной живучести, тем более, когда речь идет о сетях связи военного назначения. Например, если сеть представлена в виде графа, показанного на рис. 2.39, б, естественно заключение, что такая сеть обладает низкой живучестью, так как удаление единственного узла, представленного вершиной 1, прерывает все связи, делает сеть несвязной.

Пропускная способность сети связи – возможность сети связи передавать заданные потоки сообщений в единицу времени.

В первичных сетях связи, функционирование которых не зависит от характера циркулирующих в них потоков сообщений, пропускная способность элементов сети (направлений или ветвей связи) определяется числом каналов в этих элементах. В цифровых первичных сетях теоретическая (шенноновская) пропускная способность равна максимальной скорости передачи в канале.

В отличие от первичных во вторичных сетях связи оценка пропускной способности числом каналов или скоростью передачи будет неточной, так как не учитывает возможность выполнения требований по качеству обслуживания заявок.

Современные коммутируемые сети работают, как правило, с потерями. Если внутри КЦ не может быть найден свободный соединительный путь (внутренняя блокировка) или отсутствует свободный каналный ресурс на ветвях связи (внешняя блокировка), то заявка получает отказ в обслуживании и теряется. Очевидно, что чем больше потери, тем меньше нагрузка у элемента сети. Исходя из этого пропускной способностью вторичной сети связи называется величина, численно равная суммарной интенсивности нагрузки по всем направлениям связи этой сети при обеспечении показателей качества обслуживания, заданных по каждому направлению связи. В соответствии с этим определением можно записать следующее выражение для пропускной способности сети связи:

$$Y(p) = \sum_{i=1}^I Y_i(p_i), \quad (2.34)$$

где $Y_i(p_i)$ – пропускная способность i -го направления связи при показателе качества обслуживания, равном p_i ; I – количество направлений связи в сети.

Надежность сети связи – способность сети связи обеспечивать связь, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих условиям эксплуатации, технического обслуживания, восстановления и ремонта [4, 28]. Надежность сети связи определяет ее возможность обеспечивать передачу информации с заданными вероятностно-временными показателями с учетом влияния технических отказов и восстановлений элементов сети.

Вышеперечисленные свойства сети рассматривались в предположении идеально надежных сетей связи. Однако элементы сети, как и любого технического устройства, подвержены техническим отказам. Вследствие этого вероятность получения источником информации отказа в установлении соединения и передаче сообщения зависит как от технического состояния элементов сети (систем передачи, КЦ и т. д.), так и от их занятости обслуживанием других заявок и передачей других сообщений. За комплексный показатель надежности функционирования сети связи (направления, пути, ветви связи) принимают вероятность $P_o(t)$ безотказного обслуживания поступающих в сеть (направления, пути, ветви связи) заявок. Числовые значения этого показателя вычисляются по формуле [28]:

$$P_o(t) = P_p \cdot \gamma, \quad (2.35)$$

где P_p – вероятность безотказной работы элементов оцениваемой сети связи; γ – количество заявок на обслуживание в сети (направления, пути, ветви связи) с абсолютно надежными элементами. В зависимости от способа обслуживания заявок величина γ определяется как

$$\gamma = \begin{cases} (1 - P_v) \cdot P_p & \text{при обслуживании с потерями,} \\ [1 - P(t_{\text{ож}} > \tau)] \cdot P_p & \text{при обслуживании с ожиданием,} \end{cases} \quad (2.36)$$

где P_v – вероятность вызова.

Вероятность безотказной работы элементов сети P_p определяется на основе общей теории надежности. При показательном законе распределения интервалов времени исправной работы и интервалов вре-

мени восстановления вероятность безотказной работы элемента может быть найдена следующим образом:

$$P_p = K_r \cdot e^{-\frac{t}{T_o}}, \quad (2.37)$$

где t – время выполнения задачи; T_o – среднее время безотказной работы элемента; K_r – коэффициент готовности элемента.

Коэффициент готовности выражается через T_o и среднее время восстановления отказавшего устройства T_b :

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_b}. \quad (2.38)$$

Немаловажными динамическими характеристиками, необходимыми для описания процессов, происходящих в синтезируемых сетях связи, являются их функции.

Функция сети связи характеризует проявление ее свойств и представляет собой способ действия сети связи при взаимодействии с внешней средой [6]. Создание сетей начинают с рассмотрения (анализа) функций, которые они должны выполнять, что позволит различить их уже на начальном этапе.

Например, связные функции (передачи, коммутации информации и т. д.) присущи первичным и вторичным сетям связи, а совокупность функций управления, исследования, контроля может реализовываться с помощью системы управления связью, являющейся внешней по отношению к этим сетям.



2.6. Информационные системы и сети, их функции

В современных условиях резко возрастает роль информации как в производстве, ориентированном на максимальную автоматизацию, так и в областях, использующих еще традиционные информационные средства, но все больше переходящих на современные средства автоматизации.

Появлению вычислительной техники, в том числе и ЭВМ, способствовал ряд социальных и экономических предпосылок, в частности информационный скачок, наблюдаемый с середины 70-х гг. XX в. Человечество обладает сегодня таким объемом информации в каждой области знаний, что отдельные люди уже не в состоянии освоить ее и держать в памяти. Потoki вновь создаваемой информации настолько велики,

что человек не успевает даже знакомиться со всеми новыми материалами. В результате появились различные специальные устройства и аппаратура для сбора, накопления и обработки информации. Наиболее мощными и современными из таких средств являются ЭВМ, которые вошли в жизнь как один из важнейших элементов научно-технического прогресса. Таким образом, и средства электросвязи, и ЭВМ имеют дело с информацией. Первые предназначены для передачи ее на расстояние, а вторые обеспечивают ее сбор, накопление и обработку.

Теоретические и практические основы построения ЭВМ, по существу, подготовила электросвязь. Первые ЭВМ были созданы на элементах, заимствованных у средств связи (полупроводники, микросхемы и т. д.), при их разработке широко использовались теоретические положения и устройства коммутационной техники.

Современные ЭВМ, как и средства связи, при укрупнении дают наибольший эффект. Чем они крупнее, тем большими возможностями они обладают и тем более экономичны в эксплуатации, но вместе с тем они и дороже. В результате отдельным предприятиям и организациям стало не под силу и невыгодно иметь собственные машины. Мощные ЭВМ стали размещаться в специальных центрах и использоваться коллективно. Для таких ЭВМ необходима сеть связи, которая делает их доступными для сотен тысяч и миллионов потребителей (например сеть *Internet*). Сеть связи, соединяющая между собой вычислительные центры, превращает их как бы в мощную единую ЭВМ, распределенную в пространстве.

Развитие средств связи и ЭВМ неразрывно связано с необходимостью обеспечения высокого уровня информированности общества во всех областях экономической, политической и социальной деятельности, т. е. его информатизации.

Под информатизацией понимается организационный социально-экономический процесс создания оптимальных условий для удовлетворения информационных потребностей и реализации прав граждан, органов государственной власти, органов местного самоуправления, общественных объединений на основе формирования и использования информационных ресурсов [32].

Информатизация базируется на национальных информационных ресурсах и обеспечивается посредством информационных систем (ИС) и телекоммуникационных сетей (рис. 2.43)

Информационные ресурсы – документы и массивы документов в разных формах и видах (библиотеки, архивы, фонды, базы данных, базы знаний и другие формы организации хранения и поиска информации), содержащие информацию по всем направлениям жизнедеятельности общества.

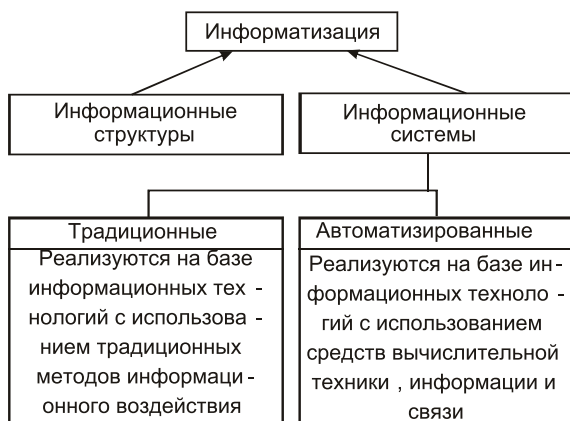


Рис. 2.43. Схема компонентов информатизации

Информационные системы могут быть реализованы на базе информационных технологий с использованием неавтоматизированных методов информационного воздействия или автоматизированно на базе информационных технологий с использованием средств вычислительной техники, информатики и связи [23].

Информационная технология (ИТ) – процесс, использующий совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных (первичной информации нового качества) о состоянии объекта, процесса или явления (информационного продукта).

Цель ИТ – производство информации для ее анализа человеком и принятия на его основе решения по выполнению какого-либо действия. Более детально информационные технологии описаны в [15].

Составными частями ИС являются пользователи информации, информационные ресурсы, носители информации, средства ее сбора, хранения, обработки и передачи (рис. 2.44).

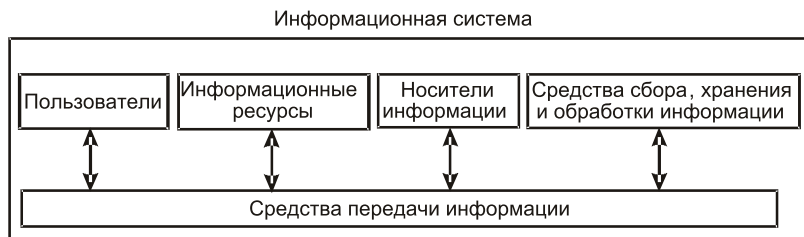


Рис. 2.44. Схема составных частей информационной системы

Пользователь информации – субъект, обращающийся к ИС за получением необходимой ему информации и пользующийся ею. Информация, выдаваемая в информационной системе потребителю, является одним из ресурсов, позволяющих повысить эффективность как отдельного производства, так и министерств и различных ведомств. Вследствие этого важнейшим аспектом взаимоотношений потребителя с другими элементами информационной системы является эффективное использование информационных ресурсов. Информационные ресурсы подразделяются по территории, на которой они предоставляются пользователям информации, на национальные, государственные, федеральные, а также по доступности к информационным ресурсам – на внутренний и коллективный пользования.

Национальный информационный ресурс – это ресурс, находящийся в собственности, распоряжении, владении или пользовании всех юридических и физических лиц, находящихся под юрисдикцией Российской Федерации.

Государственный информационный ресурс находится в ведении федеральных органов государственной власти, органов власти субъектов РФ и в их совместном ведении.

Федеральный информационный ресурс – государственный ресурс, находящийся в распоряжении федерального органа власти. В зависимости от того, в распоряжении каких органов находится информационный ресурс, выделяют информационный ресурс субъекта РФ и муниципальный информационный ресурс.

Информационный ресурс внутреннего пользования – это ресурс, который используется его собственником или распорядителем исключительно для организации и осуществления своей деятельности, не затрагивающей интересы других лиц.

Информационный ресурс коллективного пользования – это ресурс, находящийся в распоряжении какого-либо физического или юридического лица и предназначенный для использования другими лицами.

Таким образом, информационные ресурсы представляют собой один из обязательных элементов, необходимых для осуществления любого вида человеческой деятельности: производства, управления, проектирования новой техники и технологии и т. д.

Носители информации, применяемые в ИС, могут быть выполнены на бумажной основе, с применением звуковых, видео-, магнитных и других специальных технических устройств. Сбор, хранение и обработка информации могут осуществляться традиционными техническими средствами (телефон, радио-, звукоусилительные системы и т. д.) и автоматизированными системами сбора и обработки информации.

Собранная в распределенных базах данных информация предоставляется пользователям информации по линиям (каналам) связи, построенным проводными или радиосредствами. В настоящее время применяются прямые каналы передачи данных, каналы телефонной сети, каналы сети передачи данных. Функциональной основой любой информационной системы являются информационные процессы, под которыми понимается совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов выявления, анализа, ввода и отбора информации, выдачи с помощью различных средств ее потребителю для принятия управленческого решения.

Информационные системы (ИС) строятся централизованным (рис. 2.45), децентрализованным и смешанным способами.

Из рис. 2.45 видно, что информация, собранная в подсистемах (центрах) ввода, обновления и корректировки, поступает на центральную подсистему (информационный центр) организации, хранения и представления информации. В данной подсистеме осуществляется обобщение информации, ее распределение по соответствующим разделам (например промышленность, сельское хозяйство, оборона, наука и т. д.) и последующее хранение. Информация из центральной подсистемы предоставляется по запросам пользователей. В общем случае информационное пространство, в пределах которого действует ИС, неоднородно, так как содержит информационные объекты, различающиеся по методам формирования, организации и пополнения информации.

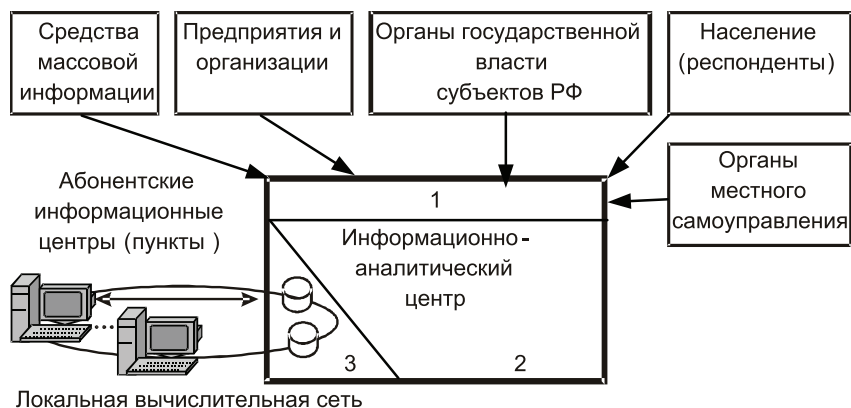


Рис. 2.45. Функциональная схема централизованной информационной системы:
 1 – подсистема организации, хранения и предоставления информации;
 2 – подсистема ввода, обновления и корректировки информации;
 3 – подсистема потребления информации

Достоинством централизованного способа построения ИС является его относительная простота реализации.

К недостаткам следует отнести возрастание громоздкости суперподсистемы организации, хранения и предоставления информации, снижение оперативности обработки и предоставления информации пользователям.

Децентрализованный способ построения ИС предусматривает, что наряду с основной подсистемой (информационным центром) организации и хранения информации создаются спутниковые подсистемы (информационные центры). В этом случае ИС представляет собой совокупность подсистем организации и хранения информации (рис. 2.46).

К достоинствам систем, построенных на основе этого способа, следует отнести максимальную приближенность информационных центров

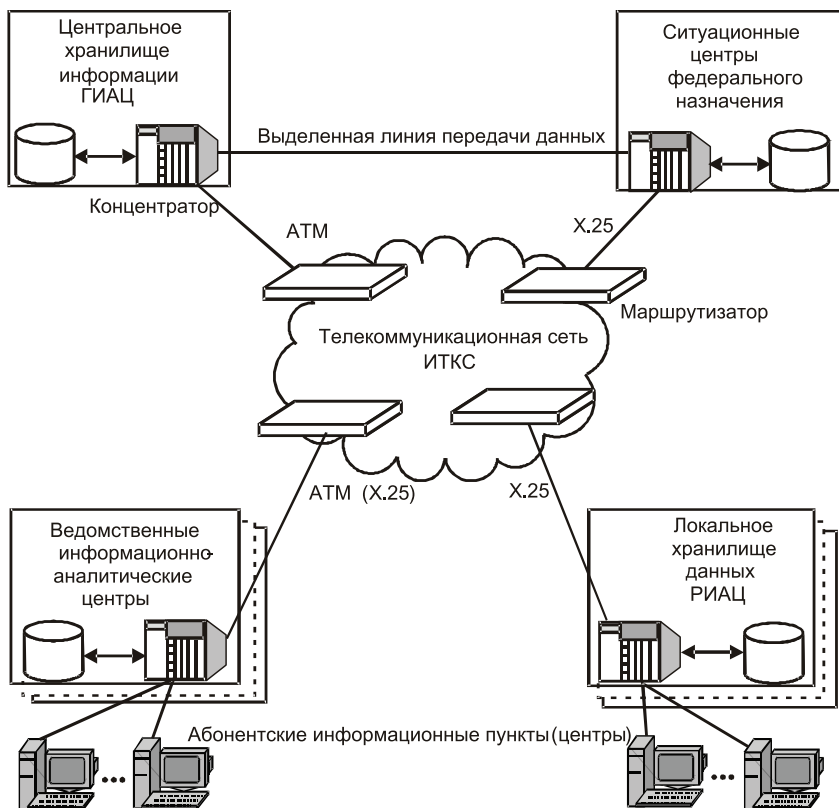


Рис. 2.46. Децентрализованная структура ИС

(ИЦ) к пользователям, что значительно упрощает обмен информацией. Для таких систем характерны высокая гибкость и малая инерционность. К недостаткам следует отнести сложность, а иногда невозможность координации действий отдельных подсистем, что в конечном счете затрудняет достижение общей цели функционирования ИС.

К середине 90-х гг. эволюция ИС вошла в очередную критическую фазу, когда централизованная архитектура стала неадекватной современным информационным технологиям, а децентрализованные системы не обеспечивали необходимых уровней управляемости, надежности, информационной безопасности и затрат.

Основной способ преодоления недостатков полностью децентрализованных систем состоит в разумной концентрации информационных и вычислительных ресурсов системы, благодаря которой конечные пользователи освобождаются от выполнения функций, не соответствующих их профессиональным задачам (в частности, связанных с системным администрированием), и от выделения специальных подсистем, ответственных за администрирование, а в ИС специального назначения – и за информационную безопасность.

Административная система предназначена для административного управления информационной системой. Ее задачи заключаются в проверке работоспособности компонентов ИС, их восстановлении, введении в работу новых компонентов при расширении или модернизации ИС и др.

Основой построения систем этого типа является смешанный способ, предусматривающий централизацию ресурсов системы и распределенную обработку. При этом способе построения сравнительно небольшие объемы информации обрабатываются в спутниковых подсистемах (базах данных), а основная ее часть – в суперподсистеме. Концентрация большей части нагрузки на суперподсистему является необходимым условием повышения эффективности ИС; это позволяет оптимизировать структуру исполнительных ресурсов при минимизации затрат на реализацию системы. Кроме того, этот способ построения позволяет без нарушения системы в целом модифицировать ее отдельные элементы (в частности, увеличить количество рабочих станций, подключенных к спутниковой подсистеме обработки информации, или заменить сервер на более мощный). Смешанный способ построения применяется при строительстве информационной подсистемы информационно-телекоммуникационной системы (ИТКС). На рис. 2.47 показана обобщенная схема обмена информацией в ИС Федерального казначейства и Госкомстата.

Информационная система представляет собой совокупность взаимосвязанных информационно-аналитических центров, распределенных по территории РФ. Она выполняет две основные функции:

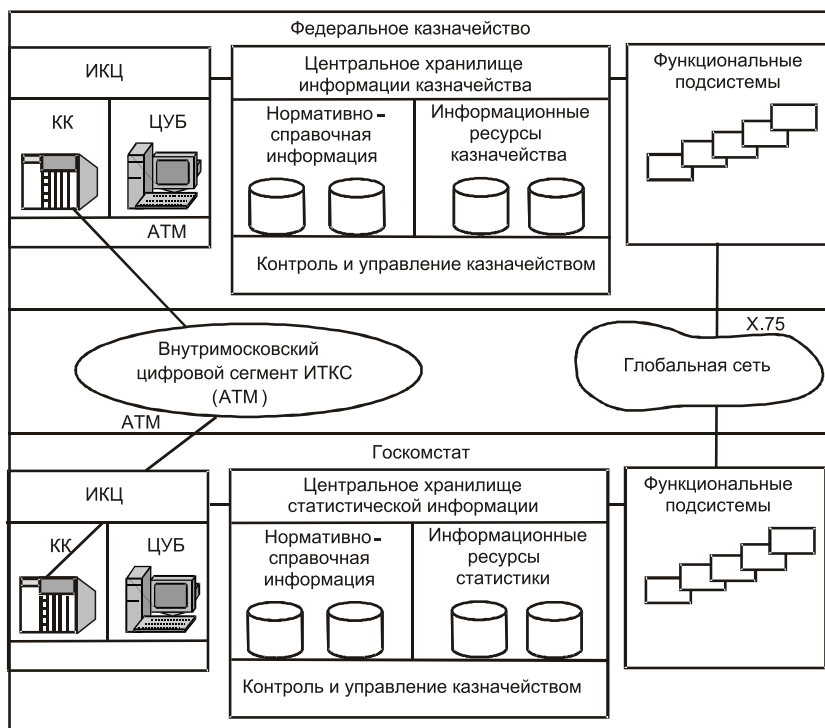


Рис. 2.47. Обобщенная схема обмена информацией в ИС Федерального казначейства и Госкомстата

- 1) ввод, обработку, хранение информации на нижних уровнях;
- 2) обобщение информации от нижних уровней и подготовку ее для вышестоящих органов государственной власти.

В рамках выполнения первой функции созданы региональные информационно-аналитические центры (РИАЦ) с соответствующими программно-аппаратными средствами приема, обработки, хранения информации и предоставления ее по требованию пользователей на своем уровне или в информационно-аналитические центры (ИАЦ) вышестоящего уровня.

Вторая функция реализуется посредством информационного обмена (он-лайн, электронная почта, телеконференции), средств коллективной подготовки решений (электронный документооборот), средств преобразования данных при взаимодействии различных систем (нормирование), стандартизации информационного взаимодействия, анализа информации и ее подготовки для пользователей более высокого уровня.

В настоящее время не существует единой классификации информационных систем. Поскольку долгое время различные направления ИС развивались относительно независимо, то целесообразно их разделить на две основные группы: системы информационного обеспечения и системы, имеющие самостоятельные целевые назначения и области применения.

Системы информационного обеспечения входят в состав любой АСУ. Они являются важнейшими компонентами интенсивно развиваемых в настоящее время систем интегральной автоматизации производственных систем, систем управления войсками, систем автоматизированного проектирования и т. д.

Информационные системы, имеющие самостоятельное значение, классифицируются по ряду указанных далее признаков (рис. 2.47) [6, 19].

1. По типу хранимых данных:

- документальные информационно-поисковые системы (ДИПС) предназначены для хранения и обработки документальных данных;
- фотографические информационно-поисковые (ФИПС) системы хранят и обрабатывают фотографическую информацию (структурированные данные в виде чисел и текстов).

2. По характеру обрабатываемой и хранимой информации:

- информационно-справочные системы (ИСС) выполняют поиск и ввод информации без ее обработки;
- информационные системы обработки данных (ИСОД) сочетают в себе информационно-справочную систему с системой обработки данных;
- информационно-поисковые системы (ИПС) производят ввод, систематизацию, хранение, выдачу информации по запросу пользователя;
- информационно-расчетные системы (ИРС) осуществляют все операции обработки информации по определенному алгоритму. В свою очередь, ИРС делятся на управляющие и советующие. Управляющие ИС вырабатывают информацию, на основании которой лицо, принимающее решение (ЛПР), принимает решение. Советующие ИС выдают информацию, которая принимается ЛПР к сведению.

3. По степени автоматизации:

- ручные ИС, которые характеризуются отсутствием технических средств обработки информации (все операции выполняются человеком);
- автоматизированные ИС предполагают участие в процессе обработки информации человека, а также технических средств, причем главная роль отводится компьютерам;
- автоматические ИС выполняют все операции по обработке информации без участия человека.

4. По уровню управления:

- стратегические ИС обеспечивают поддержку принятия решения по реализации перспективных стратегических целей развития объекта (предприятия, организации и т. п.);

- оперативные (операционные) ИС обеспечивают поддержку принятия решения.

5. По назначению:

- абонентские ИС предназначены для предоставления пользователям информационных ресурсов от баз данных (БД) ЭВМ;

- административные ИС предназначены для административного управления;

- терминальные ИС – системы, программное обеспечение которых предназначено для управления терминалами;

- рабочие ИС – системы, в которых ресурсы ЭВМ сосредоточены только на обработке информации. В рабочих ИС нет «своих» терминалов пользователей – доступ к рабочей системе возможен только через телекоммуникационную сеть;

- комбинированные ИС. В этих системах имеются общие для всех ресурсы (как в рабочих системах) и обеспечивается управление «своими» терминалами (как в терминальной системе).



Рис. 2.48. Классификация информационных систем

Современные подсистемы хранения, обработки и доставки информации (информационно-аналитические центры) ИС имеют высокое быстродействие, большой объем памяти. Каждая из них может одновременно работать со значительным числом местных и удаленных пользователей. Успехи, связанные с созданием больших информационных систем, привели к тому, что появились крупные информационно-аналитические центры (ИАЦ), хранящие разнообразную информацию, необходимую работникам всех отраслей народного хозяйства. Количество крупных ИАЦ быстро растет и только в нашей стране уже исчисляется многими сотнями.

Какой бы большой ни была суперподсистема хранения, обработки и предоставления информации, она не в состоянии хранить и обрабатывать все ее виды, поэтому в соответствии с вышерассмотренными способами построения ИС наиболее перспективным является обработка информации как в суперподсистеме, так и в спутниковых элементах. Для связи между ИАЦ информационных систем созданы информационные сети (ИС), которые называют информационно-коммуникационными сетями (ранее они назывались вычислительными, но поскольку вычислительные задачи составляют лишь часть всех информационных задач, то более корректно называть их информационными сетями).

Информационная сеть представляет собой функционально связанную совокупность программно-технических средств обработки и обмена информацией и состоит из территориально распределенных информационных узлов (подсистем обработки информации) и физических каналов передачи информации.

Для описания принципов построения ИС используются физическая, логическая, информационная и маршрутная структуры, а также понятие архитектуры ИС, определяющей принципы ее функционирования в целом.

Физическая структура ИС характеризует множество территориально распределенных информационных узлов (подсистем, ИАЦ), реализующих ту или иную совокупность информационных процессов на базе программно-аппаратных средств. Эти узлы соединяются физическими каналами передачи информации (каналами связи), обеспечивающими взаимодействие этих подсистем.

В формализованном виде физическую структуру можно представить неориентированным графом $G(V, U)$, содержащим конечное множество V узлов, соответствующих информационным узлам ИС, и конечное множество U ребер, соответствующих каналам связи, или матрицей $\|S\| = \|s_{ij}\|$; $i, j \in V$, где $s_{ij} = 1$, при наличии ребра между вершинами i и j ; $s_{ij} = 0$ – в противном случае.

Информационная структура ИС определяется потребностями отдельных абонентов (пользователей) в обмене информацией и является совокупностью пространственно распределенных информационных узлов и путей доставки информации между ними. Информационная структура может совпадать с физической структурой, а может и отличаться. Так, одной физической структуре могут соответствовать несколько информационных структур, поскольку множество различных информационных пользователей (ИП) в узлах сети могут иметь различные потребности во взаимосвязи с другими ИП. Обычно потребности во взаимосвязи характеризуются матрицей интенсивностей информационного обмена $\|\Lambda\| = \|\lambda_{ij}\|$, определяющей максимальную интенсивность информационного обмена λ_{ij} (для часа наибольшей нагрузки) между парой ИП одного или различных узлов связи.

Маршрутная структура ИС описывает множество адресуемых элементов сети (информационных узлов, ИАЦ, подсистем) и множество реализованных путей доставки между этими элементами. В формализованном виде маршрутная структура сети может быть описана в виде матрицы

$$\|S^m\| = \|\pi_{ij}\| \cdot V_{ij}, \quad \pi_{ij} \in \Pi, \quad V \in \Lambda, \quad (2.39)$$

где Π – путь от i -го к j -му ИП.

Логическая структура ИС определяется множеством типов ИП, реализуемых сетью, функциональными возможностями ИП, правилами обмена информацией и ее обработки, форматами предоставления информации. В формализованном виде логическая структура может быть описана как

$$S^{\Lambda} = (P, F, R, C) \quad (2.40)$$

где P – множество типов ИП; F – множество функций обработки и обмена, реализуемых ИП; R – множество правил обработки информации и протоколов взаимосвязи; C – множество способов предоставления информации при ее обработке и передаче, а также соответствующих им форматов.

Архитектура ИС, являясь независимой от физической реализации элементов сети и физической структуры, обобщает информационную, логическую, маршрутную структуры, определяет модель ИС, основные компоненты данной модели и функции, выполняемые ими.

Примером хорошо проработанной и стандартизированной международной организацией стандартов (МОС) архитектуры для ИС является семиуровневая архитектура эталонной модели взаимосвязи открытых систем, подробному рассмотрению которой посвящена данная глава.

Концептуальную модель информационной сети можно представить в виде функциональной архитектуры, содержащей три уровня описания ее функций:

- первый уровень (центральный) описывает функции и правила взаимосвязи при передаче различных видов информации между территориально удаленными абонентскими системами (ИАЦ) по физическим каналам связи (первичной сети связи) транспортной сети;

- второй уровень – функции и правила обмена информацией между пользователями различных абонентских систем – реализуется телекоммуникационной сетью, представляющей собой единую инфраструктуру для обмена различными видами информации между пользователями информационной сети;

- третий уровень – совокупность прикладных процессов, размещенных в территориально удаленных абонентских системах, являющихся потребителями информации и выполняющих ее содержательную обработку.

Под прикладными процессами в модели ИС понимается тип информационных процессов, ориентированных на выполнение функций семантической обработки информации в узлах сети в контексте решаемой задачи.

Со структурной точки зрения ИС состоит из следующих элементов:

- телекоммуникационной сети, представляющей собой совокупность коммуникационных узлов, соединенных каналами первичной сети и обеспечивающей передачу информации между территориально распределенными абонентскими системами и реализующей в рамках ЭМВОС функции трех нижних уровней функциональной архитектуры;

- абонентских систем (АС), представляющих собой комплекс программно-аппаратных средств, реализующих функции как обработки информации, так и взаимосвязи потребителей информации, обеспечивая тем самым доступ абонентов к телекоммуникационной сети.

Основой построения функциональной архитектуры современных телекоммуникационных сетей является профиль протоколов (совокупность правил), обеспечивающий реализацию функций взаимосвязи в ТС и предоставляющий абонентам услуги по передаче любого вида информации с ориентацией на интеграцию всех видов услуг в рамках единой сети. Пример применения информационной сети изображен на рис. 2.49.

Информационная сеть строится с использованием современных технологий *X.25*, *ATM*, *Frame Relay*, обеспечивающих своевременную и достоверную доставку сообщений как от ИАЦ в суперИАЦ, так и между ИАЦ.

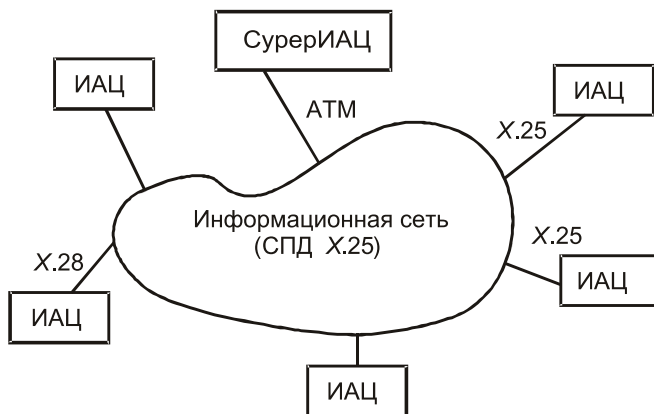


Рис. 2.49. Структура информационной сети:
ИАЦ – информационно-аналитический центр

Таким образом, информационные сети выполняют в основном три функции: коммутацию сообщений, их передачу между ИАЦ и предоставление информации по запросам пользователей (абонентов).

Информационные сети имеют ту же классификацию, что и сети документальной связи, которые будут рассмотрены в шестой главе.



2.7. Эффективность функционирования систем (сетей) связи

Жизнь современного общества немыслима без широкого использования разнородных систем передачи информации. Эти средства непрерывно совершенствуются и развиваются. Объемы информации с каждым годом возрастают, увеличивается дальность связи, повышаются требования к качеству передачи. В связи с этим на передний план выдвигается задача по управлению сложными системами (СС).

Под управлением понимается процесс формирования рационального поведения сложной системы на различных этапах ее функционирования. Сущность управления составляют процессы подготовки и принятия решения соответствующими должностными лицами, его детализация в ходе планирования связи, развертывание и применение сил и средств, организация взаимодействия и всестороннего обеспечения, а также контроль их исполнения. Цель управления состоит в обеспе-

чении максимальной эффективности использования имеющихся сил и средств при решении поставленных задач. В связи с этим важное значение приобретает задача по совершенствованию принципов и критериев принятия решений, составным элементом которой является оценка эффективности целенаправленных процессов функционирования систем (ЦПФС).

В основе решения задач должен лежать системный подход, который означает, что интересующий нас объект нужно рассматривать не только во взаимосвязи с другими объектами, но и как систему. Целью изучения эффективности функционирования системы (сети) связи является приобретение сведений для выработки рекомендаций лицу, принимающему решение, для рационального выбора стратегий, обеспечивающих успешное выполнение системой (сетью) связи стоящих перед ней задач.

Проблемам оценки эффективности функционирования сложных систем посвящено большое количество работ [2, 3, 12–14, 18, 24, 26], в которых не всегда используется однозначная терминология, что затрудняет изучение основ теории эффективности.

2.7.1. Общие положения, цели и задачи оценки эффективности функционирования системы связи

Теория эффективности целенаправленных процессов, к которым относится и функционирование систем и сетей связи, составляет методологическую и математическую основы модельного экспериментирования со сложными объектами (системами и процессами) на основе выявления показателя эффективности и определения критериев их оценивания.

Основными понятиями теории эффективности являются система, сложная система, цель, операция, подсистема, элемент системы, комплекс, задача системы, стратегия, целевой эффект операции, ресурсы, свойство, операционная система, операционный комплекс, качество.

Система – это множество (совокупность) взаимосвязанных объектов (элементов системы).

Сложная система (СС) – система, характеризующаяся множеством возможных состояний, каждое из которых описывается набором значений ее конкретных параметров. СС характеризуется сложным строением и сложным поведением. Все рассматриваемые в теории эффективности системы – сложные.

Цель – это требуемый (желаемый) исход операции. Пока нет цели, нет и операции. В рамках теории эффективности предполагается, что цель операции – единственная. Операцию, преследующую несколько

целей, рассматривают как совокупность одноцелевых операций. Эффективность отдельных таких операций может быть разной. Если цели этих операций взаимосвязаны, то иногда их совокупность может рассматриваться как одна обобщенная цель. Цель считается достигнутой, если путем преобразования функционирующей системой некоторых ресурсов получен желаемый результат (исход операции).

Под *операцией* понимают упорядоченную совокупность (систему) взаимосвязанных действий, направленных на достижение определенной цели (рис. 2.50).

Применительно к системе связи операция – это целенаправленный процесс ее функционирования. Именно наличие общей цели объединяет множество объектов в систему. Атрибутом операции является конечная ее длительность, называемая операционным временем. Различают операции положительные и отрицательные, прямые и косвенные (побочные).

Кроме того, в рамках каждого из блоков данного рисунка результаты могут быть однородными и неоднородными.

Подсистема (субсистема) – это сложная система меньшего масштаба, чем исходная, организационно входящая в последнюю и реализующая самостоятельную операцию, цель которой подчинена цели операции, проводимой исходной системой, являющейся по отношению к подсистеме суперсистемой.

Элемент системы – это объект, входящий в состав системы, но не имеющий в рамках конкретной операции самостоятельной цели и не подлежащий расчленению на части.

Понятия подсистемы и элемента сугубо модельные и в этом смысле условные. Так, одна и та же совокупность объектов в рамках одной операции может быть элементом, в рамках другой – подсистемой, в рамках третьей – системой или даже суперсистемой.

Элементы сложной системы функционируют во взаимодействии, в результате чего свойства сложной системы определяются не только



Рис. 2.50. Классификация операций

(и не столько) свойствами ее элементов и подсистем, но и характером взаимодействия между ними, т. е. новыми так называемыми системными свойствами.

Комплекс – это совокупность объектов (подсистем, элементов) различной физической природы, объединенных общей целью, но с менее жесткими, чем в системе, организационными связями.

Задача системы – это требуемый исход операции, который должен быть достигнут в результате функционирования системы (системы связи) при заданном расходе ресурсов в единицу времени. Другими словами, задача представляет собой конкретизированную цель. По существу, цель операции становится задачей системы, если конкретизированы количественные характеристики требуемого результата и отпускаемых на его получение ресурсов и времени. Практически цель операции достигается путем выполнения системой последовательности задач. Если цель операции сформулирована (задача системы поставлена), то может быть начата разработка альтернативных способов (планов, программ) достижения цели (выполнения задачи). Из набора альтернативных планов наилучший выбирается на основе тех или иных концепций и вытекающих из них принципов, которые формально выражаются в форме критериев (правил суждения).

Стратегия – это определенная организация и способ проведения операции (применения системы связи).

Результатом операции является совокупность всех ее эффектов (последствий).

Целевой эффект операции – это результат, ради получения которого проводится операция.

Ресурсы – это запасы сырья, энергии, информации, времени, а также технические и человеческие ресурсы, необходимые для проведения операции и получения требуемого целевого эффекта. Ресурсы могут быть классифицированы по структуре и по динамике превращения в целевой эффект. По структуре ресурсы делятся на однородные и неоднородные. Однородность ресурсов существенно упрощает исследование операции и ее эффективности, однако подобные операции крайне редки (если вообще существуют). Различают ресурсы активные и пассивные, динамические и статические.

Активными (А) называются ресурсы, непосредственно превращающиеся в целевой эффект. Пассивными (П) называются ресурсы, участвующие в получении целевого эффекта, но непосредственно в него не превращающиеся. Динамическими (Д) называются ресурсы, расходуемые на получение целевого эффекта в ходе операции. Статическими (С) называются ресурсы, расходуемые при создании системы и органи-

зации целенаправленного процесса ее функционирования. Для типичных операций, как правило, используются следующие ресурсы:

- сырьевой (А, Д);
- энергетический (А, Д);
- структурный ВТС (П, Д);
- технический (П, С);
- технологический (П, С);
- информационный (П, Д);
- временной (П, Д);
- трудовой;
- человеческий (П, Д) и т. д.

Свойство – это объективная особенность объекта, зависящая от его строения и характеризующая отдельную его сторону (аспект).

Различают внутренние (структурные) и внешние (функциональные) свойства. Внутренние свойства присущи самой системе (например, пропускная способность, мобильность и др.), а внешние оказывают влияние на суперсистему (например, своевременность, достоверность и др.). Эти свойства диалектически взаимосвязаны и определены ГОСТами (табл. 2.5).

Операционная система (ОС) – это совокупность объектов (как материальных, так и нематериальных: информация, время и т. д.), в результате взаимодействия которых реализуется операция.

Операционный комплекс (ОК) представляет собой совокупность объектов, содержащую в качестве элементов операционную систему, суперсистему и окружающую среду.

Под *окружающей средой* понимают совокупность объектов, не входящих в операционную систему, непосредственного участия в операции не принимающих, но обуславливающих операционную ситуацию и оказывающих влияние на ЦПФС и его исход.

Каждый исследуемый объект обладает определенными свойствами, обуславливающими его качество.

Квалиметрия – это научная область, в которой разрабатываются методологические основы, методы и методики количественного оценивания и анализа качества объектов.

Качество – это свойство или совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению. В зависимости от назначения объекта (системы) совокупность его свойств, учитываемых при исследовании качества, может быть различной.

Каждое из свойств объекта может быть описано с помощью некоторой переменной, значение которой характеризует меру (интенсивность) его качества относительно этого свойства. Эту меру, представляющую

собой числовую характеристику или функцию, называют показателем свойства или единичным частным показателем качества (ЧПК) объекта (системы, сети связи).

Таблица 2.5

Основные свойства элементов операционного комплекса

Элементы операционного комплекса	Основные свойства
Технические системы	Характеристики строения Состав, структура, масштабы (сложность), надежность и др. Характеристики поведения Мобильность, мощность, производительность, быстродействие, готовность, работоспособность, точность, живучесть, долговечность, экономичность и др.
Целенаправленные процессы функционирования системы (ЦПФС)	Общие Масштабность, продолжительность, устойчивость (помехоустойчивость) Операционные Результативность, ресурсоемкость, оперативность, эффективность и др.
Результаты ЦПФС	Прямые – целевые Объем (величина) целевого эффекта. Качество целевого эффекта: точность, достоверность, информативность, содержательность, полнота, своевременность Косвенные – побочные Расход операционных ресурсов. Расход операционного времени
Ресурсы	Объем (количество). Состав (структура). Качество. Динамичность. Активность и др.

Уровень качества объекта характеризуется значениями совокупности показателей его существенных атрибутивных свойств (АС), т. е. свойств, необходимых для соответствия объекта его назначению. Эта совокупность называется показателем качества (рис. 2.51).

Показатель качества объекта представляет собой вектор, компоненты которого – показатели его отдельных свойств, представляющие собой частные, единичные показатели качества объекта.

Учитывая это, состояние системы связи в любой момент времени можно описать с помощью вектора показателей качества:

$$\vec{Y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)], \quad (2.41)$$

где $y_1(t), \dots, y_n(t)$ – компоненты векторного показателя качества, характеризующие наиболее существенные свойства элементов военной системы связи (собственно системы связи или системы информационного обмена (СИО) и системы управления (СУ)) и процесса их функционирования.

Изучение любого объекта (системы, сети связи) ведется либо с учетом взаимосвязи с другими объектами (например, система связи, являясь составной частью системы управления, должна учитывать ее интересы), либо без учета.

Показатели качества, как и свойства, делятся на собственные и несобственные.

Собственные (или внутренние) показатели качества предназначены для изучения системы по разомкнутой схеме, когда система рассматривается как самостоятельная, не связанная с суперсистемой (старшей системой).

Несобственные (или внешние) показатели предназначены для исследования влияния качества функционирования изучаемой системы на характеристики суперсистемы на основе выбранных критериев.

Критерий оценивания качества – это руководящее правило (условие или совокупность условий), вытекающее из принятых (положенных в основу исследования) концепций и принципов оценивания, которое реализуется при принятии того или иного решения (проектного, организационного, управленческого и т. д.) о качестве исследуемого объекта.

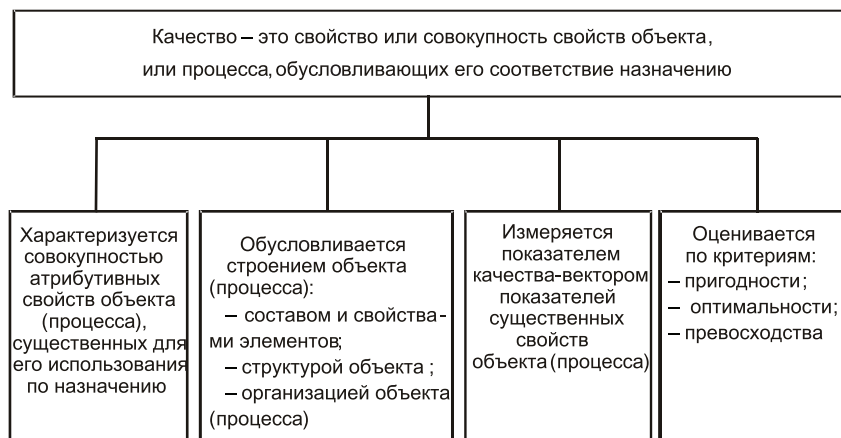


Рис. 2.51. Понятие «качество» применительно к объектам и процессам любой природы

Другими словами, под критерием будем понимать правило, на основании которого производятся оценка, определение или классификация [4].

При оценивании качества любого объекта, описываемого n -мерным векторным показателем, рассматривается совокупность критериев, каждый из которых в общем случае может принадлежать (рис. 2.52):

- 1) классу G критериев пригодности,
- 2) классу O критериев оптимальности,
- 3) классу S критериев превосходства.

Рассмотрим формализованную постановку задачи. Пусть $\bar{Y} = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ – вектор частных показателей эффективности. Например, для системы контроля и диагностики технического состояния радиорелейной линии передачи такими показателями могут быть точность оценки контролируемых параметров, достоверность диагностических решений, оперативность выработки диагностических решений, достоверность прогноза состояния и т. д.

В реальных ситуациях доступным для оценки таких показателей является вектор случайных величин с совместным распределением:

$$F(\bar{Y}) = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T. \quad (2.42)$$

Как правило, требования к системе задаются в виде области допустимых значений $\{Y^{\text{доп}}\}$. Тогда критерий пригодности системы принимает вид

$$\bar{Y} \in \{Y^{\text{доп}}\}. \quad (2.43)$$

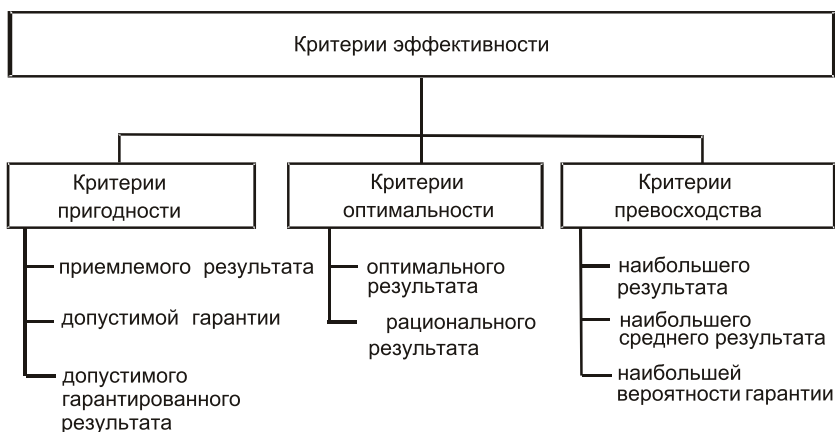


Рис. 2.52. Классификация критериев эффективности

Критерий превосходства позволяет оценить систему на основе сопоставления ее параметров с параметрами прототипа Y' :

$$\bar{Y} > Y' \text{ или } \bar{Y} < Y'. \quad (2.44)$$

Очевидно, что критерии пригодности и превосходства не гарантируют наилучшее качество исследуемой системы. Наиболее строгим является решение при выполнении критерия оптимальности:

$$\bar{Y} \rightarrow \text{extr}. \quad (2.45)$$

Главным образом, критерии превосходства и оптимальности должны выполняться при условии выполнения критерия пригодности.

Оценка качества – числовая характеристика показателя качества, получаемая опытным путем или с помощью расчетов (при косвенных измерениях) с использованием модели показателя качества.

По определению, качество – это свойство или совокупность существенных свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению. Применительно к целенаправленному процессу подобные его свойства (атрибуты) называются операционными. К ним относятся результативность, ресурсоемкость и оперативность.

Результативность ЦПФС характеризуется получаемым в его результате целевым эффектом. Она обуславливается способностью операции давать целевой эффект (т. е. результат, ради которого проводится операция). Применительно к связи это свойство операции (процесса обмена информацией) называется достоверностью.

Ресурсоемкость ЦПФС характеризуется расходом операционных ресурсов всех видов (материально-технических, энергетических, информационных, временных, финансовых, человеческих и т. д.), необходимых для проведения операции и получения целевого эффекта.

Оперативность ЦПФС характеризуется расходом операционного времени, т. е. времени, необходимого для достижения цели операции. Применительно к связи это свойство называется своевременностью.

Эффективность – это комплексное операционное свойство целенаправленного процесса функционирования системы, характеризующее его приспособленность к достижению цели реализуемой ТС операции (к выполнению стоящей перед ТС задачи).

Таким образом, из этого определения следует, что эффективность является свойством не системы, а процесса ее функционирования, при-

чем не любого, а только целенаправленного, т. е. операции, выполняемой системой.

Показатель эффективности операции должен удовлетворять совокупности общих требований:

- представительность (адекватность);
- критичность (чувствительность);
- комплексность (полнота);
- стохастичность;
- простота.

Показатель представительности позволяет оценивать эффективность операции по достижении ее основной (а не второстепенных) цели. Цель операции должна находить свое прямое отображение в показателе ее эффективности. Показатель критичности чувствителен к изменениям исследуемых характеристик. Показатель комплексности позволяет решать задачу по исследованию эффективности операции без привлечения других ее характеристик. Показатель стохастичности позволяет учитывать неопределенность условий проведения операции, обусловленную воздействием случайных факторов и всегда сопутствующую исследованию операции (ее эффективности).

Показатель эффективности должен быть достаточно простым (при необходимой комплексности), чтобы его вычисление и последующий анализ эффективности операции могли быть реализованы в приемлемые сроки и наглядно интерпретированы. Всем перечисленным требованиям удовлетворяет показатель эффективности, представляющий собой вероятность достижения цели операции $P_{\text{дц}}$, или вероятность соответствия системы связи своему функциональному назначению:

$$P_{\text{дц}} = P(Y_i \in \{Y^{\text{доп}}\}). \quad (2.46)$$

Критерий оценивания эффективности – совокупность условий, определяющих цели операции и в соответствии с ними пригодность, оптимальность или превосходство исследуемой операции. Критерием может быть достижение показателем эффективности максимального значения в выбранном классе исходных данных:

$$P(\bar{Y} \in \{Y^{\text{доп}}\}) \rightarrow \text{extr}, \quad (2.47)$$

либо при заданных ограничениях – превышение показателем эффективности некоторого априори заданного требования (или соответствующего показателя системы прототипа):

$$P(\bar{Y} \in \{Y^{\text{доп}}\}) \geq P_{\text{дц}}^{\text{тр}}, \quad (2.48)$$

$$P(\bar{Y} \in \{Y'\}) \geq P_{\text{дц}}^{\text{тр}}. \quad (2.49)$$

Следует отметить, что критерии (выражения (2.48)–(2.49)) позволяют наиболее полно и объективно оценить эффективность функционирования объекта (системы, сети связи). Однако их реализация на практике связана со значительными трудностями, обусловленными отсутствием достаточной информации о законе распределения параметров F . В настоящее время существуют различные подходы к выбору показателей, критериев и оценке эффективности объектов (систем, сетей связи). В каждом конкретном случае от специалиста в области связи требуется умение выбрать из всего многообразия методов наиболее оптимальный.

2.7.2. Основные подходы к оценке эффективности функционирования систем связи

Оценка эффективности функционирования систем связи может проводиться как на этапе планирования, так и в процессе их развертывания, эксплуатационного обслуживания и свертывания. Для этапа планирования характерно введение ряда ограничений, связанных с недостаточными данными о возможном воздействии на систему связи различных дестабилизирующих факторов. На этапе планирования в основном применяется вероятностный подход оценки эффективности системы связи. В ходе функционирования системы связи в органы управления постоянно поступает информация о состоянии системы связи и ее элементов. На основании полученной информации проводится статистическая оценка эффективности функционирования системы связи.

В рамках рассматриваемых подходов существует множество методов оценки эффективности, которым посвящено большое количество работ. Их анализ позволяет выделить несколько этапов в развитии теории эффективности. К начальному этапу можно отнести период до середины 70-х гг., когда анализ эффективности функционирования сложных систем передачи информации проводился путем оценки отдельных их свойств, а результатами оценки эффективности являлись оценки отдельных ПК системы. Так, при изучении проблемы формирования и обработки различного рода сигналов оценивали эффективность, опираясь на вероятность ошибки; при рассмотрении ресурсов на сетях –

надежность; при учете вопросов о радиоэлектронной борьбе (РЭБ) – помехоустойчивость и т. д.

В конкретных условиях обстановки эффективность функционирования системы (сети) связи W_{cc} можно оценивать по частным показателям (мобильности, пропускной способности, устойчивости функционирования, управляемости и др.):

$$W_{cc}^{м, пс, уф, у} = \frac{W_{полученный}^{м, пс, уф, у}}{W_{требуемый}^{м, пс, уф, у}}. \quad (2.50)$$

Однако, как правило, такая оценка не может дать необходимого представления о свойствах системы даже при сравнительной оценке вариантов структуры с целью выбора предпочтительного варианта из нескольких.

Начиная с 1975 г., анализ эффективности функционирования начал проводиться с привлечением нескольких показателей эффективности и последующим решением задачи по оптимизации на основе нескольких критериев, что вызывало определенные трудности в вычислениях. Избежать этого стало возможно при использовании системы из основного и дополнительных показателей. Основным показателем должен соответствовать главной цели действия, достижением которой решается поставленная задача. Дополнительные показатели призваны характеризовать другие значимые свойства системы.

Очевидно, что основным функциональным назначением системы связи является своевременная передача поступающих сообщений с требуемой безопасностью и достоверностью. При проектировании системы связи объемы поступающих сообщений различного вида определяются в соответствии с руководящими документами или со статистическими данными. В качестве основного показателя эффективности функционирования может использоваться объем своевременно переданной в единицу времени (час наибольшей нагрузки) нагрузки при выполнении уровней требований по безопасности и достоверности:

$$\Lambda \left[P(t_{cc} \leq t_{cc}^{тр}) \right] \left| \begin{array}{l} P_{ош} \leq P_{ош}^{тр} \\ P_{нсд} \geq P_{нсд}^{тр} \end{array} \right., \quad (2.51)$$

где $P_{ош}$, $P_{ош}^{тр}$ – вероятности ошибочного приема; $P_{нсд}$ – вероятность защиты от несанкционированного доступа к системе связи; t_{cc} – время передачи сообщения по системе связи.

Поскольку оперировать абсолютными величинами объемов своевременно переданной нагрузки Λ неудобно, то от абсолютных величин можно перейти к относительным по правилу:

$$Z = \begin{cases} \frac{\Lambda[P(t_{cc} \leq t_{cc}^{TP})]}{\Lambda^{TP}[P(t_{cc} \leq t_{cc}^{TP})]} & \text{при } \Lambda < \Lambda^{TP}, \\ 1 & \text{при } \Lambda \geq \Lambda^{TP}. \end{cases} \quad (2.52)$$

Свойства системы связи, которые не нашли отражения в основном показателе, оцениваются с помощью дополнительных показателей, которых может быть несколько в зависимости от условий и целей исследования. Как правило, в их основе лежат частные показатели системы связи, оценивающие ее внутренние свойства (устойчивость, мобильность, ресурсопотребление). Дополнительные показатели также могут быть выражены как в абсолютных, так и в относительных единицах.

Таким образом, оценку эффективности функционирования системы связи можно проводить по одному основному и нескольким дополнительным показателям при введении ограничений на ресурсопотребление, например

$$W_{cc} = E(\Lambda, P_{cr}, R_{cc} \leq R_{cc}^{max}), \quad (2.53)$$

где Λ – объем своевременно переданной нагрузки; P_{cr} – вероятность своевременной готовности; $R_{cc} \leq R_{cc}^{max}$ – ограничения на ресурс используемой техники и обслуживающего персонала в сети связи.

К началу 80-х гг. сформировалось несколько подходов к сведению совокупности основного и частных показателей к одному обобщенному (свертка совокупности показателей к одному). К ним можно отнести методы дробного представления показателя эффективности, суммирования показателей эффективности с различными весовыми коэффициентами, представления обобщенного показателя как условной вероятности основного показателя относительно выполнения требований дополнительных показателей эффективности.

Метод дробного представления показателя эффективности состоит в том, что обобщенный показатель эффективности (ОПЭФ) W_{cc} представляется в виде дроби, в числителе которой стоят частные показатели, значения которых желательно увеличить, а в знаменателе – параметры, требующие уменьшения:

$$W_{cc} = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_n}{W_{11} + W_{22} + \dots + W_{nk}}. \quad (2.54)$$

Основным недостатком этого метода является то, что один показатель может быть скомпенсирован за счет другого.

Представление обобщенного показателя как условной вероятности основного при условии выполнения требований дополнительных показателей эффективности в общем виде может быть записано следующим образом:

$$P_{\text{дц}} = P(\vec{Y}_{\text{осн}} / Y_1 \in \{Y_1^{\text{тп}}\}, Y_2 \in \{Y_2^{\text{тп}}\}, \dots, Y_j \in \{Y_j^{\text{тп}}\}), \quad (2.55)$$

где $Y_j, Y_j^{\text{тп}}$ – частные показатели качества (ПК) функционирования системы связи и требования к ней.

Суммирование показателей эффективности с различными весовыми коэффициентами рассматривается в теории полезности. Каждому показателю исследователем присваивается коэффициент важности (предпочтения) $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_j$ с различными знаками (положительными или отрицательными). Самому важному показателю присваивается наибольший коэффициент, а тем показателям, увеличение которых нежелательно, – отрицательные весовые коэффициенты. Обобщенный показатель $W_{\text{сс}}$ определяется исходя из выражения

$$W_{\text{сс}} = \sum_{j=1}^J \alpha_j \cdot W_j, \quad (2.56)$$

где α_j – весовые коэффициенты j -й сети связи; W_j – частные показатели эффективности. При таком методе обобщенному показателю в меньшей степени присущи недостатки предыдущего способа, но появляется риск внести фактор субъективности за счет весовых коэффициентов и исказить первоначальные данные.

Наиболее продуктивной оказалась методология вероятностного анализа эффективности, развитая в работах Г.Б. Петухова, В.М. Терентьева. Их метод основан на представлении ОПЭФ как условной вероятности соответствия основного показателя требуемому значению при совместной вероятности соответствия дополнительных показателей, выведенным в ранг дополнительных (2.55).

Преимуществами этого метода являются учет случайного характера изменения большинства ПК системы связи, а также реальная возможность автоматического решения основных проблем многокритериальной оценки качества и эффективности системы связи (нормирования компонентов векторных ПК и их свертки). Метод основывается на поэтапном вычислении частных показателей эффективности (ЧПЭФ) на каждом шаге оценивания и свертке их в ОПЭФ на этом же шаге и реализуется с помощью математического аппарата условных вероятностей и теорем функциональной и параметрической декомпозиции.

Недостатком данного метода является возможность анализа эффективности функционирования системы связи лишь в моменты локальной временной стационарности (т. е. в фиксированные моменты времени), что не учитывает влияние на общую эффективность системы связи воздействий, имеющих динамичный и вероятностный характер.

Развивающийся в последние годы метод векторной оценки эффективности позволяет проанализировать эффективность функционирования систем связи в нестационарных условиях, в динамике их работы и тем самым получать возможность оперативно реагировать на изменения качества и эффективности по ходу функционирования систем. Этот метод использует вероятностно-временные ЧПЭФ и ОПЭФ.

Выбор метода оценки эффективности функционирования систем и сетей связи в каждом конкретном случае определяется степенью освоения того или иного метода, имеющимся вычислительным ресурсом, сложностью исследуемой системы и располагаемым временем.

2.7.3. Экономическая эффективность

Любой вид деятельности связан с распределением или использованием экономических ресурсов – человеческих, материальных или финансовых. В этом смысле все проблемы независимо от того, относятся они к области планирования, финансирования или к какой-либо сфере деятельности, являются одновременно и экономическими проблемами.

Под экономической эффективностью обычно понимается соотношение между экономическим эффектом и затратами ресурсов, необходимых для обеспечения деятельности СС или фактически израсходованных.

Задача по оценке экономической эффективности возникает при сопоставлении вариантов технических решений, требующих значительных капитальных затрат, и планировании развития систем и комплексов связи.

Для сравнительной экономической оценки вариантов используется показатель

$$W_i = 3_i + E_n \cdot K_i, \quad (2.57)$$

где 3_i – текущие затраты по i -му варианту; K_i – капитальные вложения по i -му варианту; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

При произведении расчетов в различных сферах деятельности показатели затрат и вложений имеют различные смысл и содержание.

В качестве универсального измерителя тождественности результатов используется, как и в предыдущих случаях, степень достижения цели при выполнении мероприятий в одинаковых условиях. Так, широко распространенным ОПЭФ является объем полезной работы. Он может характеризоваться самыми разнообразными величинами: количеством информации, переданной или принятой с помощью данного устройства, числом задач каждого типа, решаемых ЭВМ в течение заданного времени, и т. д.

С некоторой долей условности можно оценить экономическую эффективность применительно к решению задач по организации связи. Поскольку организация связи сопровождается расходом ресурсов (материальных, человеческих) и может быть оценена в стоимостном виде, то в зависимости от распределения сил и средств можно выполнять одну и ту же задачу с разными затратами. Следовательно, разница в стоимости выполнения задачи оптимальным и любым другим отличным от оптимального способом дает определенный выигрыш в ОПЭФ.

С другой стороны, если оценить стоимость предотвращенного ущерба и сопоставить ее с затратами на выполнение задач, характеризующих размер израсходованных ресурсов, то также можно судить об экономической эффективности использования техники.

Конкретное содержание ЧПЭФ определяется характером решаемой задачи, назначением и составом оцениваемой системы и заданными ограничениями.

2.7.4. Оценка эффективности функционирования сетей связи по частному показателю устойчивости

Устойчивость – способность сети связи выполнять заданные функции в установленном объеме с требуемым уровнем качества в течение определенного периода или в произвольный момент времени при воздействии различных дестабилизирующих факторов.

Устойчивость сети связи характеризуется живучестью, помехоустойчивостью и надежностью:

$$У = f(Ж, ПУ, Н). \quad (2.58)$$

Живучесть сети связи означает ее свойство сохранять способность к устойчивому функционированию при воздействии на нее дестабилизирующих факторов, существующих вне сети и приводящих к разруше-

нию или значительным повреждениям ее элементов (линий, станций и узлов связи). Все дестабилизирующие факторы можно разделить на два класса: стихийные и преднамеренные. К стихийным факторам относятся такие, как гроза, землетрясение, оползни, разливы рек и т. д., а к преднамеренным – огневые, в том числе ракетно-ядерные, удары противника в условиях войны, действия разведывательно-диверсионных групп и т. п.

Для оценки сети связи широко используются показатели объектовой, структурной и функциональной живучести.

Объектовая (элементная) живучесть – свойство, объективно присущее элементу сети связи – сохранение на некотором интервале времени работоспособности с качеством, не хуже заданного [28].

Под структурной живучестью сети связи (графа) понимается свойство сети (графа) сохранять связность структуры при массовых разрушениях (удалении) отдельных элементов – узлов, линий (вершин, ребер) – или целых участков сети (графа) [28].

Функциональная живучесть – структурная живучесть с наложенными на нее ограничениями по условиям функционирования.

Количественной мерой объектовой живучести элемента сети связи является вероятность его выживания, т. е. вероятность того, что в случае воздействия на элемент поражающего фактора он сохранит свою работоспособность. Структурная живучесть оценивается связностью графа сети, а также величиной структурного ущерба от выхода из строя узлов и линий связи.

Свойство связности для сети связи может быть сформулировано в следующем виде: сеть связи называется связной, если в ней может быть найден хотя бы один прямой или транзитный путь для установления связи между любой парой узлов связи.

Функциональная живучесть определяется путем понижения производительности сети (снижение показателей таких свойств, как своевременность, достоверность и др.) в результате выхода из строя одного из ее элементов.

В общем случае живучесть зависит от масштабов стихии или от возможностей противника наносить поражение сети связи (ее элементам) и от ее защищенности. В условиях современной войны наиболее сильное поражение сетям связи может нанести ядерное и высокоточное оружие (ВТО), поэтому оценку живучести будем проводить главным образом с учетом их поражающих факторов.

Последовательность оценки сети связи по живучести:

1. Моделирование предполагаемого воздействия противника на сеть связи в соответствии с ее предназначением, анализом противника и степени его осведомленности о сети.

2. Определение вероятности выживания отдельных элементов сети связи, т. е. объектовой живучести.

3. Определение структурной живучести сети с учетом объектовой живучести ее элементов.

4. Определение функциональной живучести сети связи с учетом того, что структурная живучесть принимается за потенциально возможную живучесть сети и на нее накладываются некоторые ограничения, связанные с условиями функционирования и алгоритмом ее управления.

Критерием оценки живучести сети связи служит выражение

$$P_{\text{выж. сс}} \geq P_{\text{выж. сс}}^{\text{тр}}, \quad (2.59)$$

где $P_{\text{выж. сс}}$ – вероятность выживания сети связи.

Вместе с тем необходимо отметить, что при планировании связи оценить в целом сеть по критерию (2.59) зачастую затруднительно из-за дефицита времени. В реальных условиях она может быть оценена по направлениям связи (рис. 2.53).

Направление связи – часть сети связи, представляющая собой совокупность линий связи между узлами связи двух пунктов управления.

Количественно направление связи оценивается вероятностью выживания или вероятностью поражения:

$$P_{\text{выж. нс}} + P_{\text{пор. нс}} = 1 \quad (2.60)$$

Под вероятностью выживания направления связи понимается вероятность того, что хотя бы одна линия связи на этом направлении не будет выведена из строя в результате воздействия всех видов оружия, под вероятностью поражения – вероятность того, что все линии (элементы) на этом направлении будут выведены из строя. Вероятность выживания направления связи определяется по формуле

$$P_{\text{выж. нс}} = \prod_{i=1}^I (1 - P_{\text{пор. } i}), \quad (2.61)$$



Рис. 2.53. Направление связи

где $P_{\text{пор. } i}$ – вероятность поражения i -го элемента (линии, станции, узла) на направлении связи; I – количество элементов связи на направлении связи.

В зависимости от площади, занимаемой элементом, вида и мощности взрыва, а также других условий элементы сети связи могут быть объектами точечными, распределенными или линейными. Элемент сети связи относят к точечным, если его линейные размеры не превышают радиуса поражающего действия внешнего воздействующего фактора, а после воздействия он может иметь только одно из двух состояний: либо сохранит работоспособность, либо полностью выйдет из строя. Для распределенного и линейного элементов кроме упомянутых вероятностных оценок вычисляется также величина ущерба, нанесенного каждому компоненту в отдельности.

Вероятность выживания элементов направления связи может быть как условной, так и безусловной.

Условной она является в том случае, когда вычисляется в предположении, что воздействие поражающего фактора состоялось.

Безусловная вероятность выживания элемента сети связи означает ее живучесть в течение определенного периода времени Δt .

Условная вероятность разрушения точечного элемента, являющегося целью, определяется по формуле

$$P_{\text{пор. } i} = 1 - e^{-\rho \frac{2R_n^2}{E^2}}, \quad (2.62)$$

где $P_{\text{пор. } i}$ – вероятность поражения элемента сети связи; $\rho = 0,477$ – постоянная нормального закона; R_n – радиус поражения воздействующего фактора; E – вероятное отклонение центра разрушения от центра объекта [1].

Подставляя выражение (2.62) в (2.61), можно определить, что направление связи сохранится («выживет») с вероятностью

$$P_{\text{выж. нс}} = \prod_{i=1}^I \left[1 - e^{-\rho \frac{2R_n^2}{E^2}} \right]. \quad (2.63)$$

Безусловная вероятность выживания элемента сети связи применяется для оценки живучести распределенных элементов сети.

Распределенный элемент сети связи представляет собой совокупность нескольких точечных элементов, распределенных территориально на значительной площади. В этом случае при оценке живучести элемента по рассмотренной методике вычисляются вероятности пора-

жения его составных частей, затем оценивается состояние элемента в целом. Если же распределенный элемент не может быть разделен на взаимонезависимые (по живучести) части, то вероятность его поражения определяется следующим образом:

$$P_{\text{выж. } i}(\Delta t) = 1 - P_{\text{раз. } i} \cdot \left(\frac{S_{\text{воз. } i}}{S_i} \right), \quad (2.64)$$

где $S_{\text{воз. } i}$ – площадь воздействия, определяемая в следующем виде:

$$S_{\text{воз. } i} = \pi \cdot R_{\text{воз. } i}^2, \quad (2.65)$$

S_i – площадь элемента сети связи:

$$S_i = \pi \cdot R_i^2. \quad (2.66)$$

Отсюда выражение (2.64) принимает вид:

$$P_{\text{выж. } i}(\Delta t) = 1 - P_{\text{воз. } i} \left(\frac{R_{\text{воз. } i}^2}{R_i^2} \right). \quad (2.67)$$

Данное выражение справедливо, если

$$S_{\text{воз}} \leq S_i \text{ или } R_{\text{воз. } i} \leq R_i. \quad (2.68)$$

Структурная живучесть сети связи определяется с учетом того, что направления связи, входящие в сеть, неоднородны как по составу их элементов, так и по важности оконечных узлов связи (пунктов управления). В связи с этим направления связи условно делятся по важности на две-три группы (может быть и более, но обязательным условием является их конечность).

Удельный вес каждой группы g_i устанавливается экспертным путем по согласованию с заказчиком сети связи. Нормирующим условием определения весового коэффициента является равенство единице суммы весов по группам важности направлений связи:

$$\sum_{m=1}^M g_m = 1, \quad (2.69)$$

где M – количество групп направлений связи.

Тогда, вычислив вероятность выживания направлений связи в каждой группе важности по вышерассмотренной методике, определим средневзвешенную вероятность выживания по всей сети связи:

$$P_{\text{Выж. СС}} = \sum_{i=1}^J (g_m \cdot P_{\text{Выж. НС } i}), \quad (2.70)$$

где J – количество направлений связи.

Пусть, например, все направления связи в одном варианте сети разделены на две группы, степени важности которых равны соответственно группам:

$$g_{\text{НС } 1} = 0,7; g_{\text{НС } 2} = 0,3. \quad (2.71)$$

Вероятности выживания также находятся в соответствии с группами:

$$P_{\text{Выж } 1} = 0,4; P_{\text{Выж } 2} = 0,8. \quad (2.72)$$

В другом варианте сети связи вероятности выживания двух групп равны соответственно

$$P_{\text{Выж } 1} = 0,8; P_{\text{Выж } 2} = 0,4. \quad (2.73)$$

Степени важности групп такие же, как и в первой сети связи. Средневзвешенная вероятность в первой сети связи составляет

$$P_{\text{Выж. СС } 1} = 0,4 \cdot 0,7 + 0,8 \cdot 0,3 = 0,52, \quad (2.74)$$

а во второй –

$$P_{\text{Выж. СС } 2} = 0,8 \cdot 0,7 + 0,4 \cdot 0,3 = 0,52, \quad (2.75)$$

откуда следует, что предпочтение следует отдать второму варианту сети связи.

Следует отметить, что оценка вероятности выживания элемента сети связи не характеризует предельные возможности варианта сети связи по обеспечению информационной связности между соответствующими узлами связи пунктов управления. Для учета этой характеристики используется вероятность связности заданной пары узлов ($P_{\text{СВ}}$), определяемая как вероятность наличия хотя бы одного возможного маршрута передачи сообщений между ними.

Расчет вероятности связности для сложно разветвленных структур может производиться различными методами. Исходными данными для расчетов являются усредненные прогнозируемые значения вероятностей выживания узлов и линий связи.

Первый метод базируется на эквивалентном преобразовании сложных (многополюсных) структур в простой двухполюсник. Под двухполюсной сетью связи (ДСС) понимается часть сети связи, обеспечивающая передачу сообщений между парами абонентов (рис. 2.54, а).

Под многополюсной сетью связи понимается часть сети связи, обеспечивающая одновременную передачу сообщений в нескольких ДСС (рис. 2.54, б).

Второй метод расчета вероятности связности сети связи основан на теореме разложения, которая предполагает последовательную декомпозицию сети относительно выбранных элементов (узлов). При этом процесс декомпозиции сложно разветвленной структуры осуществляется до тех пор, пока она (структура) не будет представлена в виде простых параллельно-последовательных соединений. Теорема разложения в принятых нами обозначениях формулируется следующим образом.

Вероятность связности сети связи ($P_{\text{св}}$) исследуемой структуры, состоящей из N элементов, равна произведению вероятности исправного состояния i -го элемента на вероятность связности сети связи из $(N - 1)$ элементов при условии, что i -й элемент замкнут накоротко, плюс произведение вероятности отказа i -го элемента на вероятность связности из $(N - 1)$ элементов при условии, что i -й элемент разомкнут.

Сущность данного подхода поясним на примере. Задана мостовая структура сети связи, в которой вероятность выживания линий связи $P_{\text{выж}} = 0,36$ (за исключением линии между узлами связи УзС-2 и УзС-3, для которой $P_{\text{выж}} = 0,85$), с требуемой вероятностью связности на направлении УзС-1 и УзС-4, составляющей $P_{\text{св}}^{\text{тр}} = 0,5$.

Нужно оценить направление связи УзС-1 и УзС-4 в сети, изображенной на рис. 2.55, по структурной живучести. В качестве показателя,

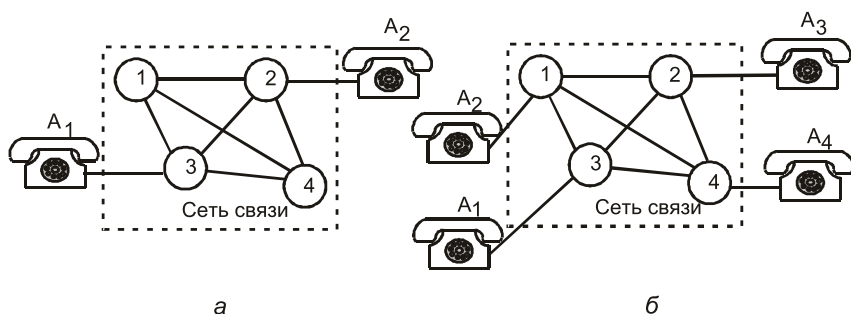


Рис. 2.54. Варианты сетей связи:
а – двухполюсная; б – многополюсная

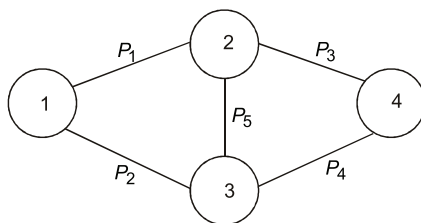


Рис. 2.55. Вариант мостовой структуры сети связи

характеризующего структурную живучесть направления связи, выберем вероятность связности.

Данную структуру разобьем на две аналогичные ей, отдельно смоделируем мостовую схему с учетом замыкания накоротко 2-го и 3-го узлов (рис. 2.56, а) и разрыва линии между ними (рис. 2.56, б). Для каждой модели определим вероятности связности.

Вероятность связности структуры с учетом параллельной связности элементов сети (рис. 2.56, а):

$$P_{\text{св. 1}} = P'_{\text{св}} \cdot P_5, \quad (2.76)$$

где прототип вероятности связности $P'_{\text{св}}$ определяется выражением

$$P'_{\text{св}} = [1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2)] \cdot [1 - (1 - P_3) \cdot (1 - P_4)] \approx 0,35. \quad (2.77)$$

Подставляя значение вероятности прототипа в формулу (2.76), и учитывая то, что вероятность выживания линии между узлами УзС-2 и УзС-3 составляет $P_{\text{выж}} = P_5 = 0,85$, получаем

$$P_{\text{св. 1}} = P'_{\text{св}} \cdot P_5 = 0,35 \cdot 0,85 \approx 0,3. \quad (2.78)$$

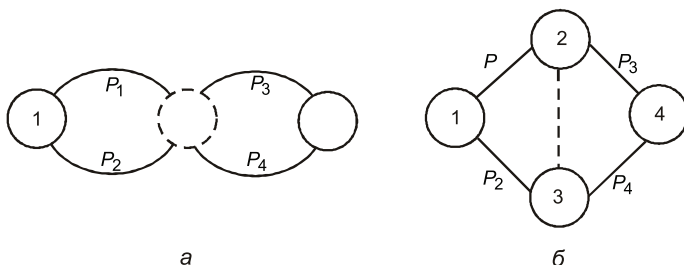


Рис. 2.56. Модели мостовой структуры сети связи: с учетом замыкания накоротко 2-го и 3-го узлов (а); разрыва линии между ними (б)

Определим вероятность связности структуры, где учитывается последовательная связность элементов сети (рис. 2.56, б):

$$P_{\text{св. 2}}'' = P_{\text{св}}'' \cdot (1 - P_5). \quad (2.79)$$

Вероятность связности прототипа при последовательном соединении элементов сети связи определяется по формуле:

$$P_{\text{св}}'' = 1 - (1 - P_1 \cdot P_3) \cdot (1 - P_2 \cdot P_4) \approx 0,24. \quad (2.80)$$

Подставив найденное значение в формулу (2.79), получим вероятность связности направления связи между узлами УС-1 и УС-4 с учетом последовательной связности:

$$P_{\text{св. 2}} = P_{\text{св}}'' \cdot (1 - P_5) = 0,24 \cdot (1 - 0,85) = 0,036. \quad (2.81)$$

Для определения вероятности связности на направлении между узлами УзС-1 и УзС-4 необходимо просуммировать значения вероятностей связности для параллельного и последовательного соединений элементов в сети связи:

$$P_{\text{св}} = P_{\text{св. 1}} + P_{\text{св. 2}} = 0,3 + 0,036 = 0,336. \quad (2.82)$$

Оценку живучести направления связи исследуемой сети произведем согласно критерию

$$P_{\text{св}} \geq P_{\text{св}}^{\text{тр}}. \quad (2.83)$$

Очевидно, что на направлении связи УзС-1 и УзС-4 сети необходимая живучесть для передачи сообщений не обеспечивается. Для ее повышения необходимо применить более разветвленную структуру, увеличить вероятность выживания каждого элемента и довести ее до 0,75–0,8.

Подход разбиения может быть использован для лестничной структуры (рис. 2.57), которая преобразуется к виду, изображенному на рис. 2.58 (со стянутыми ребрами) и 2.59 (с обрывом ребер).

Вычисление вероятности связности элементарных мостовых структур осуществляется аналогично вышеприведенной методике. Однако для лестничной структуры вероятность связности определяется как произведение вероятностей связности структур сети связи со стянутыми ребрами и с обрывом ребер по формуле:

$$P_{\text{св}} = \prod_{i=1}^r P_{\text{св. } i}, \quad (2.84)$$

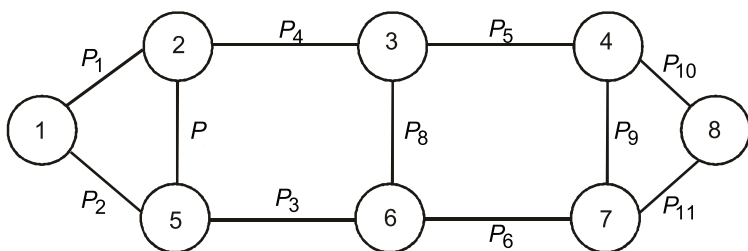


Рис. 2.57. Вариант лестничной структуры сети связи



Рис. 2.58. Модель варианта лестничной структуры сети связи со стянутыми ребрами

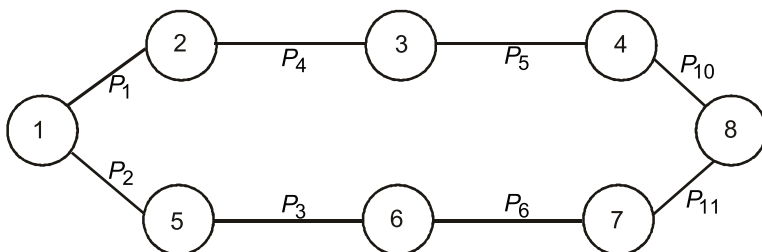


Рис. 2.59. Модель варианта лестничной структуры сети связи с обрывом ребер

где $P_{св. i}$ – вероятность связности элементарной мостовой структуры в сложной сети связи, которая вычисляется по вышерассмотренной методике.

Решение таких задач осуществлялось в предположении, что ребра (линии связи) и вершины (узлы связи) графа абсолютно надежны. При реальной эксплуатации сетей связи неизбежны отказы ее элементов, на восстановление которых требуется определенное время, т. е. при оценке сети связи необходимо учитывать надежность ее элементов.

Под надежностью сети связи понимается ее способность устойчиво функционировать во времени с сохранением в установленных пределах значений всех своих эксплуатационных показателей. Понятие «надеж-

ность» включает в себя техническую и эксплуатационную надежность. Техническая надежность – это способность средств и комплексов сети связи обеспечивать их устойчивое функционирование с сохранением в период эксплуатации значений технических характеристик (показателей) в требуемых пределах. Эксплуатационная надежность сети связи определяется способностью ее элементов обеспечивать требуемые показатели качества в заданный период при соблюдении правил эксплуатации обслуживающим их персоналом. Необходимость в анализе надежности сети связи возникает на различных стадиях ее жизненного цикла, поэтому выполнять расчеты приходится в разных условиях информационного обеспечения.

Таким образом, в зависимости от использования тех или иных исходных данных в основном выполняются расчеты двух типов:

- расчет ожидаемой (прогнозируемой) надежности сети связи в период планирования ее использования по назначению, т. е. априорный;
- расчет надежности сети связи по данным эксплуатации после завершения (или в процессе) использования по назначению, т. е. апостериорный.

Для учета технической надежности элементов сети связи при оценке устойчивости используется подход, который позволяет оценить эффективность восстановления техники связи с учетом времени доставки поврежденной техники к месту ее ремонта и восстановления через коэффициент технической готовности ($K_{\text{гт}}$):

$$K_{\text{гт}} = \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{в}}}, \quad (2.85)$$

где T_0 , $T_{\text{в}}$ – время исправной работы и время восстановления соответственно. Требования по времени безотказной работы (или времени наработки на отказ) и времени восстановления средств связи определяются в тактико-технических заданиях на разработку средств связи и уточняются в период принятия их на вооружение в ходе государственных испытаний. Основные из них приведены в табл. 2.6 [4, 25].

Используя данные таблицы, определим коэффициент технической готовности, например для радиостанции большой мощности:

$$K_{\text{гт}} = \frac{400}{400 + 0,42} = 0,99895. \quad (2.86)$$

Как видно, даже для аппаратуры, обладающей сравнительно низкой надежностью, коэффициент технической надежности довольно высок по сравнению с требуемой устойчивостью направлений связи (табл. 2.7). Следует иметь в виду, что устойчивость как свойство сети связи – более емкое понятие, включающее в себя совокупность определяющих ее свойств: живучесть, помехоустойчивость и надежность. Очевидно, что в реальных условиях значение показателя устойчивости сети ниже составляющих его параметров.

Таблица 2.6

**Основные требования по времени исправной работы
и времени восстановления средств связи**

Средства связи	$T_{и}, ч$	$T_{в}, мин$
Радиостанции малой мощности: переносные и портативные возимые	3000 2000	60 60
Радиостанции средней мощности	600	25
Радиостанции большой мощности	400	25
Радиорелейные станции (без аппаратуры уплотнения): малоканальные многоканальные	3000 1000	15 25
Тропосферные станции (без аппаратуры уплотнения)	1000	25
Аппаратура ВЧ-телефонии 12-канальная: оконечная и выделения необслуживаемый усилительный пункт	4000 16000	30 30

Таблица 2.7

Требуемая устойчивость направлений связи по группам важности

Группа важности направлений связи	Коэффициент готовности	Среднее время простоя, мин
I	0,95	10–15
II	0,9	15–20
III	0,85	20–30

Таким образом, техническая надежность средств связи оказывает незначительное влияние на общую устойчивость сети связи в полевых условиях, так как одновременный выход из строя всех средств связи, а значит, и направлений связи маловероятен. При нарушении связи с некоторыми УзС сеть связи продолжает выполнять свои функции, хотя и не в полном объеме.

2.7.5. Методика оценки качества каналов и трактов передачи первичной сети по их загрузенности

Одним из принципов нормирования каналов и трактов первичной сети является оптимальная их загрузка.

Пропускная способность каналов передачи и сетевых трактов описывается формулой

$$C = \Delta F \cdot \log_2 \left(1 + \frac{W_c}{W_{\text{ш}}} \right), \quad (2.87)$$

где ΔF – ширина полосы частот системы передачи, типовых каналов и трактов; W_c – средняя мощность передаваемого сигнала; $W_{\text{ш}}$ – средняя мощность шумов, отнесенная к точке с нулевым измерительным уровнем. Из выражения (1.90) видно, что пропускную способность можно увеличить либо за счет повышения мощности сигнала при сохранении мощности шумов, либо за счет снижения $W_{\text{ш}}$ при заданной W_c . Стремление повысить C за счет увеличения W_c может привести к увеличению помех от линейных переходов, а при достижении порога перегрузки групповых устройств – к непропорциональному росту нелинейных помех и в целом – к уменьшению отношения $W_c / W_{\text{ш}}$. Следовательно, шумы определяют загрузкой групповых трактов, т. е. совокупностью одновременно действующих каналов и трактов, передающих сигналы различных сообщений. Такими сигналами могут быть разговорные токи и токи сигналов управления и передачи телефонных сообщений, тонального телеграфирования и передачи данных, факсимильного телеграфирования и передачи газетных полос, звукового и телевизионного вещания.

В настоящее время существует методика расчета параметров загрузки, основанная на учете характеристик индивидуальных сигналов:

- $\overline{W}$ – средняя долговременная мощность;
- $W_{\text{мсм}}$ – максимальная среднeminутная мощность;
- $W_{\text{мсч}}$ – максимальная среднечасовая мощность;
- $D(W)$ – дисперсия среднeminутных мощностей;
- γ – коэффициент эксцесса.

В качестве случайного процесса принимается модель сигнала, изменяемая по нормальному закону. Средняя мощность индивидуального сигнала с переменным напряжением $U(t)$ за период времени T :

$$\overline{W}_\tau = \frac{1}{T \cdot R} \int_0^T U^2(t) dt, \quad (2.88)$$

где R – нагрузка, на которой определяется мощность сигнала.

При $T \rightarrow \infty$ говорят о долговременной средней мощности, а при $T = 1$ ч и $T = 1$ мин – о максимальной среднечасовой и среднeminутной мощностях, подразумевающих такие значения мощностей, которые превышаются с вероятностью не выше заданной в часы наибольшей нагрузки (ЧНН). В практических расчетах вероятность превышения берется равной $\varepsilon_1 = 0,01$ для среднечасовой мощности и $\varepsilon_1 = 0,001$ для среднeminутной мощности.

Дисперсия среднeminутных мощностей ($D(W)$) характеризует разброс значений среднeminутных мощностей относительно их среднего значения – математического ожидания множества значений среднeminутных мощностей.

Коэффициент эксцесса γ характеризует отличие функции распределения мгновенных напряжений сигнала от нормального закона (условно принятой модели сигнала как случайного процесса).

Зная среднее значение и дисперсию мощности сигнала, можно определить максимальную мгновенную мощность, т. е. значение мгновенной мощности, превышаемое с вероятностью не выше заданной малой величины ε_2 (для индивидуальных сигналов $\varepsilon_2 \leq 0,001$, для групповых – $\varepsilon_2 \leq 0,00001$). Для ее оценки используется максимальная эквивалентная мощность $W_{мз}$, представляющая собой мощность синусоидального сигнала, амплитуда напряжения (мощности) которого равна максимальному мгновенному напряжению (мощности) исследуемого сигнала.

Индивидуальные сигналы в точке нулевого относительного уровня, необходимые для определения параметров групповых сигналов, можно разделить на две группы: к первой относятся сигналы, для которых $D(W) \neq 0$, а ко второй – сигналы с неизменяющейся во времени средней мощностью (табл. 2.8).

Выбор варианта загрузки решается на основе расчета параметров группового сигнала и сопоставления их с нормами для типовых трактов. Нормами определены $W_{мч}^N$ и $W_{мсм}^N$ – мощности на входе N -канальных групповых и линейных трактов.

Допустимая вероятность превышения нормируемого значения $W_{мсм}^N$ выбрана равной $\varepsilon_1 = 0,001$.

Нормирование параметров группового сигнала за определенные интервалы времени соответствует нормированию шумов в канале за такие же интервалы. Загрузка трактов при этом учитывается в виде не только телефонных, но и других сигналов. В отдельные моменты мгновенные значения энергетических параметров сигналов могут превышать пороги перегрузки устройств, входящих в состав групповых и линейных трактов.

Обычно порог перегрузки выбирается таким, чтобы вероятность его превышения была очень мала – не более $\varepsilon_2 \leq 0,00001$. С учетом этого перегрузка возможна, когда мощность сигнала максимальна и должна определяться по отношению к $W_{МСМ}^N$.

Таблица 2.8

Статистические параметры индивидуальных сигналов

Вид сигнала	$\overline{W}$, мкВт·0	$W_{МСЧ}$, мкВт·0	$W_{МСМ}$, мкВт·0	$W_{МЭ1}$, мкВт·0	$D(W)$, мВт2	γ
В канале ТЧ						
Телефонный	32	64	500	1 250	$1,04 \cdot 10^{-3}$	36
Тонального телеграфиро- вания с ЧМ при передаче:						
– по кабельн. линиям	50	50	50	300	0	0
– по РРЛ	90	90	90	478	0	0
Факсимильного телеграфи- рования при передаче:						
– фотографий с АМ	125	125	475	500	$60 \cdot 10^{-3}$	0,6
– фотографий с ЧМ	50	50	50	75	$60 \cdot 10^{-3}$	0,6
– документов с АМ	32	32	120	187	$930 \cdot 10^{-3}$	0,6
– документов с ЧМ	32	32	32	48	$900 \cdot 10^{-3}$	0,6
– метеокарт с АЧМ	32	32	476	750	$150 \cdot 10^{-3}$	0,6
– метеокарт с ЧМ	32	32	32	48	$60 \cdot 10^{-3}$	0,6
Передачи данных со скоростью в бит/с:						
– ниже 2 400 с ЧМ, ОФМ	32	32	32	65	0	0
– выше 4 800 с (Д) ОФМ	32	32	50	200	0	–1,43
В канале ЗВ						
Федерального значения (три канала ТЧ)	850 – 1 000	920 – 1 100	2 200 – 3 100	8 000	$236 \cdot 10^{-3}$	3
Звук телевидения	545	–	2 460	–	–	–
В широком канале (ШК)						
Первичном:						
– передачи данных с ЧМ	384	384	550	2 200	0	–1,43
– звукового вещания	384	500	800	–	$22,4 \cdot 10^{-3}$	3
– факсимильной передачи газет «Газета-1» с АМ	760	760	1 000	1 000	$85 \cdot 10^{-3}$	0,6
Вторичном:						
– передачи данных с ЧМ (* – по симметричному кабелю)	1 920	1 920	2 720	11 000	0	–1,43
	*384	*384	*384	*1 000	0	–1,43
– полос газет «Газета-1»	1 920	1 920	2 720	2 720	$91,4 \cdot 10^{-3}$	0,6
	*384	*384	*1 000	*1 000	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,6
– полос газет «Газета-2»	1 920	1 920	2 720	2 720	$91,4 \cdot 10^{-3}$	0,6

Таким образом, для трактов задаются допустимые значения $W_{МСЧ}^N$ и $W_{МСМ}^N$, а максимальные допустимые значения $W_{МЭ}^N$ зависят от параметров конкретной системы передачи (табл. 2.9).

Таблица 2.9

**Максимальные допустимые значения параметров
многоканальных сигналов на входе наиболее широко применяемых
групповых, линейных трактов ЕСЭ России**

Вид тракта	Система передачи	Максимальная мощность, мВт0		
		$W_{\text{мсч}}$	$W_{\text{мсм}}$	$W_{\text{мз}}$
Линейный	К-60П	8	11	160
	К-120	10	13,5	175
	К-300	12	15	185
	К-300Р	15	19	225
	К-1020	50	60	560
	К-1920П, К-1920	96	106	1 035
	К-3600	160	172	1 700
	К-10800	432	458	4 425
Первичный	Все	3	4	110
Вторичный	К-300, К-60П, К-120	6	8	135
	К300Р, К-1020, К-1920, К-1920П, К-3600	8	11	160
Третичный	К-1020, К-1920, К-1920П, К-3600	15	19	225

Методика определения загрузки трактов заключается в том, что по энергетическим параметрам индивидуальных сигналов находятся параметры групповых сигналов и сравниваются с параметрами загрузки (табл. 2.9), которые являются предельными и не могут быть превышены без увеличения мощности шумов.

С целью расчета загрузки групповых и линейных трактов общее число каналов N разбивается на m пучков однородных каналов, по которым передаются сигналы одного вида с одинаковыми статистическими параметрами (до n_i каналов в i -м пучке). Далее для каждого пучка рассчитываются значения средней долговременной мощности, дисперсии среднeminутных мощностей и коэффициенты эксцесса суммарного сигнала по формулам:

$$\overline{W}_{n_i} = n_i \cdot \overline{W}_i, \quad (2.89)$$

$$D(W_{n_i}) = n_i \cdot D(W_i), \quad (2.90)$$

$$\gamma(n_i) = \frac{\gamma_i}{n_i}, \quad (2.91)$$

где n_i – число суммарных индивидуальных однородных сигналов в i -м пучке; $\overline{W}_i$ – средняя долговременная мощность сигналов данного сообщения; $D(W_i)$ – дисперсия среднeminутных мощностей сигналов i -го пучка; γ_i – коэффициент эксцесса мгновенных напряжений (мощностей) сигналов i -го пучка.

При числе каналов N_1 , предназначенных для передачи сигналов первой группы, и общем числе пучков однородных сигналов m_1 значения средней долговременной мощности $\bar{W}_{N_1}$ и дисперсии среднeminутных мощностей $D(W_{N_1})$ определяются по формулам:

$$\bar{W}_{N_1} = \sum_{i=1}^{m_1} \bar{W}_{n_i}, \quad (2.92)$$

$$D(W_{N_1}) = \sum_{i=1}^{m_1} D(W_{n_i}). \quad (2.93)$$

Формулы (2.92) и (2.93) позволяют довольно просто определить энергетические параметры группового сигнала, состоящего из ряда сигналов передачи сообщений первой группы.

С целью упрощения расчетов можно отказаться от нахождения W_{MCM}^N , ограничившись нахождением W_{N_1} и сравнением ее с нормируемым максимально допустимым значением среднечасовой мощности сигнала для данного группового тракта.

Для трактов с числом каналов $12 \leq N \leq 300$ допустима аппроксимация распределения среднeminутных мощностей m_1 сигналов первой группы логарифмически нормальным законом, т. е. уровень мощности сигнала имеет нормальное распределение. Параметр распределения $\delta_z(W_{N_1})$ и максимальная среднeminутная мощность $W_{MCM}^{N_1}$ определяются по формулам:

$$\delta_z(W_{N_1}) = \sqrt{\ln\left[\frac{D(W_{N_1})}{W_{N_1}^2} + 1\right]}, \quad (2.94)$$

$$W_{MCM=\bar{W}_{N_1}}^{N_1} \cdot \exp\left[\frac{\delta_z(W_{N_1})}{2} \cdot [2t\varepsilon_1 - \delta_z(W_{N_1})]\right], \quad (2.95)$$

где $t\varepsilon_1$ – коэффициент, определяемый по табл. 2.10.

Таблица 2.10

ε_1	0,1	0,05	0,01	0,001	0,0001	0,00001
$t\varepsilon_1$	1,28	1,65	2,33	3,1	3,72	4,17

Для трактов с числом каналов 300 и более допустима аппроксимация распределения среднeminутных мощностей группового сигнала нормальным законом:

$$W_{MCM}^{N_1} = \bar{W}_N + t\varepsilon_1 \sqrt{D(W_{N_1})}. \quad (2.96)$$

В данном случае $\bar{W}_N$ – средняя долговременная мощность многоканального сигнала, содержащего сигналы двух групп каналов:

$$\bar{W}_N = \bar{W}_{N_1} + \bar{W}_{N_2}, \quad (2.97)$$

где $\bar{W}_{N_2}$ – средняя долговременная мощность суммарного сигнала второй группы каналов при их общем числе N_2 и числе пучков m_2 . Эта мощность определяется по формуле:

$$\bar{W}_{N_2} = \sum_{i=1}^{m_2} W_{ni}. \quad (2.98)$$

Максимальная среднeminутная мощность многоканального сигнала представляет собой сумму сигналов двух групп каналов:

$$W_{\text{MCM}}^N = W_{\text{MCM}}^{N1} + \bar{W}_{N_2}. \quad (2.99)$$

Для окончательного решения вопроса о правильной загрузке групповых и линейных трактов системы передачи необходимо знание максимальной эквивалентной мощности $W_{\text{мэ}}$ с заданной, как правило, невысокой вероятностью превышения ε_2 . Она рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{мэ}}^N = \frac{t\varepsilon_2^2 \cdot W^N}{2}, \quad (2.100)$$

где $t\varepsilon_2 = U_{\text{max}} / U_{\text{дейст}}$ – максимальное нормированное напряжение, превышаемое с вероятностью $\varepsilon_2 = 0,00001$ и зависящее от коэффициента эксцесса многоканального сигнала γ_N .

Для сетевого или линейного тракта из N каналов, разбитых на m пучков однородных каналов, коэффициент эксцесса сигналов i -го пучка однородных каналов рассчитывается по формуле:

$$\gamma_N = \frac{\gamma_{ni} \cdot \bar{W}_{ni}^2}{\bar{W}_N^2}. \quad (2.101)$$

Вычислив значение γ_N по экспериментальному графику (рис. 2.60), определяем значение $t\varepsilon_2$.

При числе каналов $N \geq 300$ коэффициент эксцесса группового сигнала можно не рассчитывать, а принимать в виде:

$$t\varepsilon_2 = 4,42. \quad (2.102)$$

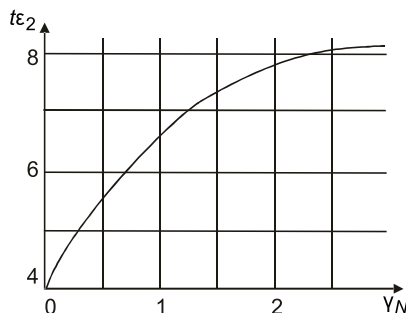


Рис. 2.60. Экспериментальный график зависимости максимального нормированного напряжения от коэффициента эксцесса

В заключение полученные значения среднечасовой мощности, среднeminутной мощности и эквивалентной мощности группового сигнала сравниваются с допустимыми параметрами загрузки трактов (см. табл. 2.9). Если они не превышают требуемых значений, делается вывод о пригодности варианта загрузки.

2.7.6. Методики суммирования показателей эффективности с различными весовыми коэффициентами

2.7.6.1. Методика ограничений

Сущность методики ограничений заключается в двухэтапном оценивании сравниваемых сетей связи. На первом этапе все сети проверяются на соответствие минимальным требованиям системы более высокого уровня иерархии (условно). Сети связи, не соответствующие этим требованиям, на втором этапе, заключающемся в определении наилучшей сети по одному важнейшему критерию, не рассматриваются.

В качестве примера проведем оценку трех типов структур сетей телефонной связи по этой методике. Предположим, что для обслуживания абонентов необходима сеть телефонной связи, отвечающая требованиям, приведенным в табл. 2.11.

Очевидно, что основным функциональным назначением проектируемой сети связи является своевременная передача поступающих сообщений с требуемыми безопасностью и достоверностью.

В общем случае показателем своевременности связи является время установления соединения ($t_{уст}$), определяемое временем ожидания абонентом соединения ($t_{ож}$) и временем непосредственного предоставления установленного соединения ($t_{прс}$):

$$t_{\text{уст}} = t_{\text{ож}} + t_{\text{прс}} . \quad (2.103)$$

При проведении расчетов будем считать, что для телефонной сети связи определяющим критерием является время ожидания абонентом соединения, не превышающее требуемого ($T_{\text{ож}}^{\text{тр}}$):

$$t_{\text{ож}} \leq T_{\text{ож}}^{\text{тр}} . \quad (2.104)$$

Таким образом, оценивание производится не по показателю качества функционирования сети (пропускной способности, устойчивости, мобильности и др.), а по показателю качества связи: своевременности (внешнему показателю сети связи).

На первом этапе оцениваются варианты сетей связи с точки зрения соответствия их характеристик заданным требованиям. Из табл. 2.11 видно, что сеть связи № 3 не удовлетворяет требованию по критерию количества обслуживающего персонала ($L \leq L^{\text{тр}}$), поэтому для дальнейшего рассмотрения остаются сети связи № 1 и № 2.

Таблица 2.11

Характеристика сетей связи

Показатель	Требования	Сеть связи		
		№ 1	№ 2	№ 3
Коэффициент исправного действия	0,95	0,96	0,97	0,98
Время ожидания, с	180	145	140	175
Коэффициент потерь, %	50	30	10	20
Количество обслуживающего персонала	125	120	125	130
Количество каналов связи	100	95	96	93

На втором этапе сравниваются объекты по выбранному основному критерию (например, время ожидания абонентом соединения не должно превышать требуемое). В соответствии с этим критерием предпочтение отдается сети связи № 2.

Достоинство данной методики – исключительная простота, которая достигается за счет весьма приблизительной точности сравнения. Это обусловлено тем, что после первого этапа все объекты, отвечающие требованиям, ставятся в равные условия, хотя могут иметь существенные различия по частным показателям. Так, в нашем примере предпочтение по времени ожидания в пять секунд сыграло решающую роль при сравнении сетей связи № 1 и № 2. Худшей была признана сеть связи № 1, имеющая время ожидания всего на пять секунд больше, чем сеть связи № 2, но меньшие затраты по обслуживающему персоналу и количеству каналов. Очевидно, что по совокупности показателей сеть

связи № 2 уступает сети связи № 1, но в соответствии с выбранным основным критерием ей отдается предпочтение. По этой причине методика ограничений самостоятельно применяется исключительно редко. Практически используется синтез двух методик: сначала выполняется первый этап методики ограничений, а затем объекты сравниваются с помощью методик расчета абсолютных или относительных показателей эффективности.

2.7.6.2. Методика расчета абсолютных показателей эффективности функционирования сетей связи

Абсолютный показатель эффективности функционирования сети связи (W_{cc}^a) является обобщенным и характеризуется тем, что его значение остается абсолютной величиной независимо от полезности или от затрат составляющих его частных показателей (w_i):

$$|W^a| = \begin{cases} W^a & \text{при } w_i \geq 0, \\ -W^a & \text{при } w_i \leq 0. \end{cases} \quad (2.105)$$

Абсолютный показатель эффективности функционирования сети связи вычисляется по формуле

$$W_{cci}^a = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot y(e_{ij}), \quad (2.106)$$

где n – количество частных показателей эффективности; a_{ij} – весовой коэффициент i -го показателя j -й сети; e_{ij} – абсолютная величина i -го частного показателя; $y(e_{ij})$ – функция полезности или затратности i -го частного показателя j -й сети, характеризующая степень его соответствия заданным требованиям.

Выбор частных показателей должен осуществляться исходя из требований абонента и системы более высокого уровня иерархии, при этом частные показатели должны иметь явный физический смысл. Так, для сети телефонной связи такими требованиями являются пропускная способность при заданном качестве обслуживания абонентов, надежность функционирования сети и ее элементов, мобильность (время изменения структуры сети связи и ее состояния), количество обслуживающего сеть персонала, канальная емкость, качество разговорного тракта (разборчивость или артикуляция), своевременность передачи сообщения в сети. Два последних являются внешними, определяемыми старшей системой (абонентами), а остальные относятся к внутренним свойствам.

В зависимости от типа сети связи и ее специфических особенностей этот перечень может быть скорректирован и расширен.

Весовые коэффициенты частных показателей эффективности находят путем статистической обработки мнений экспертов. Заключение при анализе сетей связи дает эксперт. Предполагается, что при проведении экспертного опроса мнение группы экспертов снижает субъективизм оценки. Тем не менее перед опросом следует подготовить вопросы, исключающие неоднозначность трактовки. Экспертам рекомендуется выставлять оценки в пределах от 0,01 до 1. Оценки сводятся в матрицу $\|a_{ij}\|$, столбцы которой представляют совокупность оценок, выставленных одним из m экспертов, а строки соответствуют одному из n показателей:

$$\|A\| = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}. \quad (2.107)$$

Затем определяется среднее весовое значение для каждого из показателей по формуле

$$\bar{a}_{ij} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m a_{ij}. \quad (2.108)$$

После этого для каждого показателя выбирается функция полезности (или затратности), значение которой лежит в пределах от нуля до единицы и зависит от удовлетворения требованиям, предъявляемым к сети по данному показателю эффективности. При составлении таких функций следует обратить внимание на их физический смысл. Например, показателем мобильности сети связи является время изменения ее структуры или состояния ($\bar{t}_{изм}$), которое требуется для выполнения необходимого комплекса мероприятий $N_{необх}$. Критерием оценки мобильности сети связи служит выражение, показывающее степень соответствия времени изменения ее структуры (состояния) установленному (допустимому) времени:

$$\bar{t}_{изм} \leq \bar{t}_{уст} \quad \text{при} \quad N \leq N_{необх}. \quad (2.109)$$

Исходя из этого функция полезности, характеризующая мобильность сети связи, может быть записана следующим образом:

$$y(\bar{t}_{изм}) = \begin{cases} 1 - \lg \frac{\bar{t}_{уст}}{\bar{t}_{изм}} & \text{при} \quad \bar{t}_{изм} > \bar{t}_{уст}, \\ 1 & \text{при} \quad \bar{t}_{изм} \leq \bar{t}_{уст}. \end{cases} \quad (2.110)$$

Значение этой функции изменяется в пределах от нуля до единицы: чем ближе значение $\bar{t}_{\text{изм}}$ к $\bar{t}_{\text{уст}}$, тем большее значение принимает данная функция, что не противоречит физическому смыслу описываемого процесса.

Такие функции ограничивают разброс значений параметров с тем, чтобы обеспечить равные условия учета каждого из рассматриваемых показателей эффективности. Элемент субъективизма вносят весовые коэффициенты, которые перемножаются на соответствующие значения функций (2.106). В теории сетей такой подход называют аддитивной сверткой. Следует отметить, что доля субъективизма в данном методе значительно снижается, так как опрос экспертов ведется не применительно к какой-либо из рассматриваемых сетей связи в частности, а сравнение сетей производится, исходя из одних и тех же весовых коэффициентов. В результате вычислений для каждой из рассматриваемых сетей связи находится абсолютный показатель эффективности. Предпочтение отдается сети, у которой абсолютный показатель эффективности окажется выше.

2.7.6.3. Турнирный метод оценки эффективности функционирования сетей связи

Этот метод представляет собой процедуру установления предпочтения одной сети связи перед другими при их попарном сравнении. В отличие от методики оценки эффективности по абсолютным показателям, в которой осуществляется упорядочение всех сетей связи, парное сравнение сетей связи представляет собой более простую задачу. Сущность метода заключается в определении суммарного относительного «успеха» каждой из сравниваемых сетей связи:

$$W_{cci}^o = \sum_{n=1}^N y_{jk}^i, \quad (2.111)$$

где W_{cci}^o – эффективность i -й сети связи относительно других сетей; n – количество элементов матрицы успеха для i -й сети связи; y_{jk}^i – элемент матрицы успеха i -й сети связи по отношению к j -й сети связи по k -му показателю.

Элементы матрицы успеха рассчитываются следующим образом. Сначала все n показателей z сравниваемых сетей связи сводятся в матрицу $\|e_{ij}\|$:

$$\|e_{ij}\| = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{z1} & e_{z2} & \dots & e_{zn} \end{pmatrix}. \quad (2.112)$$

Элементами каждого столбца этой матрицы являются числовые значения одноименных показателей z различных сетей, а элементами каждой строки – n показателей одной сети. Поочередно для каждой из сетей связи проводится сравнение одноименных показателей (например, e_{11} с e_{21} , ..., e_{1n} с e_{2n}) с помощью функции успеха:

$$y_{jk}^i = \begin{cases} 1 \cdot \bar{\alpha}_k, & \text{если } i\text{-я сеть «лучше» } j\text{-й,} \\ 0,5 \cdot \bar{\alpha}_k, & \text{если } i\text{-я сеть равнозначна } j\text{-й,} \\ 0, & \text{если } i\text{-я сеть «хуже» } j\text{-й,} \end{cases} \quad (2.113)$$

где $\bar{\alpha}_k$ – весовой коэффициент k -го показателя, выставленный экспертами. Значения весовых коэффициентов частных показателей находятся так же, как в примере, рассмотренном при оценке эффективности по абсолютным показателям.

Результаты попарного сравнения сетей связи сводятся в матрицу успеха

$$\|y_{jk}^i\| = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{z1} & y_{z2} & \dots & y_{zn} \end{pmatrix}. \quad (2.114)$$

Элементами первого столбца матрицы $\|y_{jk}^i\|$ являются значения «параметра успеха» первой сети относительно остальных по одноименному показателю. Элементы рассматриваемой матрицы принимают значение «0», так как они являются результатами сравнения для одной и той же сети связи:

$$\|y_{jk}^i\| = 0 \text{ при } i = j. \quad (2.115)$$

Количество матриц успеха равно числу сравниваемых сетей связи Z . Сумма (2.111) элементов каждой из матриц успеха (2.114) представляет собой относительный показатель эффективности функционирования одной из рассматриваемых сетей связи. Сеть, для которой числовые значения показателя эффективности получились наибольшими, считается наиболее эффективной.

Достоинством турнирного метода является его относительная простота. К недостаткам прежде всего следует отнести то, что, как и в предыдущей методике, наличие весовых коэффициентов накладывает отпечаток субъективизма на результаты оценки эффективности.

Для более точной экспертной оценки необходимо учитывать коэффициент конкордации δ , который позволяет оценить, насколько согласованы между собой ряды предпочтительности, построенные каждым экспертом. Значения коэффициента конкордации находятся в пределах $0 \leq \delta \leq 1$. Если $\delta = 0$, то это означает полную противоположность мнений экспертов, а в случае $\delta = 1$ – совпадение ранжиров. На практике наиболее удачными являются оценки с коэффициентом конкордации, лежащим в пределах $0,7 \leq \delta \leq 0,8$.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте требования к устройствам формирования канальных сигналов многоканальной системы передачи.
2. Сформулируйте требования к устройствам разделения канальных сигналов многоканальной системы передачи
3. Что входит в состав системы передачи факсимильной связи?
4. Перечислите основные классификационные признаки сетей связи.
5. Поясните сущность плезиохронной и синхронной цифровых иерархий. Могут ли взаимодействовать эти иерархии?
6. Система передачи входит в состав линии передачи?
7. Перечислите основные способы коммутации и дайте их характеристику.
8. Какие принципы построения сетей связи вам известны?
9. Какие существуют подходы к оценке эффективности функционирования систем связи?
10. В чем сущность методики расчета абсолютных показателей эффективности функционирования сетей связи?
11. Поясните сущность турнирного метода расчета показателей эффективности функционирования сетей связи.
12. Оцените три сети связи, имеющие четыре узла и три, четыре и пять соответственно соединяющие их линий, по абсолютным показателям их эффективности

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Аболиц А.И.** Системы спутниковой связи. Основы структурно-параметрической теории и эффективность / А. И. Аболиц. – М.: ИТИС, 2004. – 426 с.
2. **Абчук В.А.** Справочник по исследованию операций / В.А. Абчук ; под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.

3. **Бабкин А.В.** Военно-экономический анализ принимаемых решений при создании и эксплуатации техники военной связи и автоматизации управления / А. В. Бабкин – СПб.: ВАС, 1992.

4. **Балашов Е.П.** Эволюционный синтез систем / Е. П. Балашов. – М.: Радио и связь, 1985.

5. **Боккер П.** Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы / П. Боккер. – М.: Радио и связь, 1991. – 302 с.

6. **Бушуев С.Н.** Организация распределенного преобразования информации в информационно-технических системах / С.Н. Бушуев. – СПб.: ВАС, 1994.

7. **Волкова В.Н.** Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В. Н. Волкова, В. А. Воронков [и др.]. – М.: Радио и связь, 1983. – 230 с.

8. ГОСТ 22348–86. Сеть связи автоматизированная единая. Термины и определения.

9. **Дудник Б.Я.** Надежность и живучесть систем связи / Б.Я. Дудник. – М.: Радио и связь, 1985.

10. **Дурнев В.Г.** Электросвязь. Введение в специальность / В.Г. Дурнев, А.Е. Зеневич [и др.]. – М.: Радио и связь, 1988. – 240 с.

11. **Колесников А.А.** Оптимизация структур сетевых моделей / под ред. А.А. Колесникова. – Л.: ВАС, 1987. – 101 с.

12. **Колесников А.А.** Прикладная математика: курс лекций / под ред. А.А. Колесникова. – Л.: ВАС, 1987.

13. **Ланнэ А.А.** Многокритериальная оптимизация / А.А. Ланнэ, Д.А. Улахович. – Л.: ВАС, 1984.

14. **Макаров И.М.** Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров. – М.: Наука, 1982.

15. **Назаров С.В.** Компьютерные технологии обработки информации / С.В. Назаров. – М.: Финансы и статистика, 1995.

16. **Никитов В.А.** Информатика в терминах и определениях российского законодательства / под ред. В.А. Никитова. – М.: Радио и связь, 2001.

17. Основные положения развития ВСС РФ на перспективу до 2005 года: руководящий документ. – Справочное приложение 2: Словарь основных терминов и определений. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996. – 27 с.

18. **Петухов Г.Б.** Методы теории стохастической индикации в исследовании операций и прикладной кибернетике / Г.Б. Петухов, Н.К. Белоконов. – МО СССР, 1988.

19. **Петухов Г.Б.** Основы теории эффективности целенаправленных процессов. В 2 ч. – Ч. 1 / Г.Б. Петухов. – Л.: МО СССР, 1989.

20. Правила оказания услуг телефонной связи: Постановление Правительства РФ № 1235 от 26.09.97. – П. 3.
21. **Рогинский В.Н.** Теория сетей связи : учебник для вузов связи / В.Н. Рогинский, А.Д. Харкевич и др – М.: Радио и связь, 1981. – 192 с.
22. Советский энциклопедический словарь. – 2-е изд. / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энцикл., 1983.
23. **Советов Б.Я.** Информационная технология / Б.Я. Советов. – М.: Высш. шк., 1994.
24. **Субетто А.И.** Эффективность как мера качества систем и процессов / А.И. Субетто. – М.: МО СССР, 1985.
25. Теоретические основы организации связи в объединениях и соединениях: учеб. пособие / под ред. В.И. Иванова. – СПб.: ВАС, 1991. – 687 с.
26. **Терентьев В.М.** Теоретические основы управления сетями многоканальной радиосвязи / В.М. Терентьев, И.Б. Паращук – СПб.: ВАС, 1995.
27. Технологии и средства связи. – М.: Business Systems, №1, 2001. – С. 13.
28. **Уткин В.Ф.** Надежность и эффективность в технике: справочник. – Т. 3: Эффективность технических систем / под ред. В.Ф. Уткина. – М.: Машиностроение, 1988.
29. Федеральный закон «О связи»: ФЗ № 15 от 16.02.95. – Ст. 2.
30. **Фрэнк Г.** Сети, связь и потоки / Г. Фрэнк, И. Фриш; под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Связь, 1978.
31. **Щербина Л.П.** Основы теории сетей военной связи / Л.П. Щербина. – Л.: ВАС, 1984. – С. 10–26, 63–76.
32. **Ярочкин В.И.** Безопасность информационных систем / В.И. Ярочкин. – М.: Радио и связь, 1996.

Глава 3

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Если люди не могут разговаривать друг с другом непосредственно, то применяются вспомогательные средства для передачи сообщений, одним из которых является система почтовой связи. В ее составе можно выделить определенные функциональные уровни, например уровень сбора и доставки писем из почтовых ящиков на ближайшие почтовые узлы связи и в обратном направлении, уровень сортировки писем на транзитных узлах и т. д. Принятые в почтовой связи всевозможные стандарты на размеры конвертов, порядок оформления адресов и тому подобное позволяют отправлять и получать корреспонденцию практически из любой точки Земного шара.

Похожая картина наблюдается и в области телекоммуникаций, где рынок средств связи, компьютеров, коммутационного оборудования информационных систем и сетей необычайно широк и разнообразен. По этой причине создание современных информационных систем и сетей связи стало невозможным без использования общих подходов к их разработке, унификации характеристик и параметров их составных компонентов.

Теоретическую основу современных сетей (систем) связи определяет многоуровневая архитектура связи.

Под архитектурой понимается концепция, определяющая модель, структуру, выполняемые функции и взаимосвязь компонентов сложного объекта [6]. Объектом может быть система или сеть, база данных, прикладной процессор или многокомпонентное образование. Архитектура охватывает логическую, физическую и программную структуры, а также принципы функционирования объекта.

В настоящее время существуют различные архитектуры, ставшие международными стандартами:

- семиуровневая архитектура базовой эталонной модели взаимосвязи открытых систем – Международный стандарт на единую архитектуру построения телекоммуникационной сети;
- архитектура сетей *ARPA* и *Internet*;

- системная сетевая архитектура (*SMA*) и системная прикладная архитектура (*SAA*), которые были разработаны корпорацией *IBM*;
- архитектура широкополосной сети (*BNA*); и др.

Рассмотрим построение и функции эталонной модели взаимодействия открытых систем, так как она по своей сути обобщает все существующие сетевые модели.



3.1. Основные понятия эталонной модели взаимодействия открытых систем

В соответствии с концепцией многоуровневой архитектуры связи в 1984 г. Международная организация по стандартизации (*International Standards Organization – ISO*) разработала эталонную модель взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС), которая и была принята в качестве Международного стандарта *ISO 7498* [2].

Эталонная модель взаимосвязи открытых систем – модель, описывающая общие принципы взаимосвязи открытых систем и используемая в качестве основы для разработки стандартов Международной организации по стандартизации.

Целями модели являются стандартизация обмена сообщениями между системами (сетями), устранение любых технических препятствий для связи систем, устранение трудностей «внутреннего» описания функционирования отдельной системы, обеспечение разумного отхода от стандартов в случае, если они не удовлетворяют всем требованиям.

Основным объектом исследования в этой модели является система, под которой понимают иерархическую совокупность функций, реализуемых одним или несколькими средствами связи (автоматизации) и предназначенных для выполнения предписанных им задач. Каждая из систем модели является открытой.

Открытыми называются системы, которые независимо от особенностей аппаратной и программной реализации могут взаимодействовать между собой.

Эталонная модель взаимосвязи открытых систем имеет семь уровней (рис. 3.1): первый – физический, второй – канальный (звена данных), третий – сетевой, четвертый – транспортный, пятый – сеансовый, шестой – представительский (представления данных), седьмой – прикладной. Под уровнем будем понимать компонент, слой либо границу иерархической структуры [6].

При определении оптимального количества уровней МСЭ-Т руководствовался следующими принципами:

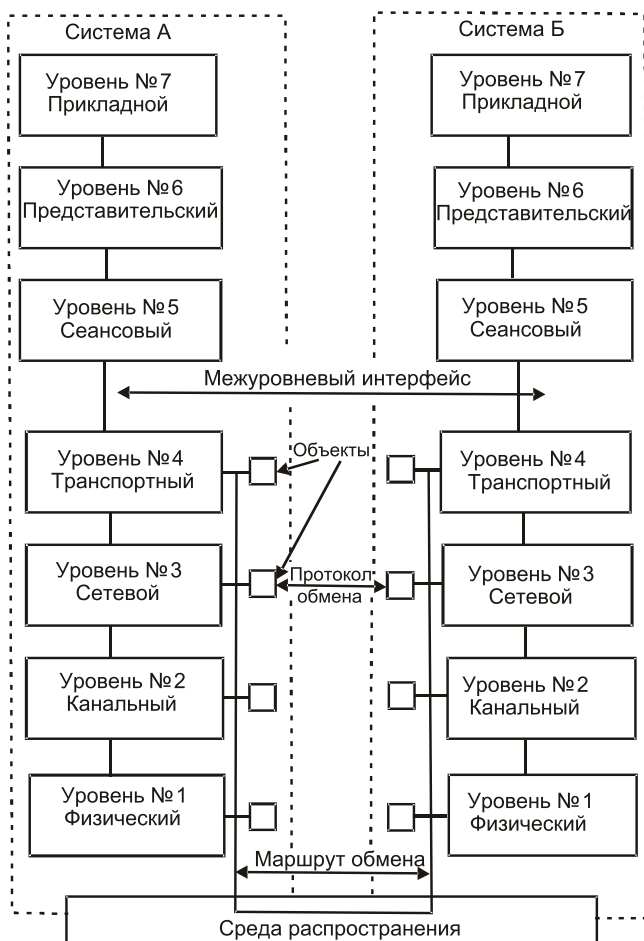


Рис. 3.1. Схема взаимодействия объектов

- количество уровней должно быть таким, чтобы обеспечивалось четкое и детальное разделение процессов, протекающих на каждом уровне, и упрощались правила взаимодействия между уровнями одной ступени ЭМВОС разных систем;
- проводить границу между уровнями в том месте, где описание услуг является наименьшим, а число операций через границу сведено к минимуму;
- не создавать слишком много уровней, так как это усложняет системотехническую задачу их описания;

– родственные (аналогичные) функции сосредоточивать на одном и том же уровне.

Под $(N + 1)$ -м (вышестоящим) уровнем понимается следующий уровень, более высокий по отношению к рассматриваемому N -му уровню. Под $(N - 1)$ -м (нижележащим) уровнем понимается следующий, более низкий относительно рассматриваемого, уровень.

На каждом из уровней решается определенная задача, обеспечивающая функционирование вышестоящего уровня. Процессы, возникающие в ходе решения этих задач, а также средства их решения объединяют понятием «логические объекты». Все они (в дальнейшем просто объекты) приписаны соответствующим уровням. В общем случае на одном уровне может быть несколько объектов.

N -й уровень одной открытой системы может вести обмен сообщениями (данными) с N -м уровнем другой открытой системы. Набор правил, определяющих взаимодействие объектов разных открытых систем, расположенных на одном уровне, называется протоколом. В зависимости от уровня ЭМВОС различают физический, канальный, сетевой, транспортный, сеансовый, представительский и прикладной протоколы. Все они стандартизированы МСЭ-Т, что позволяет осуществлять обмен сообщениями (данными) и управляющей информацией между взаимодействующими логическими объектами одного уровня.

Необходимость наличия таких протоколов (правил взаимодействия) для обеспечения информационного обмена и их многоуровневый характер легко пояснить на примере письменного или устного общения между людьми. Для данного примера можно выделить следующие четыре уровня взаимодействия:

1. Прагматический, или познавательный, определяемый знаниями в определенной области и взаимопониманием собеседников.
2. Лингвистический, определяемый словарным запасом разговора, грамматической структурой (синтаксисом) и смысловым значением фраз и предложений (семантикой).
3. Сигнальный, определяемый механизмом обмена информацией (письменное сообщение или устная речь).
4. Физический, включающий средства передачи зрительных и слуховых образов (например, букв, цифр на бумаге или звуков определенного языка).

Указанные уровни слабо зависят друг от друга, но в общении необходимо участие каждого из них. Конечно, информационный обмен между людьми не носит формальный характер и возможны отступления от указанных правил.

В случае обмена с помощью средств телекоммуникации правила взаимодействия (протоколы) должны быть строго определены и четко регламентированы, т. е. формализованы.

Определенная стандартами граница между взаимодействующими объектами называется стыком, или интерфейсом. Интерфейс (*interface*) – совокупность унифицированных связей и сигналов, посредством которых элементы системы (сети) связи соединяются друг с другом [5]). Различают межуровневые интерфейсы и интерфейсы внутри уровней (например, для физического уровня характерно наличие двух стыков: С1 – стык, учитывающий среду распространения, С2 – стык без учета среды распространения).

Необходимо отметить, что правила взаимодействия объектов разных открытых систем ЭМВОС допускают обмен сообщениями между объектами одного уровня только через объекты нижележащего уровня. При последовательном применении этого ограничения к каждому из уровней видно, что маршрут обмена сообщениями проходит через самый нижний уровень (рис. 3.1).

Следовательно, процедуры обмена сообщениями между различными открытыми системами включают протокольные процедуры соответствующих уровней и ряд интерфейсных межуровневых процедур.

Каждый N -й уровень в эталонной модели представляет следующему $(N + 1)$ -му уровню определенный набор функциональных возможностей по обработке, передаче сообщений, обнаружению и исправлению ошибок, возникающих при передаче через сеть связи и т. д. Совокупность функциональных возможностей N -го уровня и всех нижележащих уровней, предоставляемых объектом на границе между N -м и $(N + 1)$ -м уровнями, называется *службой*. Понятие «служба» будем использовать в рамках предоставления пользователям (прикладным процессам) функционально связанного набора услуг по обмену конкретными видами информации с заданными параметрами качества для решения прикладной задачи, реализуемой программно-аппаратными средствами открытой системы.

Следует отметить, что понятие «служба» может означать организацию, учреждение или систему. Так, например, в архитектуре единой сети электросвязи выделяют службы электросвязи, которые представляют собой организационно-технические системы, включающие органы, средства управления и обмена информацией, технический и административный персонал и обеспечивают весь комплекс мероприятий по удовлетворению потребностей абонентов (пользователей) в услугах телекоммуникационной сети.

При описании телекоммуникационных систем сетей с использованием ЭМВОС службы подразделяются на две группы: передачи и телеслужбы.

Службы передачи – службы, предназначенные для передачи сообщений по сети связи. Они описаны первыми тремя уровнями ЭМВОС.

Телеслужбы – службы (кроме телефонной, телеграфной и службы передачи данных), которые организуются с целью непосредственного обмена сообщениями между оконечными устройствами абонентов через сети электросвязи (рис. 3.2). К этим службам относятся телетекс, телефакс, видеотекс и др. Таким образом, функции телеслужб охватывают, во-первых, все функции передачи (с первого по третий уровень), во-вторых, функции связи оконечных устройств.

Функционирование объекта $(N + 1)$ -го уровня может обеспечиваться по запросу одним или совокупностью объектов N -го уровня. Для выполнения такого взаимодействия объекты любого уровня связываются посредством набора услуг, предоставляемых на $(N - 1)$ -м уровне. *Услугой* называется предлагаемый объекту (пользователю) набор функций и возможностей средств связи и автоматизации по приему, обработке, доставке и предоставлению информации. Очевидно, что услуга является частью службы, которая востребована объектом (пользователем).

Таковыми услугами, например, могут быть сокращенный набор номера для часто вызываемого абонента, извещение о поступающем вызове с индикацией, установление на ожидание при занятости канала связи, вызов с отнесением платы на счет указанный, в карте, распределение входящих номеров, вызов по банковской карте, переадресация вызовов, бесплатный вызов, идентификация злонамеренных вызовов

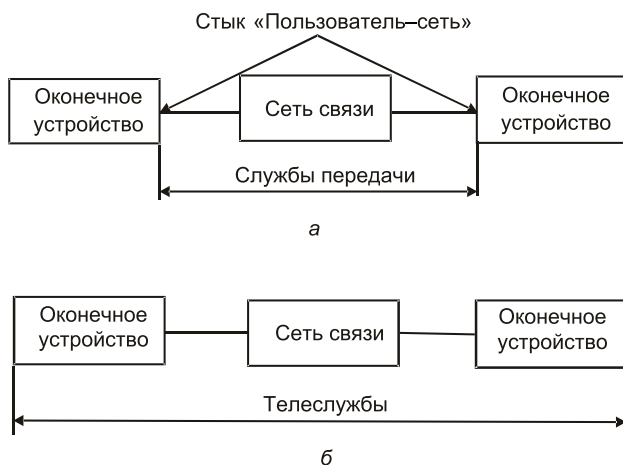


Рис. 3.2. Участки определения:
а – службы передачи; б – телеслужбы

и т. д. Услуги телекоммуникаций стандартизированы МСЭ в рекомендациях серии Q.

N -ю услугу характеризуют следующие параметры качества:

- ожидаемая задержка передачи;
- вероятность искажения информации;
- вероятность потери данных или их дублирования;
- вероятность передачи по неправильному адресу;
- защищенность от несанкционированного доступа.

Совокупность всех услуг, предоставляемых на уровне, и правил их использования называется *сервисом*. Объекты N -го и $(N + 1)$ -го уровней обмениваются управляющими сигналами и данными через так называемую точку доступа к N -й службе (N -ТДС), которая определяется как точка, в которой $(N + 1)$ -му объекту N -м объектом предоставляется N -я служба. Таким образом, если N -е объекты представляют собой активные компоненты модели, то N -ТДС – пассивные компоненты, служащие для хранения информации при передаче управляющих сигналов и данных между N -м и $(N + 1)$ -м объектами.

Различие уровней заключается в ориентации выполняемых задач, содержательная направленность которых отражается в их наименовании.

Два верхних уровня (прикладной и представительский) соответствуют прикладным процессам (рис. 3.3), т. е. процессам обработки сообщений для нужд пользователей. Это может быть ручной процесс, выполняемый на ЭВМ, или физический. Остальные уровни определяют так называемый сетевой метод доступа и реализуют функции телекоммуникационной сети. Точка раздела двух указанных групп уровней называется портом. Через порты по логическим каналам осуществляется связь различных процессов.

Логический канал – путь, по которому сообщения передаются от одного порта к другому. Логический канал прокладывается в одном физическом канале либо в последовательности каналов передачи. Логический канал, прокладываемый на сетевом уровне, называют виртуальным, а на канальном уровне – каналом передачи данных (информационным).

Каждый процесс может быть либо одно-, либо многопортовым. Помимо телекоммуникационной сети в рассматриваемой модели определена транспортная сеть, объединяющая четыре нижних уровня всех систем.

При создании ЭМВОС предполагалось, что регламентированный перечень функций, выполняемых отдельными уровнями, должен быть максимальным, и соответствовать международным стандартам. Одна-

ко такие стандарты на сегодняшний день в полном объеме разработаны лишь для первых трех уровней описания открытых систем. Это объясняется сложностью задачи, поставленной перед учеными и инженерами связи. Совокупность таких стандартов, получившая идентификатор X.25, определяет порядок функционирования сетей связи, основанных на принципе коммутации пакетов.

Старшие четыре уровня оказываются инвариантными к процессам коммутации, задаваемым первыми тремя уровнями, и поэтому называются сквозными (рис. 3.3).

Несмотря на отсутствие строгой регламентации функций, системный подход позволяет охарактеризовать уровни модели архитектуры систем передачи и распределения информации на достаточном уровне детализации.



3.2. Уровни модели архитектуры систем передачи и распределения информации

С целью изучения и последующего применения ЭМВОС ее уровни можно разбить:

- на группу верхних, содержащую три уровня (прикладной, представительский, сеансовый), на которых описываются телематические службы и процессы установления и поддержания соединений между оконечными устройствами, а также предоставляются сообщения (данные) в удобной для восприятия абонентом форме;
- группу нижних, содержащую три уровня (сетевой, канальный, физический), которые описывают процессы транспортировки, коммутации сообщений по сети от одного абонентского устройства к другому;
- транспортный (четвертый уровень) является связующим звеном между верхними и нижними уровнями (рис. 3.4).

Прикладной, или уровень управления процессами, (7-й уровень ЭМВОС) – уровень взаимосвязи открытых систем, отвечающий за инициализацию и завершение сеансов связи, распределение программных и аппаратных средств для реализации процесса [2]. В зависимости от своего назначения и типа оконечное устройство может осуществлять реализацию нескольких прикладных процессов, и пользователь имеет возможность воспользоваться любым из них.

Прикладной уровень предназначен для обеспечения доступа прикладных процессов пользователя (абонента), находящихся над прикладным уровнем. В общем случае все выполняемые на этом уровне процессы

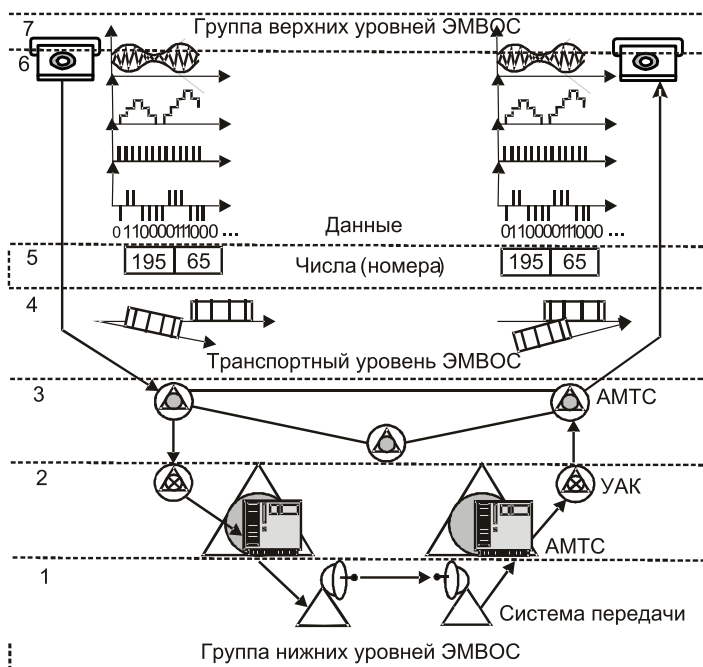


Рис. 3.4. Модель сети связи

могут быть представлены совокупностью двух групп – прикладных процессов пользователей и прикладных процессов административного управления (первые относятся к рабочим и терминальным системам, вторые – к административной). Эти системы были рассмотрены в первой главе.

Административное управление служит для координации ресурсов открытой системы, расположенных на всех ее уровнях. Прикладные процессы пользователей служат для управления обработкой информации; динамического распределения ресурсов между процессами; обслуживания процедур восстановления нормальной работы сети после появления сбоев и неисправностей; обработки информации, т. е. непосредственного выполнения тех основных функций, для которых создается система.

Прикладной уровень, взаимодействующий непосредственно с пользователем, обеспечен полным набором услуг, предлагаемых всеми нижними уровнями. Он диктует нижним уровням, какие услуги действительно должны быть вызваны. На прикладном уровне обеспечивается выполнение задач по взаимодействию прикладных процессов разнообразных открытых систем.

Для организации взаимодействия пользователей прикладной уровень имеет средства обращения к сервису, выполняемому представителем уровнем. Эти средства позволяют:

- формировать запросы на установление соединения с одним или несколькими другими абонентами;
- задавать форму представления сообщений, подлежащих обмену (в виде текста, таблицы, математической формулы и т. д.);
- запрашивать справки о наличии и состоянии прикладных процессов в других системах; и др.

Ключевой среди всех вышеперечисленных функций для прикладного уровня является обеспечение смыслового содержания сообщения (семантика).

Обращение к сервису осуществляется путем выполнения специальных процедур доступа, регламентированных межуровневым интерфейсом.

Таким образом, прикладной уровень является основным в ЭМВОС, так как остальные существуют только для обеспечения его работы.

Представительский, или уровень представления данных, (шестой уровень ЭМВОС) обеспечивает взаимосвязь открытых систем и работу прикладного уровня. Он структурирует данные, осуществляет преобразование символьных потоков, засекречивание и рассекречивание информации, а также необходимые преобразования данных для отображения их на дисплеях или печатающих устройствах [2].

Представительский уровень является самым простым с точки зрения взаимосвязи. Его функция – преобразование сообщений абонента (пользователя ПЭВМ) из формы, используемой прикладным уровнем, в форму, применяемую более низкими уровнями для передачи, т. е. осуществляется синтаксис сообщений. Так, если используется дисплей, то информация формируется в виде страницы с заданным числом строк определенной длины на экране. Кроме того, информация может представляться на ПЭВМ с применением различного шрифта, графических знаков, математических символов (для их представления в ПЭВМ имеются текстовый, графический и формульный редакторы). При использовании факсимильного аппарата определяются форма и структура документа и др. В общем случае каждый прикладной процесс может оперировать своими формами представления сообщений, поэтому представительский уровень должен обладать избирательностью в формах их представления, что, в свою очередь, требует введения в представительский уровень идентификации форматов сообщений.

Поскольку число прикладных процессов может быть произвольным, то таким же оказывается и число форм представления сообще-

ний. В результате требуется предусматривать большое число процедур идентификации и преобразования. Для ограничения числа этих процедур осуществляют стандартизацию форматов сообщений и определение количества так называемых локальных форматов, которыми оперируют прикладные процессы. При этом все многообразие схем преобразования форматов сообщений ограничивается тремя вариантами (рис. 3.5).

Первый вариант является простейшим и соответствует случаю, когда оба взаимодействующих процесса, например работающие сети связи и абонентские устройства одинакового аналогового типа, требуют сообщения в стандартном формате (СФ). При этом функция преобразования форматов, а следовательно, и основная функция представительского уровня исключаются.

Второй вариант нужен тогда, когда только один из взаимодействующих процессов «работает» со стандартными форматами. В этом случае в состав средств представительского уровня системы, использующей сообщения в локальном формате (ЛФ), необходимо вводить преобразователь форматов (ПФ). В задачу ПФ входит преобразование стандартного формата в локальный (и наоборот) в зависимости от направления движения сообщения.

Третий вариант необходим, когда оба процесса требуют обмена сообщениями в различных локальных форматах. Здесь необходимо использование преобразователей форматов в каждой из двух систем с теми же функциями, что и в предыдущем случае.

Представительский уровень описания систем характеризуется не только возможностью идентификации и преобразования форматов. К функциям представительского уровня относятся:

- адресация прикладных процессов и их портов;

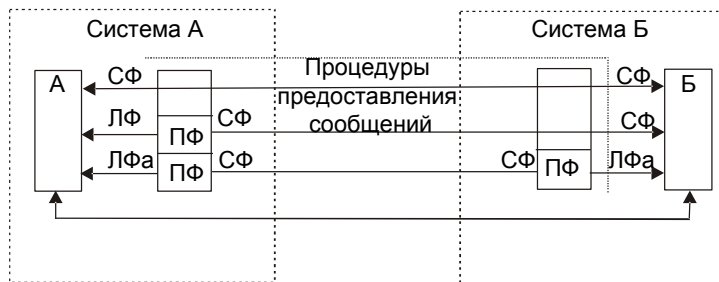


Рис. 3.5. Схемы преобразования форматов:
СФ – стандартный формат; ЛФ – локальный формат

- сжатие и расширение сообщений;
- шифрование и расшифровка сообщений, если они реализуются программными методами, а не аппаратурой.

Взаимодействие логических объектов (процессов) представительского уровня, подобно прикладному, организуется с помощью нижестоящего сеансового уровня.

Таким образом, выше представительского уровня сообщение имеет явную смысловую форму, а ниже – рассматривается только с точки зрения приведения его к форме, удобной для передачи по элементам открытой системы модели, и его смысловое значение не влияет на обработку.

Сеансовый, или 5-й уровень ЭМВОС, создает стандарт сеанса и контролирует его соблюдение [2].

Главной задачей сеансового уровня является организация диалога между абонентскими устройствами (терминалами), т. е. сеансов связи и управления обменом сообщениями по логическим каналам, которые существуют только в течение сеанса связи. В случае прерывания сеанса на сеансовом уровне обеспечивается его восстановление или извещение о невозможности дальнейшей работы.

Сеансы связи по логическим каналам могут быть одно- либо двусторонними. В этом смысле можно говорить о симплексной, полудуплексной и дуплексной связи. Симплексная связь – двусторонняя связь между двумя пользователями, при которой передача и прием ведутся поочередно. Полудуплексная связь – двусторонняя связь, в которой обмен сообщениями между двумя пользователями осуществляется по очереди с возможностью изменения направления в процессе передачи. Дуплексная связь – двусторонняя связь, при которой передача осуществляется одновременно с приемом.

Организация логических каналов в общем случае требует:

- идентификации сеанса связи;
- инициализации сеанса связи;
- идентификации границ передаваемых сообщений;
- прерывания и восстановления сеанса в случае возникновения сбойных ситуаций;
- завершения сеанса связи.

Транспортный, или 4-й уровень ЭМВОС, обеспечивает взаимосвязь открытых систем, осуществляет услуги по кодонезависимому и надежному обмену сообщениями между логическими объектами сеансового уровня при эффективном использовании ресурсов нижерасположенных уровней [2].

На транспортный уровень возлагаются задачи подготовки сообщений к виду, пригодному для передачи по сети связи; контроля целост-

ности сообщений, оптимизации использования средств связи; выбора вида и качества обслуживания процесса. На этом уровне выбирается тип коммутации (каналов, сообщений, пакетов и т. д.); формируется стандартное транспортное сообщение из входных данных, а также начало и конец транспортируемых единиц данных. Таким образом, транспортный уровень освобождает верхние уровни от учета особенностей сетей связи. Так, при передаче дискретных сообщений (например, в сети передачи данных или сети *ISDN*) методом коммутации пакетов в соответствии со стандартом X.25 на передающей стороне производится деление длинных сообщений, поступающих от верхних (сеансовых) уровней, на пакеты. Каждый пакет снабжается заголовком (З), концевиком (К) и передается через нижележащие уровни в сеть связи. Процесс деления сообщения на части формализованной длины называется сегментацией (рис. 3.6).

Деление необходимо потому, что в сетях с пакетной коммутацией передача сообщений осуществляется пакетами ограниченной длины, как правило 128 байт, а также потому, что для передачи сообщения может потребоваться несколько пакетов.

Пакет – это блок данных, передаваемых между абонентскими устройствами на сетевом уровне [6].

На приемной стороне открытой системы с помощью транспортного уровня модели описываются процессы сбора сообщения из принятого набора пакетов, полученных через канальный и сетевой уровни. Кроме того, транспортный уровень должен исключить потерю пакетов или их смещение. Таким образом, на транспортный уровень кроме подготовки сообщений для передачи в сетевой уровень возлагаются функция повышения достоверности, а также ряд других вспомогательных процедур:

- предоставление приоритетов при передаче блоков сообщений (нормальные, срочные);
- передача подтверждений о переданных блоках сообщений;
- ликвидация блоков при тупиковых ситуациях в сети;



Рис. 3.6. Сегментация сообщения

– контроль качества обслуживания по различным параметрам (среднему времени прохождения сообщения от отправителя до адресата, производительности сети, вероятности ошибок и ряду других параметров).

Транспортный уровень является границей, ниже которой пакет данных становится неделимой единицей информации, управляемой сетью. Выше транспортного уровня в качестве единицы информации рассматривается только сообщение. Необходимо подчеркнуть, что протоколы транспортного уровня относятся к классу межконцевых протоколов. Термин «межконцевой» подчеркивает тот факт, что транспортные протоколы обеспечивают обмен информацией между абонентами сети, тогда как протоколы нижних уровней отвечают только за доставку сообщений на отдельных участках сети.

Примером протокола транспортного уровня для конкретного применения является протокол, описанный в Рекомендации T.70, определяющей транспортные процедуры передачи сообщений в новой информационной службе Телетекс [1].

Эти четыре верхних уровня эталонной модели определяют и реализуют процессы взаимодействия пользователей, поэтому их иногда называют подсистемой пользователя.

К нижним уровням ЭМВОС относятся сетевой, канальный и физический. Они определяют работу непосредственно сети связи при обслуживании пользователей и регламентированы МСЭ-Т в Рекомендациях X.25 и X.75. Протокол X.25 определяет взаимодействие между абонентами, работающими через сети связи с коммутацией пакетов и входящими в состав ЕСЭ России. Протокол X.75 определяет процедуры взаимодействия между различными сетями с пакетной коммутацией. Часто данный протокол называют шлюзом. Пример взаимодействия сетей с пакетной коммутацией Роспак, Инфотел и Атлас показан на рис. 3.7.

Сетевой уровень – уровень, реализующий доставку данных между любыми узлами сети [6].

Сетевой уровень предназначен для выбора маршрута передачи сообщения по сети, коммутации в узлах сети, создания условий, исключая

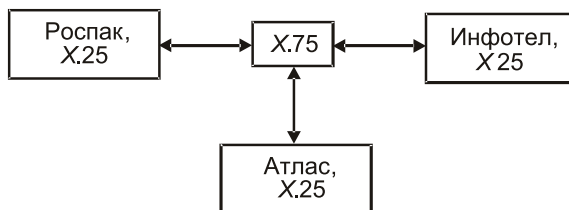


Рис. 3.7. Гибридная сеть с коммутацией пакетов

ющих перегрузку сети, которая может явиться следствием реализации недостаточно эффективной процедуры маршрутизации, передачи номера вызываемого абонента, установления и разъединения коммутируемого соединения. На этом уровне формируются физические и виртуальные каналы, дейтаграммы.

Другими словами, сетевой уровень «прокладывает» путь между системой – отправителем информации и системой-адресатом через всю телекоммуникационную сеть, т. е. обеспечивает маршрутизацию сообщения. Маршрутизацией называют процесс определения в телекоммуникационной сети пути, по которому вызов либо сообщение может достигнуть адресата.

Маршрутизация является распределенным процессом и выполняется всеми узлами коммутации сети связи. Для этого каждый узел определяет виртуальный канал или канал передачи, по которому необходимо направить вызов или сообщение от абонента к корреспонденту, тем самым создавая путь на сети связи.

Например, при необходимости доставки сообщения от пользователя А к пользователю Б (рис. 3.8) возможна их передача по каналам 1, 2, ..., е, ..., h, где h – общее число каналов передачи, смежных с узлом U_s и соединяющих его с h другими узлами сети. Выбор конкретного канала осуществляется в соответствии с используемым критерием качества (гл. 1) по величине показателя качества Q_ϵ ($\epsilon = 1, 2, \dots, h$), соответствующего маршруту, в который входит канал от узла U_s с номером ϵ .

В качестве Q_ϵ могут выбираться такие показатели, как время доставки сообщения, вероятность своевременной доставки сообщения и т. д.

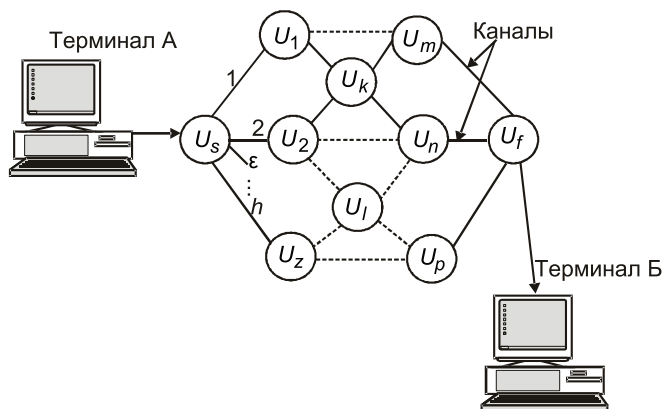


Рис. 3.8. Возможные маршруты передачи сообщений (пакетов) от пользователя А к пользователю Б:
 U – узел сети связи

При известных значениях Q_{ϵ} может быть использована детерминированная или вероятностная процедура выбора исходящих каналов.

При детерминированной процедуре используются маршрутные таблицы, в которых указываются адреса и соответствующие им номера исходящих каналов, выбранных по значениям показателей Q_{ϵ} (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Вариант детерминированной таблицы маршрутизации

Маршруты	Получатели			
	U_1	U_2	...	U_{ϵ}
Основной	1	2	...	
Дополнительный	2	1	...	ϵ

При применении вероятностной процедуры выбора маршрутов в маршрутной таблице (табл. 3.2) задается распределение вероятностей, и сообщение из узла U_s при передаче в узел U_f может быть выдано в любой из исходящих каналов с вероятностью $P_{\epsilon}(f)$, причем

$$\sum P_{\epsilon}(f) = 1. \quad (3.1)$$

Детерминированная процедура является частным случаем вероятностной, когда одна из вероятностей равна единице, а все остальные – нулю. Выбор вероятности $P_{\epsilon}(f)$ производят по значениям показателей эффективности Q_{ϵ} , причем большие вероятности приписываются лучшим маршрутам. Применение вероятностной процедуры позволяет более равномерно распределять сообщения по элементам сети.

Таблица 3.2

Вариант вероятностной таблицы маршрутизации

Исходящие каналы	Получатели			
	U_1	U_2	...	U_f
1	$P_1(1)$	$P_1(2)$	$P_1(\dots)$	$P_1(f)$
2	$P_2(1)$	$P_2(2)$	$P_2(\dots)$	$P_2(f)$
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
h	$P_h(1)$	$P_h(2)$	$P_h(\dots)$	$P_h(f)$

Совокупность маршрутных таблиц узлов связи реализует определенный план распределения сообщений в сети связи, обеспечивающий оптимизацию ее пропускной способности.

При коммутации каналов прокладка маршрута через телекоммуникационную сеть осуществляется только в момент начала сеанса взаимодействия абонентских систем. Для этой цели пользователь – ини-

циатор установления связи – передает через сеть вызов. Он проходит через узлы коммутации, каждый из которых влияет на процесс маршрутизации. В результате создается последовательность каналов, соединяющих двух взаимодействующих на время передачи сообщений пользователей. При этом передача сообщений осуществляется прозрачным способом – отправитель и получатель «не видят» узлы коммутации, через которые проходят сообщения.

Необходимо отметить, что в сети связи с коммутацией пакетов сообщение, состоящее из нескольких пакетов, как правило, идет по нескольким путям. Для этого на сетевом уровне в пакеты добавляется соответствующая служебная информация, необходимая для продвижения пакетов по узлам коммутации и линиям связи сети связи (например, общее число пакетов в сообщении и порядковый номер каждого из них). Адрес сетевого уровня в чем-то похож на почтовый адрес, который определяет место нахождения корреспондента, указывая страну, область, почтовый индекс, город, улицу, дом, квартиру и имя адресата. Следует заметить, что иерархические адреса делают сортировку и повторный вызов более легкими путем исключения крупных блоков логически идентичных адресов в процессе операции сравнения. Например, можно исключить все адресные данные других государств, если в адресе указано государство Беларусь.

При передаче пакетов сообщения по сети связи возникает проблема: такие характеристики, как длина поля адреса, размер пакета и даже промежуток времени, в течение которого пакету разрешается перемещаться по сети и по истечении которого пакет считается потерянным и выдается запрос на пакет-дубликат, в каждой сети различны. По этой причине управляющая информация, включаемая в пакеты на сетевом уровне, должна быть достаточной для предотвращения возможных недоразумений и обеспечения успешной доставки и сборки пакетов.

Очевидно, что транспортный и сетевой уровни в значительной степени дублируют друг друга, особенно в плане функций управления потоком сообщений (пакетов) и контроля ошибок. Главная причина такого дублирования заключается в том, что существуют два варианта связи с коммутацией пакетов (сообщений) – с установлением соединения и без установления. Эти варианты базируются на разных предположениях надежности сети.

Связь с установлением (как и при коммутации каналов) предусматривает первоначальное установление сквозного соединения (канала связи) от потребителя до потребителя, после чего происходит обмен информацией между абонентами. В этом случае абоненты не обязаны завершать обмен информацией своим именем, именем вызываемого

корреспондента и его адресом, поскольку предполагается, что связь надежна и противоположная сторона получает сообщение без искажений. Адрес пункта назначения в такой сети необходим лишь при установлении соединения, в самих же сообщениях он не нужен. В такой сети сетевой уровень выполняет функцию по контролю ошибок и управлению потоком сообщений. Кроме того, в сети связи с коммутацией пакетов в его функции входит сборка пакетов.

Связь без установления соединения (дейтаграммный способ), наоборот, предполагает, что контроль ошибок и управление потоком сообщений (пакетов) осуществляются на транспортном уровне. Адрес пункта назначения необходимо указывать в каждом пакете, соблюдение очередности пакетов не гарантируется. Основная идея такой связи состоит в том, что пакеты передаются по разным, заранее не коммутированным маршрутам сети связи. В результате в узлах коммутации могут образовываться очереди на передачу пакетов. Важнейшим показателем таких сетей является скорость передачи. Потребители должны полагаться на собственные программы контроля ошибок и управления потоком сообщений (пакетов), а не на встроенные стандартные средства модели ВОС. При разработке ЭМВОС возможности связи с соединением и без него описаны в обоих уровнях – сетевом и транспортном. Конечный потребитель может выбрать соответствующие стандартные значения для управляющих полей этих уровней и использовать тот метод, который, на его взгляд, лучше. Недостаток состоит в излишней избыточности, предусмотренной в обоих уровнях, что означает дополнительное количество служебной информации. При передаче информации в таком формате по линиям дальней связи это приводит к дополнительным накладным расходам, поскольку процесс передачи занимает больше времени.

Канальный уровень – уровень взаимосвязи открытых систем, осуществляющий управление передачей информации по каналу. С помощью канального уровня рассматриваются (описываются) процессы передачи стартового сигнала и организации начала передачи информации, самой передачи информации по каналу, проверки получаемой информации и исправления ошибок, отключения канала при его неисправности и восстановления передачи после ремонта техники, генерации сигнала окончания передачи и перевода канала в пассивное состояние.

На канальном уровне происходят прием пакетов по заданным маршрутам передачи на сетевом уровне и их подготовка к передаче по указанным каналам связи, совокупность которых собственно и образует сеть. Для этого пакеты преобразуются в кадры соответствующего размера (рис. 3.9). Кадр – блок данных, передаваемый на канальном уровне.

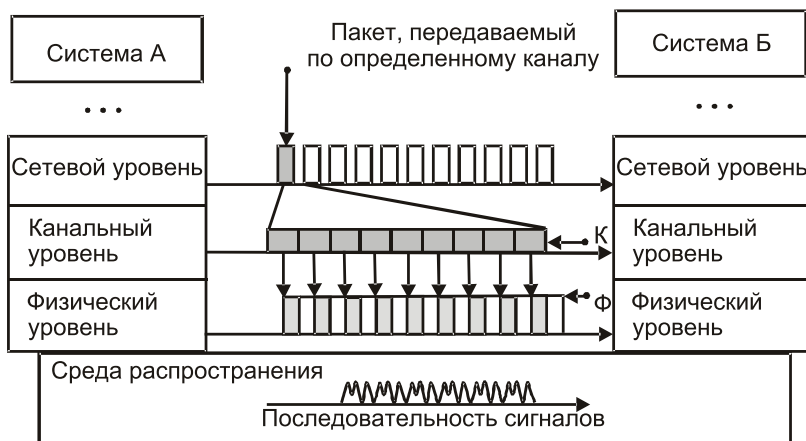


Рис. 3.9. Схема передачи пакетов по объектам, описываемым нижними уровнями ЭМВОС:
К – кадр; Ф – флаг

Реализация соответствующих услуг канального уровня осуществляется с помощью набора служебных сообщений (в литературе они имеют названия: «примитивы», «транзакции» или «интерфейсные блоки данных»; в дальнейшем мы будем называть их примитивами), которые в ЭМВОС делятся на три группы: запроса, индикации, ответа (подтверждения). Эти примитивы удобно рассматривать как управляющую информацию, присущую определенным фазам работы канала: организация канала, передача по нему сообщений, завершение работы канала.

Фаза организации канала

За время фазы организации канала возможно использование пяти типов примитивов:

1. Запрос соединения, используемый сетевым уровнем в качестве требования на организацию логического канала (табл. 3.3). При выполнении этого запроса канальный уровень отвечает примитивом (транзакцией) подтверждения соединения. При поступлении запроса на соединение от удаленного абонента он передается канальным уровнем к сетевому уровню в виде примитива «индикация на запрос соединения».

2. Запрос активизации, используемый при управлении канальным уровнем с целью перевода в активное состояние компонентов этого уровня. В ответ на этот запрос передается примитив «подтверждение активизации».

Таблица 3.3

Примитивы, используемые в различных фазах работы канала связи

Система А		Канал связи	Система Б	
Сетевой уровень	Канальный уровень		Канальный уровень	Сетевой уровень
Запрос на соединение	→	Сообщение о запросе на соединение →	Индикация запроса на соединение →	← Ответ на запрос соединения
	← Подтверждение соединения	← Сообщение о согласии на соединение		
→ Передача блока данных ←		→ Информационный кар	→ Индикация поступления данных	← Ответ на поступление данных
	← Подтверждение приема блока данных	← Сообщение о подтверждении приема (квитанция)		
→ Запрос на разъединение		→ Сообщение о разъединении	→ Индикация разъединения	← Ответ на запрос на разъединение
	← Подтверждение разъединения	← Сообщение о подтверждении разъединения		

3. Запрос выбора конкретного физического соединения из группы возможных соединений. В ответ выдается примитив «подтверждение выбора».

4. Запрос индикации конечных точек соединения, с помощью которых осуществляется обмен сообщениями с другим сетевым компонентом.

5. Запрос согласования параметров, определяющих качество предоставляемых услуг.

Фаза передачи сообщений по каналу

Возможно использование шести типов примитивов:

1. Запрос передачи блока данных к удаленному сетевому компоненту. Подтверждение сообщается на канальном уровне примитивом «подтверждение передачи данных». Блок данных, поступивший от удаленной станции, передается сетевому уровню с помощью примитива индикации поступления данных, а ответом на него служит примитив ответа на поступление данных.
2. Запрос срочной передачи блока данных используется для ускоренной (срочной) передачи блока данных.
3. Запрос управления потоком, передаваемый от сетевого уровня к канальному. Для сообщения о поступлении аналогичного запроса от удаленного абонента канальный уровень использует примитив индикации запроса управления потоком.
4. Запрос перехода к начальным условиям, при котором осуществляются сброс имеющихся в канальном уровне блоков данных и установка начальной нумерации.
5. Запрос текущего состояния канального уровня.
6. Запрос прерывания процесса передачи блока данных.

Фаза завершения соединения в канале

В этой фазе применяются два примитива:

1. Запрос разъединения логического канала, передаваемый от сетевого уровня канальному.
2. Запрос деактивизации компонента канального уровня.

Необходимость обнаружения и исправления ошибок во время передачи сообщений по каналам связи вызвана сравнительно низким их качеством, а также наличием различного рода помех (случайных или специально организованных – преднамеренных).

Для выполнения функции по обнаружению ошибок на канальном уровне применяется метод автоматического запроса повторной передачи, который предусматривает, что если выявлена ошибка, то принимающая открытая система передает код неподтверждения приема, а передающая – повторяет передачу.

Рассмотренные фазы работы канала связи по мере необходимости повторяются в передаче сообщений.

В качестве стандарта для протоколов канального уровня организацией ISO рекомендуется протокол *HDLC (High Level Data Link Control – протокол управления каналом передачи данных)* [3].

Физический уровень – уровень, определяющий механические, оптические, электрические, процедурные средства передачи сигналов через физические средства соединения [6].

Физический уровень предназначен для переноса сообщения (последовательности бит) в виде, пригодном для передачи по конкретной используемой физической среде, в качестве которой могут использоваться, как правило, сеть связи или совокупность отдельных выделенных каналов передачи, соединительная проводная линия, радиоканал и т. д.

Физический уровень выполняет три функции: установление и разъединение физических соединений между коммутационными устройствами; преобразование сигналов к виду, пригодному для передачи по физической среде; реализация интерфейса (стыка).

Установление и разъединение соединения. При использовании коммутируемых каналов на физическом уровне необходимо осуществить предварительное соединение взаимодействующих абонентских устройств и их последующее разъединение. Применение выделенных (арендуемых) каналов такую процедуру упрощает, так как каналы постоянно закреплены за соответствующими направлениями связи. Обмен сообщениями между абонентскими устройствами, не имеющими прямых связей, организуется с помощью коммутации потоков, сообщений, пакетов или каналов связи через промежуточные узлы коммутации. Однако функции такой коммутации выполняются уже на более высоком уровне и к физическому уровню отношения не имеют.

Кроме физического подключения на физическом уровне согласуются режимы работы средств связи, способы модуляции, скорости передачи, режимы исправления ошибок и т. д.

После установления соединения управление передается более высокому канальному уровню.

Преобразование сигналов. Для согласования передаваемого с абонентского устройства низкочастотного сигнала с параметрами канала связи осуществляется его преобразование (одного или нескольких его параметров) в высокочастотный сигнал с помощью несущего колебания. Такое преобразование аналогового сигнала называется модуляцией, а устройство – модулятором; обратное преобразование – демодуляцией, а устройство – демодулятором. Устройство, в котором реализованы обе функции, называется модемом.

Реализация стыка (интерфейса). На физическом уровне различают стыки, взаимодействующие со средой распространения, и стыки, не взаимодействующие с ней. Стык, взаимодействующий со средой распространения сигналов, осуществляет взаимодействие модема с физическим (аналоговым или цифровым) каналом связи. Он соответствует одному из гостированных канальных стыков С1 (рис. 3.10).

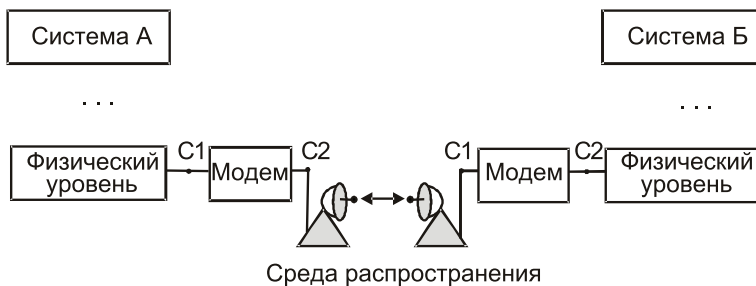


Рис. 3.10. Внутриуровневые стыки (интерфейсы):

C1 – стык, взаимодействующий со средой распространения сигнала;
C2 – стык, не взаимодействующий со средой распространения сигнала

Примерами стыков C1 могут быть:

- C1-ТФ (ГОСТ 23504–79, 25007–81, 26557–85) – для каналов телефонной сети связи общего пользования;
- C1-ТЧ (ГОСТ 23475–79, 23504–79, 23578–79, 25007–81, 26557–85) – для выделенных каналов ТЧ;
- C1-ТГ (ГОСТ 22937–78) – для телеграфных каналов связи;
- C1-ШП (ГОСТ 24174–80, 25007–81, 26557–85) – для первичных широкополосных каналов;
- C1-ФЛ (ГОСТ 24174–80, 26532–85) – для физических линий связи и др.

Стык, не взаимодействующий со средой распространения сигналов, осуществляет взаимодействие оконечного устройства пользователя (терминала) и модема. Они определяются ГОСТами как преобразовательные стыки C2. Стандарты и рекомендации (V.24, RS-232, RS-449, V.35 и др.) по C2 определяют общие (скорость и последовательность передачи), функциональные и структурные (номенклатура, категория цепей интерфейса, правила их взаимодействия), электрические (величины напряжений, токов и сопротивлений) и механические (габариты, распределение контактов по цепям и др.) характеристики.

На физическом уровне происходит диагностика определенного класса неисправностей, например таких, как обрыв провода, пропадание питания, потеря механического контакта и т. д.

Таким образом, физический уровень обеспечивает передачу сигналов без группировки передаваемой последовательности в более крупные информационные единицы, а также без анализа смыслового содержания как информационной, так и служебной составляющих сообщения. Реализация интерфейса физического и канального уровней осуществляется посредством модемов в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т.



3.3. Взаимодействие элементов открытых систем

Прежде чем приступить к рассмотрению вопросов, касающихся взаимодействия элементов открытых систем, необходимо дать определения понятиям «взаимосвязь» и «взаимодействие».

Часто в переводах встречается расшифровка аббревиатуры ЭМВОС как эталонная модель взаимодействия открытых систем. Это не удивительно, так как операторы сетей и производители средств связи зачастую не зависят друг от друга и, следовательно, не имеют системы управления, которая могла бы целенаправленно воздействовать на них одновременно. Выходом из такой ситуации явилась концепция, основанная на взаимодействии, т. е. согласованном функционировании элементов с единой целью – предлагать услуги и средства связи. Такое взаимодействие осуществляется на основе документов, несущих рекомендательный и открытый для дополнений характер, которые дают возможность производителям и операторам ориентироваться на эталоны и безболезненно внедрять новые системы и услуги связи. Понятие «взаимодействие» с точки зрения теории систем полностью отвечает замыслу создания ЭМВОС.

Однако в Основных положениях развития ВСС РФ на перспективу до 2005 г. четко прослеживается, что взаимодействие определяет порядок целевого функционирования различных сетей связи, а взаимосвязь включает еще и службы электросвязи [4].

Учитывая, что ЭМВОС описывает не только системы, сети и службы электросвязи и не является единственной концепцией в мире, а также исходя из системных позиций, под взаимодействием элементов открытых систем будем понимать их согласованное функционирование с целью выполнения общих задач по обеспечению услугами электросвязи абонентов этих систем.

Взаимодействие элементов открытых систем между собой может быть организационно-техническим, экономическим, правовым. Здесь более подробно описано организационно-техническое взаимодействие, под которым понимается взаимодействие технических средств и эксплуатационного персонала элементов открытых систем.

Взаимодействие между элементами открытых систем должно обеспечить:

1. Повышение эффективности функционирования открытых систем.
2. Комплексное использование ресурсов открытых систем.
3. Возможность связи между абонентами открытых систем и др.

Опираясь на вышерассмотренные функции уровней ЭМВОС, можно утверждать, что протоколы первых трех уровней позволяют установить соединение по сети связи, передать как речевые, так и неречевые сообщения и деактивировать соединение, т. е. осуществить функции передачи. Протоколы верхних уровней дают возможность организовывать различные телеслужбы при использовании одной и той же сети связи, т. е. осуществлять функции связи между абонентскими устройствами. Верхние уровни в основном используются для передачи неречевых сообщений при подключении абонентских устройств в виде ЭВМ, факсимильных аппаратов и т. д. Таким образом, при взаимодействии элементов ЭМВОС выделяют два типа функций взаимодействия (ФВ):

- 1) относящаяся к функциям передачи, которые принадлежат первым трем уровням (рис. 3.11);
- 2) относящаяся к функциям связи, которые реализуются (описываются) всеми уровнями (рис. 3.12).

Требования к функции взаимодействия определяются путем сравнения функциональных характеристик взаимодействующих сетей (например, для вторичной сети – установление соединения и отбой, кодирование сигналов, маршрутизация, контроль качества обслуживания и др.) и телеслужб (например, установление и разъединение связи между абонентскими устройствами – терминалами, кодирование информации пользователя, организация сеансов связи и передача отдельного сообщения, обеспечение безопасности информации и др.).

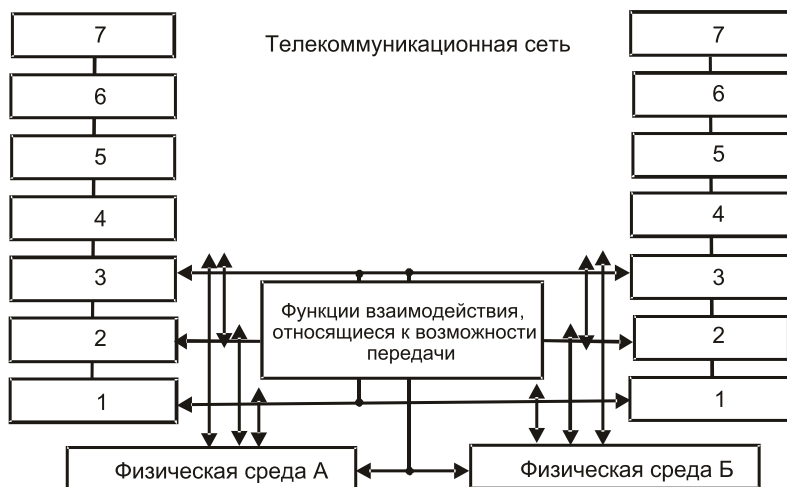


Рис. 3.11. Функции взаимодействия, относящиеся к возможности передачи

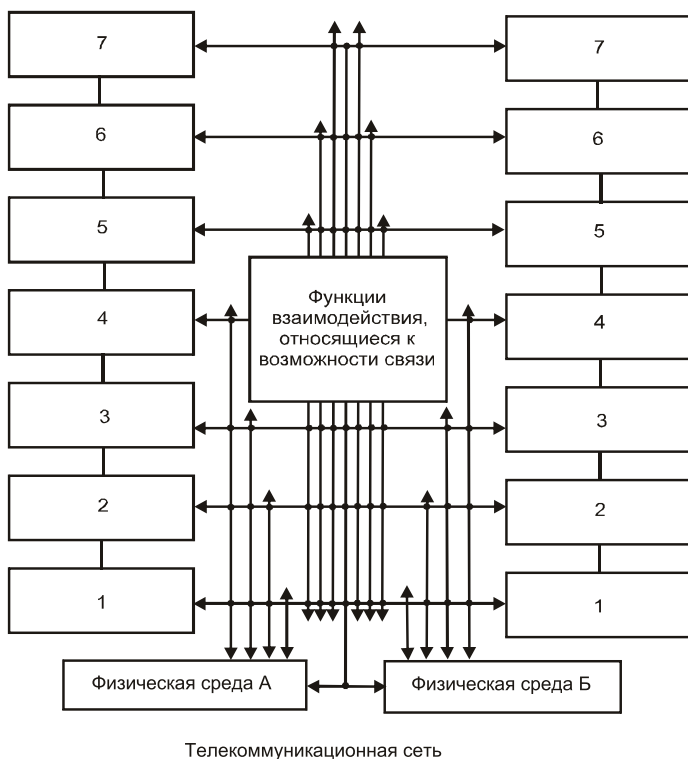


Рис. 3.12. Функции взаимодействия, относящиеся к возможности связи

Совпадающие характеристики не требуют преобразований на ФВ (например, в сетях связи, где коммутируются только аналоговые телефонные каналы), а несовпадающие нуждаются в соответствующем преобразовании на ФВ (например, в одной сети коммутируются аналоговые телефонные каналы, а в другой – дискретные).

При передаче неречевых сообщений от одного абонента к другому по элементам открытых систем дополнительно должны предусматриваться функции преобразования: упаковки и сегментации. Так, для сетей, в которых передаются данные (сети передачи данных, *ISDN*), упаковка предусматривает передачу информации в блоках, состоящих из трех полей (заголовка, поля данных и концевика) (рис. 3.13).

Структура служебной информации в общем случае может быть произвольной. Однако на практике применение нашли два типа структур, выбор которых определяется способом идентификации (опознавания) границ передаваемых сообщений.



Рис. 3.13. Схема упаковки информации

При использовании асинхронного способа передачи служебная часть информации представляется совокупностью двух блоков – заголовка (З) и концевика (К), размещенных соответственно в начале и в конце сообщения, которые сформированы смежным старшим уровнем. Служебные блоки снабжаются специальными признаками, позволяющими выделить их среди других блоков.

При синхронной передаче идентификация границ более проста, так как служебная информация представлена одним блоком, например только заголовком. Для опознания конца сообщения на приемной стороне в заголовке указывается длина сообщения. Схема упаковки сообщения остается такой же, как и при асинхронной передаче, за исключением того, что по мере продвижения сообщения от старших уровней к младшим осуществляется накопление лишь заголовков.

Представительский уровень к полученной части сообщения добавляет заголовок процесса, который включает адреса получателя и отправителя, тип сообщения, номер блока в исходном сообщении.

В таком виде сообщения передаются сеансовому уровню, добавляющему к ним концевик процесса. Основной информацией, содержащейся в концевике, являются проверочные символы, позволяющие выявлять ошибки на приемном конце.

Полученная совокупность сообщения пользователя, заголовка и концевика процесса получила наименование «блок данных».

На приемном конце выполняются процедуры, сводящиеся к объединению блоков данных в единое сообщение и предоставлению его пользователю-адресату.

Рассмотренный состав служебной информации блока данных достаточен только тогда, когда обмен между пользователями идет внутри одной системы и не задействована телекоммуникационная сеть.

Взаимодействие различных открытых систем, основывающихся на телекоммуникационной сети, требует участия всех уровней ЭМВОС. В этом случае блоки данных, поступающие на транспортный уровень, подвергаются дальнейшему преобразованию. К каждому блоку данных здесь добавляется дополнительная служебная информация в виде заголовка передачи, где указываются тип сообщения, адреса взаимодействующих сеансовых объектов, идентификатор фрагмента. В результате получается фрагмент данных.

На сетевом уровне для выполнения процедуры маршрутизации к фрагменту данных добавляется заголовок пакета, что и приводит к образованию пакета данных.

Пакет данных после передачи его на канальный уровень обрамляется заголовком и концевиком канала. Этим завершается формирование основной единицы данных, подлежащей передаче по физическому каналу (каналу передачи), – информационного кадра (рис. 3.14).

Служебная информация физического канала формируется в виде флага, представляющего собой байт данных определенной конфигурации. Флаги поочередно передаются с информационными кадрами, идентифицируя тем самым их границы (см. рис. 3.9).

Таким образом, процедура получения кадра сводится к упаковке данных на каждом уровне в свой конверт, подписанию на нем адреса и передаче его младшему смежному уровню без выявления содержательной стороны вложенной в конверт информации.

Сообщения, формируемые прикладным процессом (потребителем), могут иметь произвольный объем. Однако передать такое сообщение по сети связи сложно (особенно по виртуальным каналам, так как они создаются на время передачи сообщения и существовать продолжительное время не могут), поэтому на представительском уровне сообщения подвергаются сегментации, т. е. делению произвольного сообщения на пакеты фиксированной длины. Далее сообщение (см. рис. 3.9) через физические каналы, узлы коммутации (сеть связи) поступает от абонента-отправителя абоненту-адресату.

Необходимо отметить, что на начальных этапах перехода от аналоговых сетей к цифровым, а в последующем – к единой сети *ISDN* передача речевых и неречевых сообщений производится на базе существующих цифровых телефонных сетей и сетей передачи данных (ПД) с коммутацией пакетов. Взаимодействие осуществляется по протоколу *X.25* (в самой сети связи участвуют только три нижних уровня ЭМВОС),

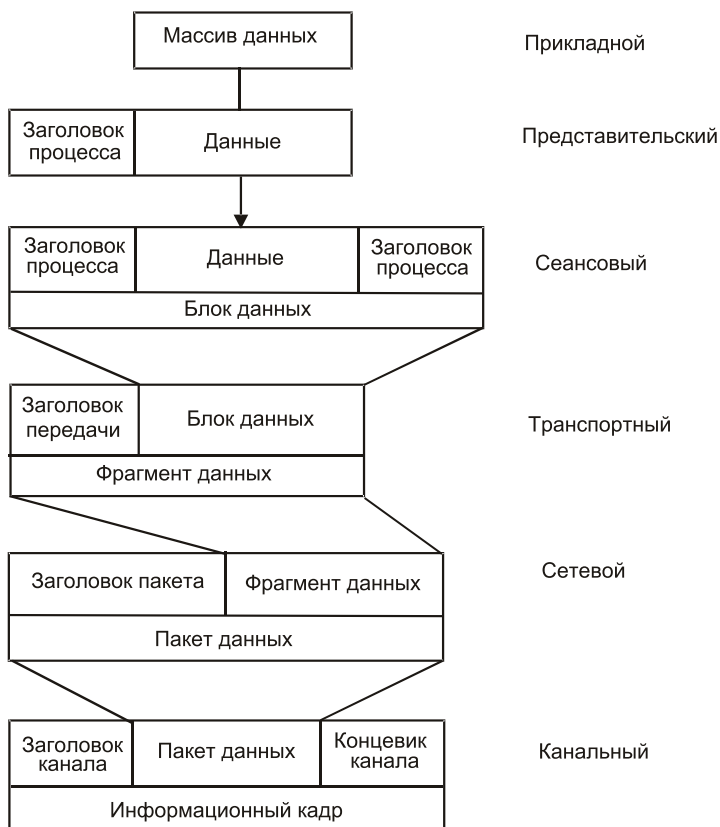


Рис. 3.14. Схема формирования информационного кадра

что при необходимости требует введения в состав узлов телефонной связи соответствующих шлюзов.

Шлюз – устройство, посредством которого соединяются сети разных архитектур.

Для подключения к сети цифровых абонентов используется базовый ($2B + D$), а для межузловое взаимодействие – первичный ($30B + D$) доступ.

С точки зрения ВОС способ реализации функций уровня не имеет значения – аппаратный или программный, лишь бы эти функции выполнялись. Очевидно, что только физический уровень реализуется аппаратно. В целях повышения производительности канальный и отчасти сетевой уровни возможно реализовать аппаратно. Более высокие уровни реализуются, как правило, программно как процессы, протекающие в рамках операционной среды (например, в сетях ПД или *ISDN*, информационных системах).



3.4. Функциональные стандарты и профили взаимосвязи открытых систем

Стандарт – нормативно-технический документ, устанавливающий единицы величин, термины и их определения, требования к средствам связи (автоматизации) и процессу передачи по ним сообщений.

Базовый стандарт – утвержденный Государственный стандарт, Международный стандарт, Технический отчет или Рекомендация МСЭ-Т.

Базовые стандарты могут объединяться в группы, образуя профиль.

Профили определяют комбинации базовых стандартов с целью идентификации их и соответствующих протокольных классов, необходимых для взаимодействия, обеспечения в системной документации указаний на различные способы использования базовых стандартов, имеющих значение как для абонентов, так и для поставщиков.

Как было сказано ранее, ЭМВОС предназначена служить эталоном для структуры системы (сети) связи, которым можно обосновать роль стандартов для каждого уровня. Более того, не предполагается, что с каждым уровнем должен ассоциироваться единственный протокол. Наоборот, каждому уровню соответствует набор стандартов, регламентирующих различные функции для отдельных уровней. В силу этого для каждой конкретной среды взаимодействия открытых систем может быть определен конкретный комплект стандартов, которым будут пользоваться все системы (сети) данной среды.

Тремя главными международными органами, активно разрабатывающими стандарты взаимодействия систем и сетей связи, являются Международная организация по стандартам (МОС (ISO)); Американский институт инженеров по электротехнике и электронике (АИИЭЭ); Международный союз электросвязи (МСЭ). МОС и АИИЭЭ разрабатывают в основном стандарты, рассчитанные на производителей, а МСЭ – стандарты для подключения абонентских устройств к национальным и международным сетям различных типов. Общее количество существующих базовых стандартов составляет более 450. Все они ориентированы на описание протоколов услуг и интерфейсов среды ВОС применительно к семиуровневой архитектуре ЭМВОС и подразделяются на четыре большие группы:

1. Общеархитектурные стандарты описывают общие принципы взаимосвязи открытых систем.
2. Стандарты по прикладным функциям описывают принципы построения, услуги, протоколы и функции прикладного, представительно-

го, сеансового уровней и включают следующие подгруппы стандартов: структуры прикладного уровня, общих сервисных элементов прикладного уровня, кодирования информации и др.

3. Стандарты по коммуникационным функциям объединяют стандарты на протоколы и услуги нижних уровней ЭМВОС.

4. Стандарты по сетевым технологиям описывают различные классы построения телекоммуникационных сетей и включают следующие две подгруппы стандартов:

- сети связи и передачи данных общего пользования (телефонная сеть общего пользования, сеть передачи данных, ЦСИО и др.);
- локальные вычислительные сети.

В табл. 3.4 представлены основные существующие и разрабатываемые стандарты для семи уровней ЭМВОС (наиболее подробно описанные в научной и учебной литературе).

Таблица 3.4

Сводное описание стандартов

Уровень ЭМВОС	Стандартные протоколы
Прикладной	X.400, X.500, X.700, X.800, FRAM, MMS, ODA/EDI, сетевые аспекты мультимедиа-приложений
Представительский	ASN 1, V.42 bis, MNP-5, X.208, X.209, X.216, X.226, ISO 8824, 8825, 8822, 8823, криптозащиты, сжатия
Сеансовый	X.3, X.28, X.29, X.215, X.225, ISO 8826, 8827
Транспортный	TCP, UDP, X.214, X.224, X.75, ISO 8072, 8873, 10608
Сетевой	IP, X.25, DS-1, DS-3, FR, ISO 8473, 8648, 9577, 8208
Канальный	HDLC, LAP-B/ D/ F, IEEE-8022, 8023, 8024
Физический	RS-232c, RS-449, RS-422, RS-423, X.20, X.21, V.36

Кратко рассмотрим назначение некоторых из этих стандартов.

Стандарт X.400 описывает порядок обмена сообщениями в цифровых сетях связи в режиме электронной почты. Первый вариант этого стандарта был опубликован в 1984 г., второй – в 1988 г.

Система обработки сообщений на основе X.400 предоставляет два вида услуг:

1) передачу сообщений (обеспечиваются надежность и промежуточное хранение);

2) отправку и вручение сообщений (обеспечиваются единый формат для сообщений с компонентами разных типов и при необходимости преобразование сообщений одного типа в другой, например преобразование факсимильного сообщения в текстовый или растровый вид). Кроме того, осуществляется взаимодействие с некомпьютерными средствами, такими как факс и телекс.

На рис. 3.15 показана система обработки сообщений, соответствующая X.400.

Абонент передает сообщение в устройство пользователя (УП), которое упаковывает его в «конверт» и помещает в поле заголовка адресную информацию. По заложенной служебной информации отыскиваются необходимые адреса и создаются списки рассылки. Затем устройство пользователя передает конверт с заголовками и сообщением на ближайший узел коммутации (УК) сети связи, откуда он пересылается от одного УК к другому, пока не дойдет до УК получателя.

Комплект спецификаций X.400 включает протокол P.1, который описывает конверт. Конверт X.400 имеет заголовок, содержащий сведения об отправителе, получателе, предмете сообщения и списки адресов рассылки копий. Устройства пользователя взаимодействуют с узлами коммутации посредством протокола P.2, который регламентирует структуру сообщения и порядок доставки.

Стандарт X.75 применяется для обмена информацией в международных сетях связи с коммутацией пакетов или для взаимодействия сетей ПД разных конфигураций в качестве шлюза.

Стандарт X.25 предназначен для управления потоком сообщений и контроля ошибок в сетях ПД. Он определяет правила взаимодействия между абонентским устройством пользователя и аппаратурой образования канала, с одной стороны, и узлами коммутации пакетов сети связи – с другой.

Стандарт X.25 реализуется за счет трех нижних уровней ЭМВОС, например на канальном уровне – протоколом HDLC (*High Level Data Link Control* – высокоуровневая процедура управления линией), предназначенным для регламентирования процедуры управления линией, а на физическом – стандартом X.21. Стандарты X.400 и X.25 реализованы в сети передачи данных специального назначения. При взаимодействии сетей, построенных по стандарту X.25, применяется стандарт X.75.

Стандарт RS-232 применяется на сетях ПД, определяет состав и назначение цепей (линий), используемых при последовательном вво-

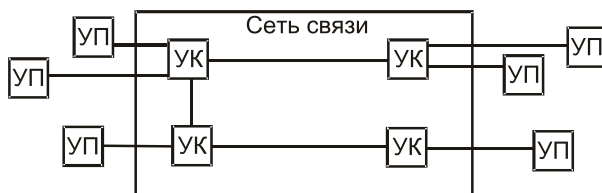


Рис. 3.15. Система обработки сообщений по стандарту X.400:

УК – узел коммутации; УП – устройство пользователя

де (выводе) сообщений между аппаратурой передачи данных (АПД) и оконечным оборудованием данных (ООД), а также технические требования, предъявляемые к ним в соответствии с международными стандартами V.24, V.28.

RS-232 обеспечивает синхронную или асинхронную передачу данных по некоммутируемым (при двухточечном или многоточечном соединении), а также по коммутируемым (при ручном или автоматическом установлении соединения) каналам связи.

Таким образом, при описании сети связи необходимо знание различных стандартов, регламентирующих правила взаимодействия отдельных элементов этой сети.

Применение ЭМВОС при построении систем и сетей приносит значительные выгоды:

- обеспечивает экономию затрат и предоставляет более широкие возможности для обмена сообщениями;
- минимизирует затраты при изменении структуры системы (сети) связи;
- создает возможность взаимодействия средств связи (вычислительной техники), предоставляемых различными поставщиками;
- обеспечивает расширенный набор услуг, стандартизированных МСЭ, и др.

Вопросы для самоконтроля

1. Дать определения эталонной модели открытых систем (ЭМВОС), уровня, интерфейса, стандарта, протокола.
2. Для чего предназначена ЭМВОС? Существуют ли кроме ЭМВОС модели такого предназначения?
3. Сколько уровней в ЭМВОС? Дайте их характеристику.
4. Какие межуровневые протоколы, применяются при описании телекоммуникационных сетей? Дайте их краткую характеристику.
5. Цель упаковки и сегментации при передаче неречевых сообщений. Что будет если сегментацию не производить?
6. Перечислить основные стандарты, описываемые ЭМВОС.
7. Дать характеристику стандартам X.25, FR, X.400.
8. Могут ли взаимодействовать сети, описанные ЭМВОС и TSP/IP?
9. С помощью ЭМВОС описать процесс передачи сообщения «Сенс спутниковой связи завершен» из открытой системы А в открытую систему В.
10. Что представляет собой виртуальный канал?

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Боккер П.** Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы. – М.: Радио и связь, 1991.
2. ГОСТ 24402–88. Телеобработка данных и вычислительные сети. Термины и определения.
3. **Лагутенко О.И.** Модемы: справочник пользователя. – СПб.: Лань, 1997. – С. 1–23.
4. Основные положения развития взаимоувязанной сети связи на перспективу до 2005 года: руководящий документ. – Книга 1: Концептуально-целевые основы развития и общие организационно-технические положения. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996.
5. Словарь иностранных слов. – 15-е изд., испр. – М.: Рус. яз., 1988. – 608 с.
6. **Якубайтис Э.А.** Информационные сети и системы: справочная книга. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 386 с.

Глава 4

ЕДИНАЯ СЕТЬ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В настоящее время Связь Российской Федерации стала непосредственной производительной силой, способствующей подъему и росту экономики страны. Сети связи являются основой (транспортной средой) информационных систем, которые охватывают не только производственные, но и экономические, социально-политические сферы жизнедеятельности государства. Это говорит о возрастании роли и значимости Связи Российской Федерации как части инфраструктуры страны.

Исторически сложилось так, что связь как отрасль развивалась исходя из условий укрепления оборонного потенциала страны. В первую очередь связью обеспечивались органы государственного управления, армия, органы охраны правопорядка, предприятия военно-промышленного комплекса. Для остальных отраслей народного хозяйства и населения страны связь развивалась по принципу остаточного финансирования. Не всегда учитывались при этом международные соглашения и стандарты, в том числе рекомендации Международного союза электросвязи (МСЭ).

Реформирование отрасли связи началось в начале 90-х годов, когда стало ясно, что развитие связи в стране должно опережать развитие рынка и бизнеса. В противном случае связь будет тормозить как реформы, так и развитие рыночной экономики.

Появились частные предприятия связи, системы лицензирования и сертификации, сотовые сети. Россия уверенно идет по пути мирового технического прогресса: в кратчайшие сроки были освоены современные технологии и предоставлен широкий выбор современных услуг связи населению, а также хозяйствующим субъектам страны. Трудно представить, но до 1991 г. на 150 млн. населения было всего 2 200 международных каналов электросвязи, поэтому позвонить в другую страну было практически невозможно.

В кратчайшие сроки был реализован проект «Трансроссийская линия связи», что позволило увеличить количество международных каналов в 30 раз. Были построены волоконно-оптические линии в направле-

ниях на Данию, Турцию, Японию, Южную Корею, Китай, а это означало возможность доступа к крупнейшим мировым узлам связи. Данный проект послужил импульсом к внедрению систем передачи с общим каналом синхронизации (ОКС-7), синхронной иерархии и цифровизации междугородных сетей связи.

В спутниковой связи и вещании также начались перемены. Появился частный сектор с наземными и космическими сегментами, спутники «Горизонт» начали заменяться на аппараты «Экспресс», стало функционировать непосредственное спутниковое телевидение (НТВ-Плюс). Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Минсвязи России) открыло диапазон FM-вещания, который успешно используется средствами массовой информации.

В результате структурных и технических изменений в отрасли связи по такому важному параметру, как телефонная плотность, страна вышла на десятое место в мире. Телефонная плотность как показатель развития связи представляет собой отношение количества введенных в работу основных телефонных аппаратов (ОТА) к числу жителей, населяющих страну (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Страны мира с наибольшей плотностью телефонных сетей

Страна	Место в 2004 г	Емкость сети 2004 г., млн.	Емкость сети 2003 г., млн.	Телефонная плотность	Плотность населения, чел./кв. км	Место в 1999 г
США	2	359	340	120,9	134	1
Китай	1	647	532	49,3	134	2
Япония	3	152		119,5	338	3
Германия	4	126	119	152,2	231	4
Франция	9	78	76	129,7	110	5
Англия	6	95	85	158,5	241	6
Россия	10	73	68	50,2	9	7
Италия	8	89	83	152,9	187	8
Турция	13	54	46	74,4	86	14
Корея	11	63	56	131,4	484	11
Испания	12	56		131	81	15
Мексика	14	57	41	53,9	52	16

Следует отметить, что Международный валютный фонд относит телефонную плотность (ТП) к ключевым экономическим показателям страны.

Связь РФ превратилась из дотационной в высокодоходную отрасль экономики государства. Если в начале 90-х гг. отрасль связи получала до-

тации от государства в размере 70 % от бюджета отрасли, то в конце 90-х этот показатель составил только 2 %, а вклад в бюджет страны – 1,5 %.

Впервые Связь России получила иностранные инвестиции. По расчетам В. Шульцевой, среднегодовые темпы прироста инвестиций в российские телекоммуникации в 1996–2000 гг. составили 22 %, в 2001–2005 гг. – 17,6 %, а рост валовой добавленной стоимости – 7,8 % и 19,3 % соответственно. Высокие темпы роста инвестиций в пятилетке 1996–2000 гг. обеспечили высокие темпы доходов.

Приведенные далее графики (рис. 4.1), показывают долю платежей в бюджеты всех уровней и инвестиции в доходах отрасли (в процентах). Как видно, период 2002–2005 гг. характеризуется снижением инвестиций и, как следствие, уменьшением доходов.



Рис. 4.1. Доля платежей в бюджет и инвестиции в доходах

Основные причины снижения инвестиций в отрасль связи: нестабильность отношений и непредсказуемость российских телекоммуникаций, снижение эффективности работы компаний связи.

Структура доходов отрасли связи по подотраслям в 2005 г. приведена на рис. 4.2.

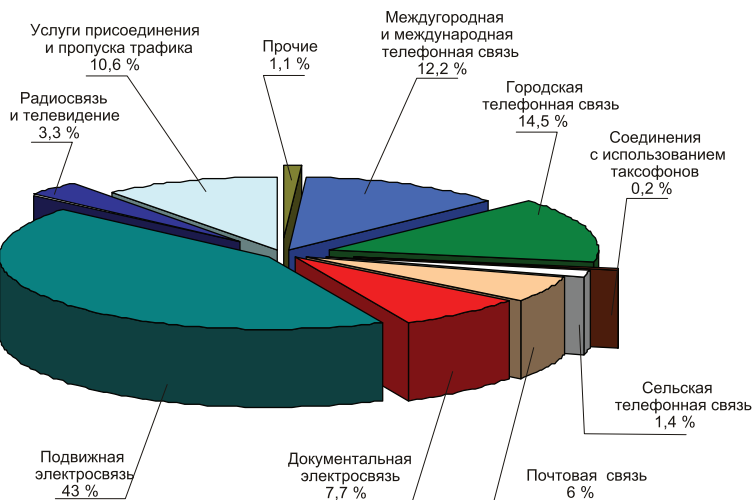


Рис. 4.2. Структура доходов отрасли связи в 2005 г.

Сравнивая доходы различных сегментов рынка, можно отметить, что при использовании услуг телевидения и радиовещания практически всем населением страны этот сегмент дает всего 4 % доходов. Здесь учитываются только непосредственные услуги по передаче сигнала, но не плата за видеоконтент.

В настоящее время наблюдается увеличение доходов от документальной электросвязи, что связано прежде всего с увеличением объемов использования сети Интернет.

Высокими темпами растут доходы операторов, предоставляющих услуги подвижной электросвязи (рис. 4.3.).

Основные выводы из приведенных статистических данных:

1. Российская Федерация входит в состав 12 стран, имеющих наибольшую емкость телефонных сетей.

2. Телефонная плотность в Российской Федерации в 2004 г. была ниже средней телефонной плотности в группе стран, к которым относится Российская Федерация. Темпы роста телефонной плотности высокие.

3. При сохранении существующих темпов роста телефонная плотность в России в ближайшие годы достигнет средней телефонной плотности группы стран, к которым относится Российская Федерация.

В последние годы в Российской Федерации широкое развитие получила отрасль информационных технологий, что нашло отражение и в экономических показателях телекоммуникаций. Доля сектора информационных технологий России в ВВП страны по оценкам Минсвязи России составляет 1,4 %.

Реформирование отрасли связи не может быть осуществлено без соответствующей нормативно-правовой базы. С этой целью в 1992 г. Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федера-

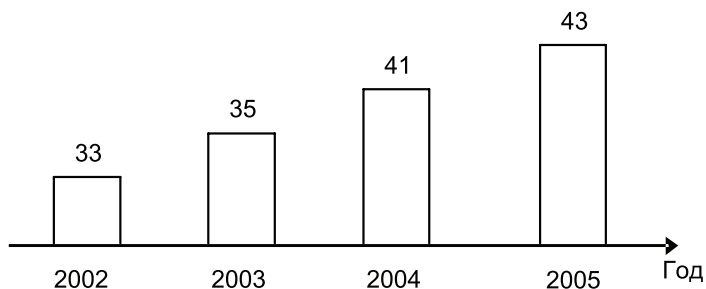


Рис. 4.3. Изменение доли доходов от услуг сухопутной подвижной связи (в процентах)

ции приступило к разработке концепции развития связи. 20 января 1995 г. был принят Федеральный закон «О связи». В результате четырехгодичной работы ведущих НИИ связи была создана и в 1996 г. опубликована концепция развития связи РФ – сконцентрированное изложение взглядов и положений о поэтапном развитии связи на период 1995–2015 гг.

Основное внимание в ней уделялось периоду до 2005 г. Руководящим документом этого времени являются «Основные положения развития ВСС РФ на перспективу до 2005 г.». Этот нормативно-технический документ, определил единую стратегию научно-технического, производственно-технологического и экономического развития Федеральной электросвязи в условиях меняющегося политического и экономического положения РФ. В соответствии с тенденциями перемен уже в 2003 г. Президентом РФ был подписан новый закон «О связи», вступивший в силу с 1.01.2004 г. и состоящий из 13 глав, включающих 74 статьи. В 2004 г. статья 67 утратила силу, но в 2006 г. закон был дополнен статьей 51. Главные цели Закона – создание условий для оказания услуг связи на всей территории страны, защита интересов пользователей и осуществляющих деятельность в области связи хозяйствующих субъектов, а также обеспечение интересов государства. Федеральным органом исполнительной власти в области связи является Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, действующее на основании Положения № 311, утвержденного Правительством России 26 июня 2004 г.

Минсвязи России определяет порядок взаимодействия сетей, устанавливает требования по их построению (за исключением сетей связи специального назначения, выделенных и технологических сетей, если они не присоединены к сети связи общего пользования), нумерации, маршрутизации и т. д. На основании указанных документов в России происходит объединение (интеграция) различных сетей связи для передачи сообщений, отличающихся друг от друга структурно и функционально, в единое телекоммуникационное пространство, построенное с максимальным использованием общих систем распределения и передачи информации. При этом вырабатываются планы по организации централизованного управления данным телекоммуникационным пространством с учетом его возможного развития. Эта тенденция наблюдается во всем мире [2].

Таким образом, интеграция сетей связи – это объективный процесс, обусловивший дальнейшее развитие связи РФ в целом и создание Единой сети электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ России).



4.1. Назначение, составные элементы Единой сети электросвязи Российской Федерации и требования, предъявляемые к ней

4.1.1. Назначение, составные элементы Единой сети электросвязи Российской Федерации и принципы ее построения

Связь Российской Федерации представляет собой отрасль, объединяющую совокупность сетей, служб и оборудования связи, расположенных и функционирующих на территории Российской Федерации [8]. Она предназначена для удовлетворения потребностей населения, органов государственной связи и управления, обороны, безопасности, охраны правопорядка, а также хозяйствующих субъектов в услугах электрической и почтовой связи. Совместно со средствами вычислительной техники Связь Российской Федерации составляет технологическую основу информатизации общества и объединяет в себе федеральную связь, внутрипроизводственную связь и технологическую связь [8]. Основу Связи Российской Федерации как отрасли составляет федеральная связь, включающая в себя федеральную электросвязь, федеральную почтовую связь и государственную фельдъегерскую связь.

Федеральная почтовая связь охватывает деятельность операторов связи по перевозке и доставке письменных отправлений, материальных ценностей, а также по переводу денежных средств.

Государственная фельдъегерская связь – это часть отрасли, в ведении которой организуется деятельность операторов связи по приему, обработке и доставке документов, всех видов секретных и почтовых отправлений в интересах предприятий, учреждений организаций и других органов, приписанных к обменным пунктам (узлам, станциям) фельдъегерской связи.

Федеральная электросвязь – основная часть отрасли, в ведении которой находится деятельность операторов связи по передаче или приему знаков, сигналов, письменного текста, изображений и звуков по проводной, радио-, оптической и другим электромагнитным системам [8]. Материально-техническую основу федеральной связи составляют:

- Единая сеть электросвязи Российской Федерации;
- сеть почтовой связи Российской Федерации;
- сеть государственной фельдъегерской связи (рис. 4.4).

Внутрипроизводственную и технологическую связь не относят к федеральной связи. Их технологической основой являются сети электросвязи федеральных органов исполнительной власти, а также пред-

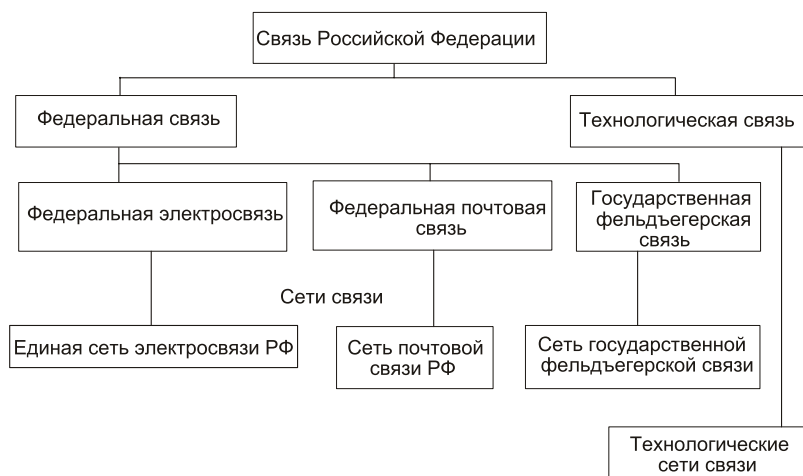


Рис. 4.4. Связь Российской Федерации

приятий, учреждений и организаций, которые создаются и функционируют с целью управления внутрипроизводственной деятельностью и технологическими процессами, не имеют выхода в сеть электросвязи общего пользования и не присоединяются к единой сети электросвязи.

Основу федеральной электросвязи составляет функционирующая Единая сеть электросвязи Российской Федерации.

Единая сеть электросвязи Российской Федерации представляет собой совокупность технологически сопряженных сетей электросвязи общего пользования; выделенных; технологических сетей связи, присоединенных к сети связи общего пользования; сетей связи специального назначения и других сетей электросвязи для передачи информации при помощи электромагнитных систем (рис. 4.5). Она предназначена для удовлетворения потребностей предприятий, организаций, учреждений и населения страны в электросвязи.

Сеть связи общего пользования (ОП) представляет собой комплекс взаимодействующих сетей электросвязи, в том числе сети связи для распространения программ телевизионного и радиовещания, и имеет присоединение к сетям связи общего пользования иностранных государств.

Она предназначена для **возмездного** оказания услуг электросвязи любому пользователю на территории Российской Федерации и включает в себя сети электросвязи, определяемые географически в пределах обслуживаемой территории и ресурса нумерации и не определяемые географически в пределах территории Российской Федерации и ресур-

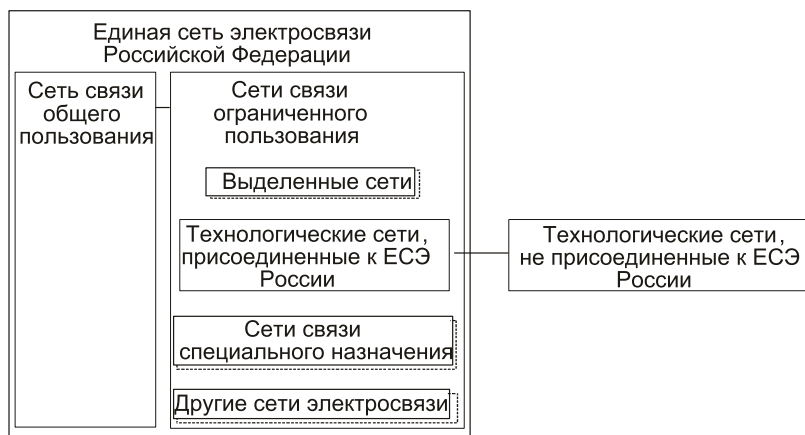


Рис. 4.5. Единая сеть электросвязи Российской Федерации

са нумерации, а также сети связи, определяемые по технологии реализации оказания услуг связи (см. рис. 4.2). Это составная часть ЕСЭ России, открытая для пользования всем физическим и юридическим лицам, в услугах которой этим лицам не может быть отказано. Комплекс сетей является частью общего сетевого пространства, образуемого национальными сетями стран, которые входят в Региональное Содружество по связи (РСС), охватывает всю территорию РФ и обслуживает основной контингент населения, органы управления народным хозяйством, обороной, а также других потребителей без каких-либо ограничений. По своей значимости с точки зрения обеспечения интегральных потребностей страны сеть связи общего пользования соответствует статусу национальной сети. Каждой стране для организации взаимосвязи ее коммутируемой сети ОП с международными сетями мирового сообщества Международный союз по электросвязи присваивает международный код и определяет стыковые параметры.

Наряду с сетями ОП существуют так называемые частные сети (*Private Nets*), или сети ограниченного пользования (с ограничениями на предоставление услуг абонентам). К ним относятся *выделенные сети связи*, которые представляют собой сети электросвязи, предназначенные для возмездного оказания услуг электросвязи ограниченному кругу пользователей или группам таких пользователей. Выделенные сети связи могут взаимодействовать между собой. Они не имеют присоединения к сети связи общего пользования, а также к сетям связи общего пользования иностранных государств. Выделенная сеть связи может быть присоединена к сети связи общего пользования только при

изменении ее правового режима. Технологии и средства связи, применяемые для организации выделенных сетей связи, а также принципы их построения устанавливаются собственниками или иными владельцами этих сетей.

Технологические сети связи предназначены для обеспечения производственной деятельности организаций, управления технологическими процессами в производстве. Технологии и средства связи, применяемые для создания технологических сетей связи, а также принципы их построения определяются владельцами этих сетей. При наличии свободных ресурсов технологической сети связи часть этой сети может быть присоединена к сети связи общего пользования с переводом в категорию сети связи общего пользования для возмездного оказания услуг связи любому пользователю на основании соответствующей лицензии. Такое присоединение допускается в следующих случаях:

- 1) часть технологической сети связи, предназначенная для присоединения к сети связи общего пользования, может быть программно, технически или физически отделена владельцем от технологической сети связи;

- 2) присоединяемая к сети связи общего пользования часть технологической сети связи соответствует требованиям функционирования сети связи общего пользования.

Части технологической сети связи, присоединенной к сети связи общего пользования, выделяется ресурс нумерации из ресурса нумерации сети связи ОП в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти в области связи.

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

В дополнение к закону «О связи» Постановлением Правительства РФ от 28 марта 2005 г. № 161 определены правила присоединения и взаимодействия сетей электросвязи с сетью связи общего пользования с заключением соответствующих договоров между операторами. Эти правила расширяют толкование статьи 13 закона, устанавливая, что сети, определяемые географически, и сети электросвязи, не определяемые географически, образуют телефонную сеть связи. Этим правилам соответствует структура сети связи общего пользования (рис. 4.6).

Сети связи специального назначения предназначены для нужд государственного управления, обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка. Эти сети не могут использоваться для возмездного оказания услуг связи, если иное не предусмотрено законодательством Российской Федерации. Доступ к таким

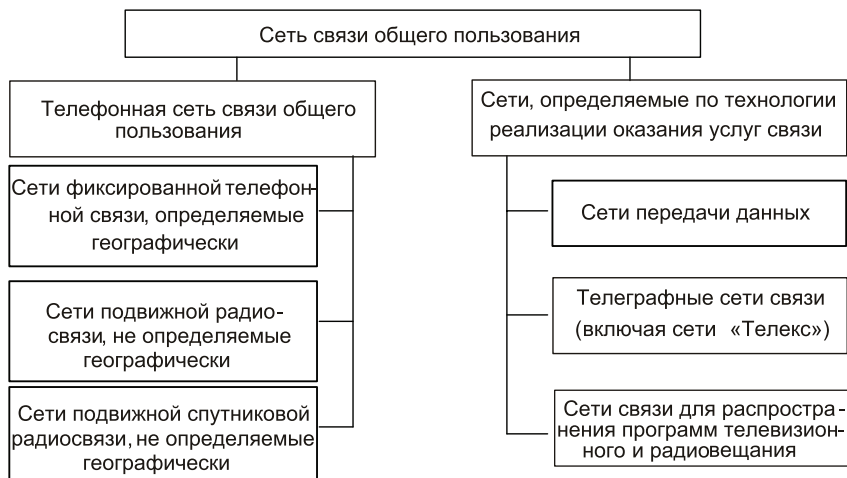


Рис. 4.6. Структура сети связи общего пользования в соответствии с Постановлением Правительства России от 28 марта 2005 г. № 161

сетям возможен только для определенного контингента абонентов. Связь для нужд государственного управления (президентская, правительственная), обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка осуществляется в порядке, определенном законодательством Российской Федерации. Расходы на финансирование обеспечения связи для нужд государственного управления, обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка предусматриваются федеральным законом о федеральном бюджете на соответствующий год в составе соответствующих расходов. Подготовка и использование ресурсов Единой сети электросвязи Российской Федерации для обеспечения функционирования сетей связи специального назначения осуществляются в порядке, установленном Правительством Российской Федерации. Такой порядок предусмотрен Постановлением Правительства РФ от 22 февраля 2006 г. № 103, утвердившим Правила подготовки и использования ресурсов единой сети электросвязи Российской Федерации в целях обеспечения функционирования сетей связи специального назначения. Подготовка и использование ресурсов сети электросвязи осуществляются на основании государственного контракта на выполнение работ и (или) оказание услуг связи в целях обеспечения функционирования сетей связи специального назначения, заключаемого федеральным органом исполнительной власти, в ведении которого находятся такие

сети связи, с оператором связи. Центры управления сетями связи специального назначения обеспечивают их взаимодействие с другими сетями Единой сети электросвязи Российской Федерации в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти в области связи.

В разделе 2.3.2 проведена детальная классификация сетей, входящих в состав ЕСЭ России. В дополнение к ней можно отметить, что помимо общепринятого деления сетей ЕСЭ России на первичную и вторичные возможен и другой подход, при котором сети электросвязи подразделяются на транспортную сеть и сеть доступа.

Транспортная сеть состоит из междугородных и внутризональных сетей связи. Она предназначена для образования и передачи высокоскоростных (широкополосных) потоков сообщений.

Сеть доступа состоит из абонентских линий с подключенными к ним оконечными устройствами и местных станций коммутации, соединенных линиями привязки к узлам транспортной сети.

В основу построения ЕСЭ России, если ее рассматривать с системных позиций, положены следующие общие принципы построения любой системы.

1. Первый принцип – *соответствие*. Теоретически и практически система связи является подсистемой системы управления даже в современных условиях развития отрасли, о которых говорилось ранее. Как система она подчиняется принципу ее соответствия вышестоящей системе, причем соответствие определяется по задачам, составу, построению и возможностям вышестоящей системы. Формы установления и поддержания данного соответствия могут быть различными (административно-командными, экономическими и др.).

2. Второй принцип, оказывающий существенное влияние на развитие ЕСЭ России как системы, – *единство*. Этот принцип является первопричиной создания концепции ЕСЭ России и обеспечивает соответствие стыков и протоколов используемой аппаратуры принятым стандартам. Без его выполнения нельзя говорить о взаимодействии и взаимосвязи различных сетей связи.

3. Третий принцип – *резервируемость*. Этот принцип определяет возможность системы решать задачи по обеспечению устойчивого функционирования в различных условиях. В ЕСЭ России предусмотрена мобилизационная работа, направленная на создание сосредоточенного и распределенного резерва сил и средств связи. К распределенному резерву относятся зарезервированные элементы сети электросвязи в развернутом и включенном состоянии. Сосредоточенный резерв – средства, находящиеся на складах, базах хранения, а также часть по-

левых сил и средств, перед которыми стоят задачи резервирования ЕСЭ России.

В руководящем документе [8] эти принципы конкретизированы с учетом особенностей построения ЕСЭ России (рис. 4.7.):

- организационно-технического единства;
- поэтапного развития сетей связи;
- территориально-зонового построения сетей связи;
- автоматизации всех процессов организации, установления, обеспечения и управления связью;
- комплексного применения средств и сетей различных видов связи;
- сопряжения сетей связи, входящих в ЕСЭ России.

Организационно-техническое единство – это принцип построения ЕСЭ России, определяющий порядок управления, взаимодействия и использования протоколов сопряжения сетей, входящих в нее. Организационно-техническое единство определяется:

- строительством ЕСЭ России по плану, учитывающему интересы всех потребителей и обеспечивающему комплексное развитие сетей связи общего пользования, ведомственных сетей и наиболее экономичное решение задачи очередного этапа развития ЕСЭ России;



Рис. 4.7. Принципы построения ЕСЭ России

- единой технической политикой, обеспечивающей построение ЕСЭ России в направлении пропорционального развития средств связи с учетом перехода в будущем к цифровой системе с интеграцией обслуживания;
- применением единого комплекса максимально унифицированных технических средств, отвечающих общим техническим требованиям;
- единой номенклатурой типовых каналов и сетевых трактов с нормализованными стыками в соответствии с нормами ЕСЭ России;
- построением единой для первичной и вторичных сетей связи системы управления;
- едиными подходами к оперативно-техническому обслуживанию первичной сети ЕСЭ России.

Поэтапное развитие сетей связи характеризуется интеграцией услуг на основе применения новых технологий. В соответствии с программой развития сетей связи страны предусматриваются три этапа:

I. Создание новой системы административного и технологического управления всем комплексом существующих и вновь создаваемых, приватизированных предприятий и сетей связи, а также совершенствование сетей путем обеспечения цифровой передачи и коммутации сигналов. В настоящее время существуют три метода внедрения цифровых систем передачи (ЦСП) в ЕСЭ России:

- 1) замещения, предусматривающий постепенную замену элементов аналоговых систем передачи (АСП) на ЦСП (при выработке ресурса или моральном устаревании, когда характеристики каналов не соответствуют современным требованиям);
- 2) наложения, предусматривающие использование незадействованных пар для ЦСП в действующих линейных трактах;
- 3) образования цифровых островов, или построения цифровых зон с последующим их наращиванием.

II. Дальнейшая интеграция сетей связи и образование сети с интеграцией служб (СИС), которая должна базироваться на принципах цифровой сети с интеграцией обслуживания (ЦСИО), описываемой стандартами МСЭ.

III. Создание широкополосных сетей с интеграцией обслуживания (ЦСИО-Ш), позволяющих предоставлять расширенный перечень телекоммуникационных услуг пользователям.

Работы в области создания цифровой сети связи общего пользования (ЦСС ОП) начали вестись в рамках так называемого проекта «50 на 50». В России предполагалось развернуть наложенную национальную сеть емкостью около 20 млн абонентов на основе самых современных

технологий. Она должна работать параллельно с существующей сетью, взаимодействуя с ней и дополняя ее. К настоящему времени создана цифровая междугородная телефонная сеть связи России на основе примерно 50 тыс. км цифровых линий дальней связи, 50 АМТС, что и образует формулу «50 на 50», и 7 международных телефонных станций.

Территориально-зоновое построение сетей связи – принцип, определяющий состав, размещение и соотношение элементов сетей связи. Он характеризуется зависимостью структуры первичной сети от степени развития субъекта РФ в отношении связи. Например, первичная сеть ЕСЭ России подразделяется на три уровня: магистральную сеть, внутризоновые (в России – 76 зон), местные (местные городские сети охватывают более 1 000 городов, сельские сети – свыше 2 100 сельских районов).

В целях выполнения принципа автоматизации в ЕСЭ России интенсивно ведутся работы по формированию аппаратного и программного обеспечения для системы управления телекоммуникационных сетей. Для автоматического обслуживания циркулирующих потоков сообщений в сетях связи разрабатываются и внедряются средства автоматизации. Данный принцип предполагает:

- использование автоматических систем коммутации каналов, пакетов и сообщений во вторичных сетях ЕСЭ России;
- внедрение как полностью необслуживаемых, так и частично обслуживаемых элементов связи;
- автоматизацию системы управления первичной и вторичными сетями и их технического обслуживания;
- автоматизацию процессов ввода и приема сообщений.

Одним из условий достижения высокого качества обслуживания абонентов является комплексное применение средств и сетей различных видов связи. Принцип автоматизации предполагает также использование на одном информационном направлении разнородных линий связи (радиорелейных, оптоволоконных, спутниковых и т. д.), пространственно разнесенных друг от друга; тесное взаимодействие всех сетей, входящих в ЕСЭ России; организацию комбинированных линий и каналов связи.

Сопряжение сетей связи, входящих в ЕСЭ России, заключается в проведении ряда организационно-технических мероприятий на этапах проектирования, строительства и эксплуатации линий и узлов связи ЕСЭ России. Оно осуществляется с целью повышения экономического эффекта, обеспечения взаимозаменяемости линий и каналов и получения достаточного количества обходных направлений связи.

4.1.2. Системные требования, предъявляемые к ЕСЭ России

Под системными требованиями понимают условия, положения, предписания, отражающие закономерности, порядок, соотношение характеристик свойств объектов, обязательных для выполнения исследуемой системой [10].

Прежде чем говорить о системных требованиях, необходимо отметить, что ЕСЭ России может рассматриваться как система, так как ей присущи следующие особенности: она управляема, иерархична, включает в себя взаимосвязанные друг с другом элементы, имеет возможность развития и определенную цель.

Задачами поэтапного развития ЕСЭ России на рассматриваемый период (до 2015 г.) следует считать:

1. Создание технической базы информатизации общества.
2. Обеспечение органов управления народным хозяйством, обороны страны, предприятий, различных организаций и населения средствами и услугами связи на соответствующем развитии страны уровне.

Решение этих задач возможно путем создания высокоорганизованной интеллектуальной автоматизированной системы (сети), обеспечивающей передачу (обработку, хранение) разнообразных видов сообщений между различными оконечными устройствами пользователей и предоставление абонентам комплекса определенных услуг с требуемым качеством и надежностью. Именно такой системой в конце намеченного периода должна стать Единая сеть электросвязи Российской Федерации. В соответствии с этим можно определить и общие направления ее развития:

I. Совершенствование первичной и вторичных сетей, а также служб электросвязи должно рассматриваться как единая задача, целью которой является пропорциональное развитие элементов единой сети электросвязи Российской Федерации.

II. Капитальные вложения на развитие всех сетей с учетом максимального использования уже имеющихся средств, в том числе и сооружений связи, должны быть минимальными.

III. Все предлагаемые решения не должны противоречить мировым тенденциям развития сетей связи, а именно переходу к сетям с интеграцией служб, созданию интеллектуальной сети, сетей подвижной связи и универсальной персональной связи, введению услуг мультимедиа.

Системные требования, предъявляемые к ЕСЭ России, вытекают из принципов построения и особенностей этапов эволюционного развития образующих ее сетей связи. Развитие сетей ЕСЭ России, как и других систем и сетей, характеризуется тремя этапами:

- построение или синтез;
- целевое функционирование;
- деградация или разрушение.

Исходя из этого, системные требования, предъявляемые к сетям связи, образующим ЕСЭ России, можно сгруппировать в соответствии с принципами построения и учетом динамики ее развития (табл. 4.2).

При рассмотрении требований, предъявляемых к сетям связи, входящим в состав ЕСЭ России, нетрудно заметить, что все они могут быть разделены на три группы в соответствии с рассмотренными принципами. Например, к первичным сетям предъявляются следующие требования [8].

1. Требования, характеризующие выполнение принципа соответствия ЕСЭ России системе управления:

1. Сеть связи ОП должна подразделяться по территориальному признаку на магистральные (междугородные – для вторичных сетей), внутризоновые и местные сети. В дальнейшем число территориальных уровней может быть уменьшено, например за счет объединения магистральной и внутризоновых сетей. Сети связи специального назначения могут иметь иное территориальное деление.

2. Сети связи должны иметь свои системы управления, взаимодействующие между собой при функционировании. Системы управления сетями должны быть частью интегрированной системы управления ЕСЭ России.

3. В сетях связи должны выполняться требования по обеспечению функций службы оперативно-розыскных мероприятий (СОРМ) в порядке, определяемом законодательством РФ, и в объеме, соответствующем действующим нормативно-техническим документам.

4. Сети связи, входящие в ЕСЭ России, в процессе их функционирования должны взаимодействовать друг с другом, обеспечивая повышение эффективности, устойчивости и безопасности функционирования ЕСЭ России в целом.

Устойчивость – это способность сети сохранять работоспособность при влиянии на нее воздействующих дестабилизирующих факторов. В сети связи ОП устойчивость определяется живучестью и надежностью. Для сетей связи специального назначения, применяемых для нужд обороны страны, безопасности государства, обеспечения правопорядка, устойчивость кроме вышеперечисленных свойств определяется помехоустойчивостью.

Под живучестью понимают способность сети устойчиво функционировать при воздействии на нее дестабилизирующих факторов, существующих вне сети и приводящих к разрушениям или значительным повреждениям ее элементов.

Таблица 4.2

Системные требования, предъявляемые к ЕСЭ России

Принципы построения	Системные требования, предъявляемые к сетям ЕСЭ России с учетом динамики их развития			
	Построение	Функционирование	Разрушение	Деградация
Соответствие	Сеть связи ОП должна подразделяться по территориальному признаку. Сети должны иметь свои системы управления, взаимодействующие между собой	Число территориальных систем управления сетями должно быть снижено. Системы управления сетями должны стать частью интегрированной системы управления ЕСЭ России. На сетях должны выполняться требования оперативно-розсыльной службы. Сети должны взаимодействовать друг с другом	Система восстановления связи на основных направлениях связи в течение 24 ч с момента разрушения сети связи. Система резервирования ЕСЭ России должна обеспечить связь на основных информационных направлениях в течение 0,5–24 ч	
Единство	На сетях связи должна работать только аппаратура связи общего применения, имеющая сертификаты соответствия. Должна обеспечиваться взаимосвязь с сетями Администраций, входящих в Региональное сотрудничество в области связи и с сетями других стран. При соединении сетей должно осуществляться в соответствии с руководящими документами	На сетях связи должна быть организована техническая эксплуатация в соответствии с действующими правилами. Взаимодействие двух сетей между собой должно быть организационно-техническим, экономическим и правовым		Должны быть организованы единое управление и взаимодействие на основе положений
Резервируемость	Сеть должна иметь систему резервирования. При проектировании линий должно выделяться необходимое число восстановительных цепей	Сеть должна иметь систему восстановления	На объектах связи должен быть создан 15 %-й запас техники, должны быть предусмотрены подразделения постоянной готовности	Резервирование должно осуществляться путем предоставления необходимых путей

Надежность – это способность сети функционировать, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих установленным режимам и условиям использования, технического обслуживания, восстановления и ремонта. Надежность первичной сети ОП характеризуется надежностью передачи сообщений между любой заданной парой сетевых узлов или станций, т. е. совокупностью каналов передачи, сетевых трактов, узлов и станций первичной сети. Каналы и тракты систем передачи первичной сети характеризуются состояниями готовности и неготовности.

Готовность – это состояние, при котором сохраняется способность к передаче сообщений между потребителями.

Состояние неготовности, в свою очередь, подразделяется на состояния сбоя и отказа. Под сбоем или отказом понимают нарушение готовности объекта, при котором происходит перерыв в передаче сообщений длительностью более заданной.

Показатели надежности:

$K_{гс}$ – коэффициент готовности по сбоям,

$K_{го}$ – коэффициент готовности по отказам,

$T_{ос}$ – среднее время между сбоями,

$T_{оо}$ – среднее время между отказами,

$T_{вс}$ – среднее время восстановления по сбоям,

$T_{во}$ – среднее время восстановления по отказам.

Коэффициент готовности K_r имеет вероятностный смысл и показывает, насколько объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусмотрено.

Данный коэффициент вычисляется по формуле

$$K_r = \frac{\bar{T}_o}{\bar{T}_o + \bar{T}_в}, \quad (4.1)$$

где $\bar{T}_o$ – среднее время между отказами; $\bar{T}_в$ – среднее время на восстановление.

В отличие от коэффициента исправного действия данный параметр позволяет оценить только живучесть и надежность элементов и сетей. В сетях связи специального назначения чаще применяют коэффициент исправного действия, который характеризует устойчивость функционирования объекта без учета времени, затрачиваемого на восстановление:

$$K_{и} = \frac{\sum T_{и}}{T_{\phi}}, \quad (4.2)$$

где $\sum T_{\text{и}}$ – суммарное время исправного функционирования; $T_{\text{ф}}$ – общее время функционирования объекта или системы.

Работоспособность – это состояние объекта (системы), при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям.

Среднее время восстановления по сбоям или отказам представляет собой математическое ожидание случайной длительности времени восстановления объекта по сбоям и отказам.

В качестве критерия сбоя в канале тональной частоты (ТЧ) независимо от типа системы передачи, в которой он образован, считается перерыв в передаче сообщений длительностью более 0,3 с [8].

В качестве критерия отказа канала ТЧ используется перерыв в передаче сообщений продолжительностью более 10 с, причем под перерывом понимается снижение уровня сигнала на 18 дБ и более. Для радиорелейных, тропосферных и спутниковых трактов перерыв связи фиксируется, кроме того, при повышении шумов связи свыше 106 пкВт · 0 (при времени интеграции 5 мс) [8].

Критерием отказа основного цифрового канала (ОЦК) (64 кбит/с) является повышение коэффициента ошибок до 10^{-3} и более в секунду в течение десяти последовательных секунд, учитываемых во времени неготовности.

За критерий восстановления ОЦК принимается снижение коэффициента ошибок до величины менее 10^{-3} в секунду в течение десяти последовательных секунд, учитываемых во времени готовности.

В канале ТЧ или ОЦК протяженностью 13 900 км независимо от используемых типов систем передачи (СП) на существующей первичной сети должны обеспечиваться следующие показатели надежности:

– по отказам:

$$K_{\text{го}} \geq 0,91; \bar{T}_{\text{о}} \geq 11 \text{ ч}; \bar{T}_{\text{во}} \geq 1,1 \text{ ч}; \quad (4.3)$$

– по сбоям (для канала ТЧ в АСП):

$$K_{\text{гс}} \geq 0,91; \bar{T}_{\text{ос}} \geq 4,4 \text{ ч}; \bar{T}_{\text{вс}} \geq 0,4 \text{ ч}. \quad (4.4)$$

В канале ОЦК той же протяженности на перспективной цифровой сети ожидаются следующие показатели надежности по отказам:

$$K_{\text{го}} \geq 0,98; \bar{T}_{\text{о}} \geq 255 \text{ ч}; \bar{T}_{\text{во}} \geq 5,2 \text{ ч}. \quad (4.5)$$

Эти нормы относятся к стандартному каналу передачи эталонной длины. В концепции создания и развития ВСС России существуют также

нормы по надежности линий передачи, сетевых трактов и каналов передачи магистральной, внутризональной и местной первичных сетей [8].

II. Требования, предъявляемые к первичной сети и определяющие возможность ее сопряжения, что соответствует второму принципу построения ЕСЭ России:

1. В сетях связи должна быть организована техническая эксплуатация в соответствии с действующими правилами, нормативными документами Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации; кроме того, должны соблюдаться номенклатура каналов передачи и сетевых трактов, нормы на каналы передачи и сетевые тракты, в том числе на нормализованные стыки.

2. В сетях связи должна работать только аппаратура связи общего применения, имеющая сертификаты соответствия, выданные Государственным комитетом по связи России.

3. В ЕСЭ России должна обеспечиваться взаимосвязь с сетями администраций связи, входящими в Региональное содружество в области связи (РСС), и с сетями других стран мирового сообщества.

4. Присоединение сетей ограниченного пользования к сетям общего пользования должно осуществляться в соответствии с Положением о порядке присоединения сетей электросвязи к сетям общего пользования и порядке регулирования пропуска телефонного трафика по сетям электросвязи общего пользования Российской Федерации.

5. Взаимодействие двух сетей между собой должно быть технологическим, экономическим и правовым.

III. Третий принцип построения ЕСЭ России – резервируемость – представлен требованиями, предъявляемыми к первичной сети:

1. Сеть должна иметь систему восстановления, обеспечивающую работу сети как в нормальных условиях, так и в чрезвычайных ситуациях.

2. Сеть должна иметь систему резервирования.

Необходимо отметить, что для решения задач, касающихся распределенного резерва, в ЕСЭ России создана система резервирования (совокупность автоматизированных устройств контроля и переключения, резервируемых и резервных трактов и каналов, взаимодействующих с системой управления первичной сетью). Резервирование осуществляется путем предоставления обходных путей или за счет возможностей по перестройке магистральной первичной сети, включая использование по согласованию трактов и каналов передачи первичных сетей других владельцев (ведомств, юридических и физических лиц).

При создании системы резервирования в качестве показателей надежности соединений используются коэффициент готовности K_r и

время предоставления резерва, которое при автоматическом способе резервирования составляет 10–30 с.

Для обеспечения надежности соединений предусматриваются два плана резервирования: автономное (трактами, каналами первого резерва, заранее подготовленными между двумя узлами) и сетевое (трактами, каналами второго резерва, составляемыми в процессе резервирования по транзитным участкам).

Для создания сосредоточенного резерва в ЕСЭ России существует система восстановления первичной сети ОП, которая предназначена для оперативного создания работоспособных в экстремальных условиях эквивалентов, временно заменяющих неработоспособные стационарные средства связи, и последующего восстановления этих разрушенных средств связи. Она позволяет восстанавливать сетевые узлы в течение трех суток, линию передачи – в течение 15 ч, включая время транспортировки технических средств. Выбор пункта хранения сосредоточенного резерва должен осуществляться с учетом требований к допустимым срокам доставки (не более 10 ч) к месту возможного применения.

Вышеперечисленные требования в руководящем документе [8] отражаются не системно. Однако все они соответствуют основным принципам, присущим развитию любой системы, являясь системными требованиями, предъявляемыми к ЕСЭ России, так как их выполнения достаточно для целевого функционирования ее как системы в целом.



4.2. Архитектура единой сети электросвязи Российской Федерации

4.2.1. Архитектура ЕСЭ России и характеристика ее элементов

Для наиболее полного описания построения ЕСЭ России воспользуемся понятием «архитектура», так как «структура» не в полной мере соответствует решению данной задачи. Необходимо отметить, что понятия «структура» и «архитектура» близки, однако существует важное различие, требующее детального рассмотрения.

С точки зрения системного анализа структура отражает наиболее существенные взаимоотношения между элементами и их группами (компонентами, подсистемами), которые мало изменяются в системе и обеспечивают существование самой системы и ее основных свойств, т. е. это совокупность составляющих систему элементов и связей между ними.

Архитектура системы связи – это концепция построения подсистем и сетей связи, обеспечивающая возможность объединения в сеть произвольного числа разнородных элементов [11]. Такая возможность обеспечивается представлением каждого элемента в иерархической системе с определенным набором заданных процедур, протоколов и интерфейсов взаимодействия.

Таким образом, в отличие от структуры архитектура предполагает описание развития системы связи на базе строгой иерархии, что позволяет гибко реагировать на все изменения и дополнения в системе связи.

Единая сеть электросвязи РФ является иерархической системой, которая может быть представлена в виде пространственной конструкции, отражающей ее архитектуру.

Архитектура ЕСЭ России имеет несколько уровней: первичную и вторичные сети, систему электросвязи; службы электросвязи (рис. 4.8).

Основой ЕСЭ России (первым уровнем архитектуры) является первичная сеть, которая представляет собой совокупность сетевых узлов, сетевых станций и линий передачи, образующих сеть типовых каналов

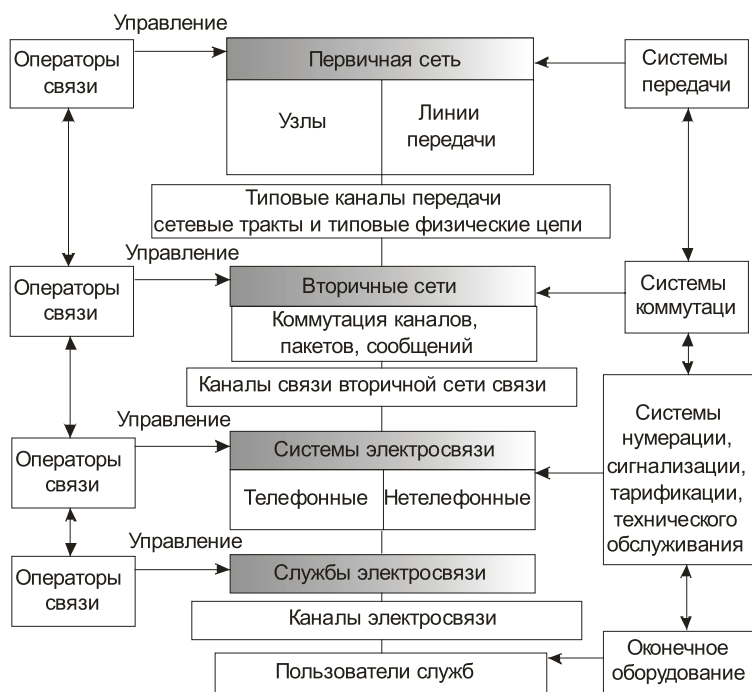


Рис. 4.8. Архитектура ЕСЭ России

передачи и типовых групповых трактов, соединяющихся аппаратурой многоканальных систем передачи.

Первичная сеть охватывает территорию всей страны и имеет трех-ступенчатую структуру, объединяя магистральную, внутризоновые и местные первичные сети (рис. 4.9).

Магистральная первичная сеть располагается на территории всей страны и соединяет между собой типовые каналы и групповые тракты разных внутризоновых первичных сетей в единую сеть. Она образуется радиорелейными и кабельными линиями передачи протяженностью 12 500 км, а при связи между континентами – 25 000 км.

Внутризональная первичная сеть располагается в пределах одной зоны, территория которой, как правило, совпадает с административными границами области, края или республики. Каждая внутризональная первичная сеть обеспечивает соединение между собой типовых каналов и трактов местных сетей этой зоны. Она базируется на радиорелейных и кабельных линиях передачи, максимальная протяженность которых составляет 600 км.

Местная первичная сеть создается на территории города или сельского района при развертывании воздушных и кабельных линий передачи протяженностью до 100 км.

Совокупность внутризональной и местных первичных сетей на территории, совпадающей с зоной нумерации, образует зонную первичную сеть.

Основными элементами любой первичной сети являются сетевые узлы, сетевые станции, линии передачи, системы управления, резервирования, электропитания, тактовой синхронизации (для цифровых сетей), а также восстановления элементов сети.

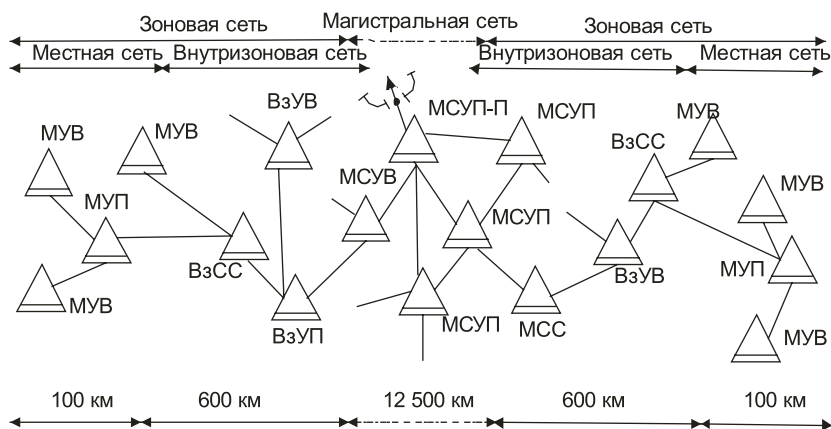


Рис. 4.9. Структура первичной сети ЕСЭ России

Сетевые узлы и станции наряду с выполнением общих функций по организации типовых групповых трактов и каналов и по их предоставлению соответствующим вторичным сетям имеют некоторые отличительные особенности.

Сетевой узел представляет собой комплекс технических средств, обеспечивающий образование, перераспределение и техническую эксплуатацию сетевых трактов, типовых каналов передачи и типовых физических цепей первичной сети, а также предоставление их вторичным сетям и другим потребителям. Эти узлы обычно размещаются на пересечении нескольких линий передачи. В зависимости от типа первичной сети, которой принадлежит сетевой узел, ему присваивается название «магистральный», «внутризоновый» или «местный». Кроме того, внутри каждого класса сетевых узлов существует их разделение по назначению. В магистральной первичной сети чаще встречаются сетевые узлы трех типов:

1. Сетевой узел (СУ) на пересечении магистральных линий, обеспечивающий соответствующие переключения трактов и каналов (может выполнять функции оконечной станции первичной магистральной сети (ОМС) по предоставлению каналов передачи во вторичные сети).

2. Сетевой узел выделения групп каналов передачи (СУВ), представляющий собой обслуживаемый усилительный пункт на магистральной линии, на котором установлена аппаратура выделения групповых трактов.

3. Сетевой узел переключения (СУП), представляющий собой обслуживаемый усилительный пункт на пересечении магистральных линий, на котором установлена аппаратура выделения и коммутации типовых каналов и трактов.

Сетевые узлы переключения и выделения также могут выполнять функции сетевых станций по отношению к низшей по уровню иерархии первичной сети. Например, магистральный сетевой узел переключения (МСУП) в показанном на рис. 4.10 фрагменте выполняет функции внутризоновой сетевой станции первичной сети.

Во внутризоновых сетях совместно с СУ, СУП и СУВ создаются межрайонные сетевые узлы (МРСУ), которые функционируют на разветвлении внутриобластных линий между районными узлами электросвязи (РУЭС) и обеспечивают переключение трактов, каналов на сетевые станции местных (ССМ) райцентров. Наиболее крупные СУ называют территориальными сетевыми узлами (ТСУ), так как они располагаются на пересечении нескольких достаточно мощных кабельных и радиорелейных магистралей и имеют свою зону ответственности в пределах установленной территории. В ТСУ все линии передачи,

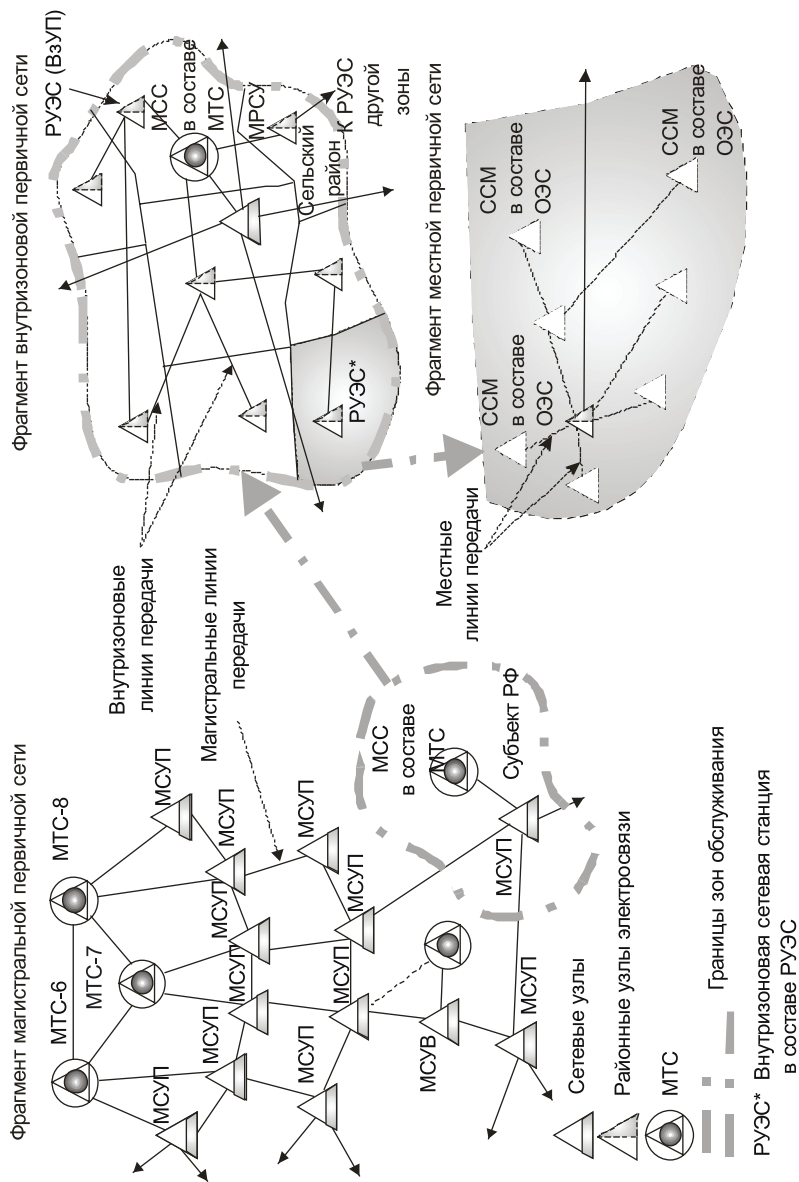


Рис. 4.10. Фрагмент первичных сетей ЕСЗ России

как правило, заканчиваются оконечной аппаратурой системы передачи (СП).

СУП, в отличие от ТСУ, располагается на пересечении линий передачи меньшей мощности. В СУП отдельные линии передачи могут заканчиваться оконечной аппаратурой СП, а для других линий могут быть организованы обслуживаемые усилительные пункты. Через СУВ обычно проходит одна линия передачи и организуется выделение сетевых трактов или каналов с целью предоставления их вторичным сетям и потребителям.

Сетевая станция представляет собой комплекс технических средств, обеспечивающих образование и предоставление вторичным сетям типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, а также их транзит. Сетевые станции, в отличие от сетевых узлов, являются оконечными точками соответствующих частей первичных сетей (магистральных, внутризоновых и местных). Их основное предназначение – предоставление каналов передачи и групповых трактов потребителям (вторичным сетям). Они могут размещаться либо совместно с сетевыми узлами, либо на удалении от них. Следует заметить, что соединительные линии между оконечными магистральными станциями (ОМС) первичной сети и оконечными станциями вторичных сетей связи в состав линий первичной сети не входят.

На базе каналов передачи и групповых трактов первичной сети организуются вторичные сети, каждая из которых представляет собой совокупность коммутационных станций, узлов коммутации, оконечных абонентских устройств и каналов вторичной сети (см. рис. 3.5). В зависимости от вида электросвязи вторичные сети носят названия телефонной, телеграфной, сети передачи данных, звукового и телевизионного вещания и т. д.

Во вторичных сетях может осуществляться коммутация каналов, пакетов и сообщений. Эти способы коммутации реализуются различными системами коммутации. Например, в телефонных системах электросвязи применяются автоматические телефонные станции старого парка: релейные – АТС ВРС-20, релейно-блочные – АТС 10/40, декадно-шаговые – АТС 50/100 и АТС 100/500, координатные – К-40/80, АТС 50/200 (как правило, в сельских сетях), часто встречающиеся АТС К-100/2000; а также станции нового парка – электронные АТС «Квант», «Фобос» и др.

Каналам связи вторичной сети присваивается название в зависимости от принадлежности к виду связи, например телефонный канал связи, телеграфный канал связи, канал передачи данных и т. д. Кроме того, в зависимости от территориального деления вторичной сети различают междугородные, зоновые и местные каналы связи. В между-

городских телефонных сетях используются узлы автоматической коммутации первого и второго классов (УАК-1 и УАК-2) и автоматические междугородные телефонные станции (АМТС). В зонах телефонных сетей применяются транзитные узлы (ТУ), центральные станции (ЦС), узловые станции (УС), оконечные станции (ОС), городские и сельские узлы и станции и др. (рис. 4.11).

УАК – узел автоматической коммутации междугородной телефонной сети, предназначенный для обеспечения автоматических соединений.

АМТС – автоматическая междугородная телефонная станция, предназначенная для установления внутризоновых и междугородных соединений.

ГТС – телефонная станция, обеспечивающая телефонную связь абонентам города.

СТС – сельская телефонная станция, обеспечивающая телефонную связь абонентам села.

АТС – телефонная станция, обеспечивающая автоматическое установление телефонных соединений и разъединений.

УИВС – телефонный узел ГТС, предназначенный для объединения и распределения входящих и исходящих потоков.

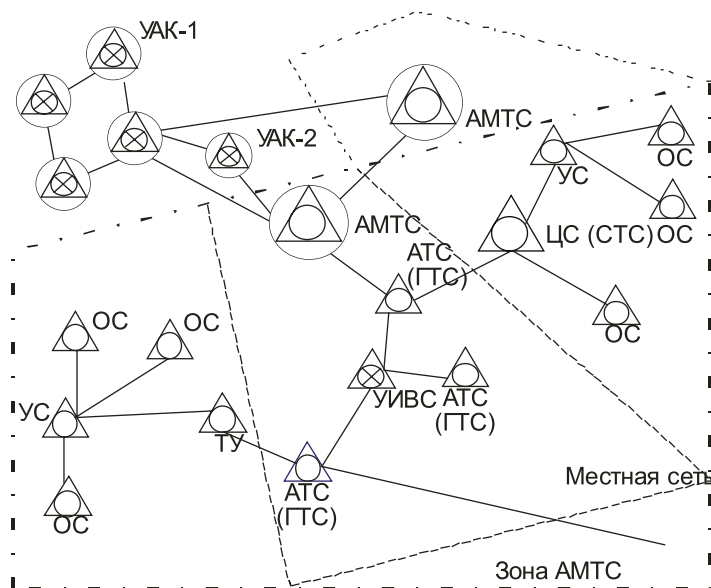


Рис. 4.11. Фрагмент вторичной сети ЕСЭ России

УС – узловая телефонная станция сельской сети, обеспечивающая абонентов сельского населенного пункта телефонной связью между собой и с абонентами оконечных телефонных станций, включенных в эту станцию, их транзитные соединения, а также выход этих абонентов на центральную станцию данного административного района.

ЦС – центральная станция сельской телефонной сети, обеспечивающая телефонной связью абонентов данного райцентра между собой и с абонентами различных сельских телефонных станций района, транзитные соединения абонентов оконечных и узловых станций, а также выход абонентов района на внутризоновую и междугородную телефонные сети.

ОС – оконечная станция сельской телефонной сети, обеспечивающая телефонной связью абонентов сельского населенного пункта, а также их выход на ЦС или УС.

ТУ – транзитный узел, обеспечивающий установление транзитных соединений между телефонными станциями.

Узлы и станции вторичных сетей размещаются, как правило, совместно (в одном населенном пункте или здании) с соответствующими узлами и станциями первичных сетей, которые предоставляют необходимое число сетевых трактов и каналов передачи. Таким образом образуются различные предприятия связи: территориальные автоматизированные узлы управления и коммутации (ТАУК), эксплуатационно-технические узлы связи (ЭТУС), междугородные телефонные станции (МТС), районные узлы электросвязи и др.

На базе вторичных сетей организуются общегосударственные системы электросвязи, включающие соответствующую вторичную сеть, подсистемы нумерации, сигнализации, тарификации, технического обслуживания и управления и являющиеся третьим уровнем ЕСЭ России, например системы электросвязи общего пользования: телефонной связи, телеграфной связи, передачи данных, распределения программ телевизионного вещания, распределения программ звукового вещания, передачи газет, факсимильной связи и др.

Система электросвязи может включать в себя одну или несколько служб электросвязи.

Служба электросвязи представляет собой организационно-техническую структуру на базе сети связи (или совокупности сетей связи), обеспечивающую обслуживание связью пользователей с целью удовлетворения их потребностей в определенном наборе услуг электросвязи.

Различают два вида служб электросвязи: службы передачи и теле-службы (службы предоставления связи).

Служба передачи – это служба электросвязи, обеспечивающая только возможность передачи сигналов по сети связи между стыками сети с абонентскими оконечными устройствами (например служба передачи данных). Такие службы регламентируются МСЭ тремя нижними уровнями ЭМВОС. Оконечные устройства в службу передачи не входят.

Телеслужба – служба электросвязи, которая организуется с целью непосредственного обмена сообщениями между оконечными устройствами пользователей через сети электросвязи (1–7-й уровни ЭМВОС). Телеслужба организуется на базе систем передачи и оконечных устройств. Примерами являются службы телефонной связи, телекса, бюрофакса и др.

Службы электросвязи классифицируются по следующим признакам: виду передаваемых сообщений, наличию оконечных устройств пользователей, степени доступности для пользователей, характеру обмена сообщениями, методу обслуживания пользователей, используемой среде передачи (рис. 4.12).

Вид электросвязи является классификационным признаком, определяющим характер услуг, предоставляемых пользователю, например,



Рис. 4.12. Классификация служб электросвязи

телефонная связь – передача речевых сообщений между парами пользователей; факсимильная связь – передача неподвижных сообщений; видеоконференцсвязь – передача речевых, документальных сообщений, неподвижных и подвижных изображений между двумя и большим числом пользователей и т. д.

По характеру обмена сообщениями службы подразделяются на двусторонние (диалоговые или недиалоговые) и односторонние.

Двусторонние диалоговые службы ориентированы на взаимодействие потребителей и представлены службами телефонной связи, абонентского телеграфа, телекса, передачи данных, видеотекса и др.

Двусторонние недиалоговые – это службы, не требующие взаимодействия потребителей; они представлены службами передачи телеграмм, бюрофакса, обработки сообщений и др.

Односторонние службы обеспечивают одностороннюю передачу и представлены службами распределения программ звукового вещания (ЗВ) и телевидения (ТВ), передачи газет, персонального радиовызова.

По методу обслуживания пользователей службы электросвязи классифицируются на абонентские и клиентские.

Абонентские службы предоставляют услуги пользователям в помещениях абонентов с помощью оконечных устройств, находящихся в распоряжении пользователей.

Клиентские службы предоставляют услуги пользователям с помощью оконечных устройств, устанавливаемых в пунктах коллективного пользования (приема телеграмм, телефонных переговорных, расположения таксофонов, службы бюрофакса и т. д.).

Следует заметить, что родственные (по виду передаваемых сообщений) абонентские и клиентские службы должны быть взаимосвязаны. Например, телеграмма, поданная в отделении связи (от клиента), должна быть доставлена на учрежденческий телексный аппарат (абонентский).

По используемой среде распространения сигналов электросвязи службы электросвязи можно подразделить на работающие по проводным каналам и радиоканалам. Так, выделяют службы проводного ЗВ и кабельного ТВ, отделяя их от соответствующих служб эфирного вещания, не входящих в состав ЕСЭ России.

Для обеспечения обслуживания пользователей службы электросвязи могут задействовать каналы связи, организуемые во вторичной сети (сетях), и на их основе предоставлять каналы электросвязи пользователям.

Таким образом, формирование канала электросвязи ЕСЭ России осуществляется на базе каналов передачи, организуемых в первичной сети, коммутируемых с помощью станций и узлов коммутации вторичной сети, на которых выполняются операции, обеспечивающие вызов

и соединение, а также обслуживание пользователей согласно перечню востребованных услуг.

При планировании и построении современных цифровых сетей связи (ЦСС), как правило, различают три уровня: первичную сеть, вторичные сети и уровень систем или служб электросвязи. Основой ЦСС является универсальная первичная сеть (ЦПС) или *транспортная сеть*, объединяющая сетевые узлы, сетевые станции коммутации, оконечные устройства первичной сети и соединяющие их линии передачи. На основе ЦПС формируют и создают различные цифровые вторичные сети (ЦВС), которые предназначены для доведения цифровых каналов до абонентов (пользователей). ЦВС создаются на основе типовых универсальных каналов передачи ЦПС или специализированных каналов (или систем со специализированными пользовательскими интерфейсами) для первичных цифровых каналов или потоков полезной нагрузки. В состав ЦВС могут входить также цифровые технологические сети (ЦТС), при этом образуются цифровые вторичные технологические сети.

Системы, специализированные по видам электросвязи, представляют собой комплекс средств, обеспечивающих предоставление пользователям определенных услуг. Они образуют уровень систем или служб электросвязи, включающих соответствующие вторичные сети и подсистемы нумерации, сигнализации, тарификации и т. д.

Современное развитие телекоммуникационных сетей характеризуется усилением процессов интеграции первичной и вторичных сетей, и превращением ЦПС и ЦВС в единую мультисервисную сеть на базе ЦПС. Таким образом, структура ЦПС трансформируется и возникает новая двухуровневая структура цифровой первичной сети – транспортная сеть и сеть доступа. Общая архитектура современной цифровой сети состоит из основной (центральной) части – транспортной сети и окаймляющей ее периферийной части – сети доступа.

Сеть доступа можно определить как сеть, по которой с помощью каналов и линий «последней мили» различные специализированные сигналы передаются от потребителей к портам транспортной сети и обратно. Сеть доступа ЕСЭ России включает городские, сельские и комбинированные сети.

Под каналом «последней мили» понимается канал передачи, средой распространения которого является «витая пара».

Первичные и вторичные сети реализуются на основе соответствующих сетевых технологий, представленных на рис. 4.13.

Для построения современных транспортных сетей наибольшее применение находят технологии ПЦИ/PDH, СЦИ/SDH и ATM. В послед-

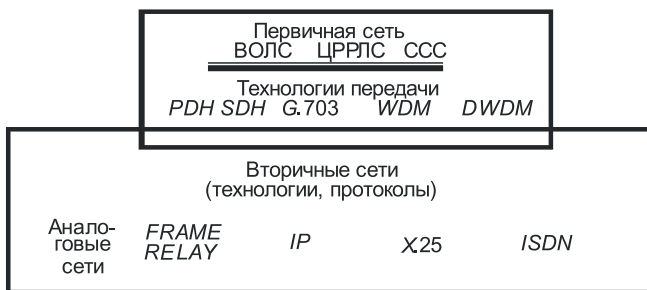


Рис. 4.13. Основные сетевые технологии

ние годы получили развитие такие технологии, как *DWDM*, *IP* поверх *ATM* и *IP* поверх *СЦИ/SDH*. Кроме того, появились технологии *WDM*, *DWDM*, *СЦИ/SDH* и *ОВ* в виде «темных волокон».

Основными сетевыми технологиями вторичных сетей связи являются *X.25*, *FR*, *IP*, *ISDN*.

4.2.2. Топология транспортной цифровой сети связи

В состав сети *СЦИ/SDH* входят терминальные мультиплексоры (ТМ), мультиплексоры ввода/вывода (МВВ) и цифровые системы кросс-коммутации.

Мультиплексор (*multiplexer – MUX*) – устройство, объединяющее несколько цифровых потоков или каналов в один выходной сигнал, групповой поток или многоканальное сообщение [7].

Мультиплексоры *SDH*, или синхронные мультиплексоры (*Synchronous Multiplexer – SMUX*), в отличие от обычных мультиплексоров, используемых, например, в сетях *PDH*, выполняют как функции собственно мультиплексора, так и функции устройств терминального доступа, позволяя подключать низкоскоростные каналы *PDH*-иерархии непосредственно к своим входным портам. В синхронном мультиплексоре каждому каналу соответствует строго определенный временной интервал в групповом сигнале. Никакому другому каналу данный временной интервал недоступен, даже если в данный момент времени информация по нему не передается.

Принято выделять два основных типа мультиплексора *SDH*: терминальный мультиплексор и мультиплексор ввода/вывода.

Терминальный мультиплексор (ТМ) является мультиплексором и оконечным устройством *SDH* сети с каналами доступа, соответствующим

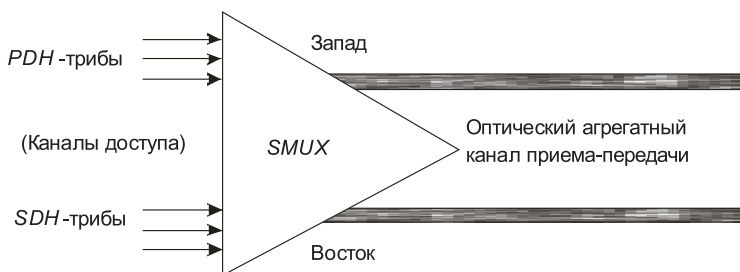


Рис. 4.14. Синхронный мультиплексор (SMUX):
терминальный мультиплексор или мультиплексор ввода-вывода

щими цифровым сигналам *PDH*- и *SDH*-иерархий. Каналы доступа иерархии *PDH* могут иметь скорости 1,5; 2; 6; 34; 45; 140 Мбит/с, а *SDH* – 155; 622 и 2 500 Мбит/с, соответствующие *STM*-1, 4, 16. Если *PDH*-цифровые потоки являются «электрическими», т. е. использующими электрический сигнал для передачи сообщений, то *SDH*-цифровые потоки могут быть как электрическими (*STM*-1), так и оптическими (*STM*-1, 4, 16).

Терминальный мультиплексор позволяет либо вводить каналы (полезную нагрузку), т. е. коммутировать их с входа пользовательского интерфейса на линейный выход (под которым понимается выход в линию связи), либо, наоборот, выводить эти каналы, т. е. также коммутировать их, но с линейного входа и на выход пользовательского интерфейса. Он позволяет также локально коммутировать сигналы нагрузки с одного пользовательского интерфейса на выход другого. Такая коммутация, как правило, ограничена сигналами полезной нагрузки уровня Е1 (2 Мбит/с). Важной особенностью мультиплексора *СЦИ/SDH* является наличие не менее двух оптических линейных интерфейсов приема-передачи (для каналов приема/передачи), называемых агрегатными портами. Эти порты называются основными и резервными (линейная топология) или восточными и западными (кольцевая топология) – по кольцу вправо и по кольцу влево соответственно.

Мультиплексор ввода-вывода (MBB/ADM) может иметь на входе тот же набор цифровых сигналов, что и терминальный мультиплексор (рис. 4.15). Он позволяет вводить/выводить соответствующие им каналы. Дополнительно к возможностям коммутации, обеспечиваемым ТМ, *ADM* позволяет осуществлять сквозную коммутацию выходных потоков в обоих направлениях (например, на уровне контейнеров *VC*-4 в потоках, поступающих с линейных или агрегатных выходов, т. е. оптических каналов приема/передачи), а также осуществлять замыкание канала

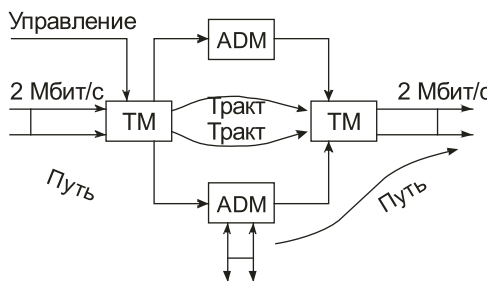


Рис. 4.15. Схема включения мультимплексора ввода-вывода в сети с топологией «кольцо»

приема на канал передачи на обеих сторонах (восточной и западной) в случае выхода из строя одного из направлений. Наконец, он позволяет (в случае аварийного выхода из строя мультимплексора) пропускать основной оптический поток мимо него в обходном режиме. Все это дает возможность использовать ADM в топологиях типа кольца.

Концентратор (*hub*) представляет собой мультимплексор, объединяющий несколько, как правило, однотипных (со стороны входных портов) потоков, поступающих от удаленных узлов сети (сетевых элементов) в один распределительный узел сети SDH, не обязательно так же удаленный, но связанный с основной транспортной сетью (рис. 4.16).

Этот узел может иметь не два, а три, четыре или больше линейных портов типа STM-N или STM-(N – 1) (рис. 4.16) и позволяет организовать ответвление от основного потока или кольца (рис. 4.16 а) или, наоборот, подключение двух внешних ветвей к основному потоку или кольцу (рис. 4.16 в) или, наконец, подключение нескольких узлов ячеистой сети к кольцу SDH. В общем случае он позволяет уменьшить общее число каналов, подключенных непосредственно к основной транспортной сети SDH. Мультимплексор распределительного узла в порте ответвления позволяет локально коммутировать подключенные к нему каналы, давая возможность удаленным узлам обмениваться через него между собой, не загружая трафик основной транспортной сети.

Регенератор представляет собой вырожденный случай мультимплексора, имеющего один входной канал – как правило, оптический цифровой сигнал STM-N и один или два (при использовании схемы защиты (1 + 1)) агрегатных выхода (рис. 4.17).

Он используется для увеличения допустимого расстояния между узлами сети SDH путем регенерации сигналов полезной нагрузки. Обычно это расстояние (учитывая практику использования одномодовых волоконно-оптических кабелей) составляет 15–40 км для длины

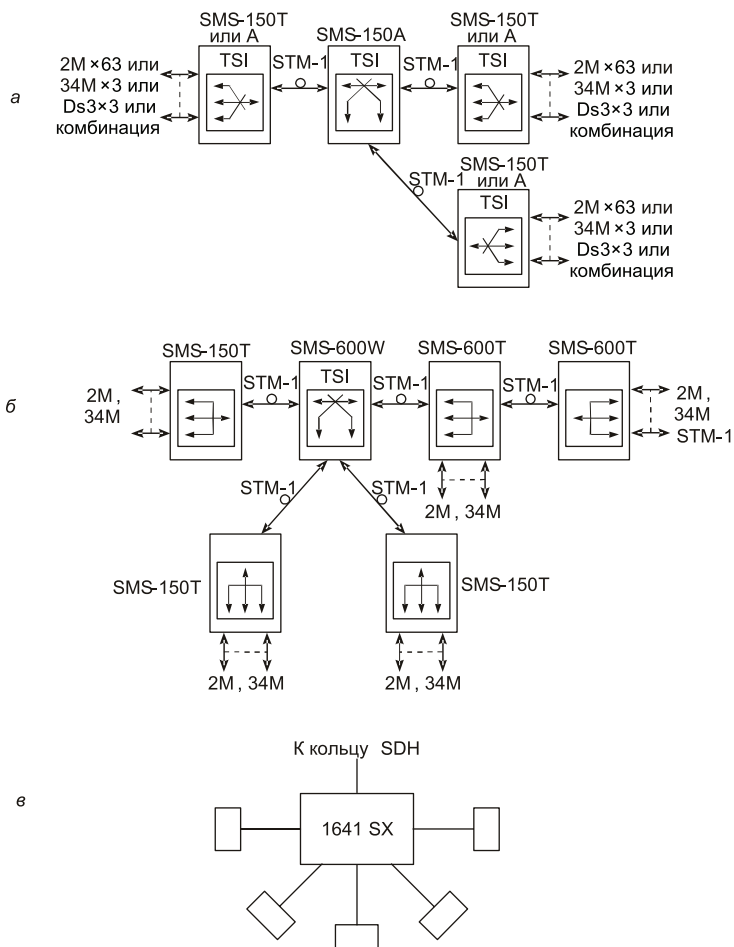


Рис. 4.16. Роль и место концентратора в сети связи

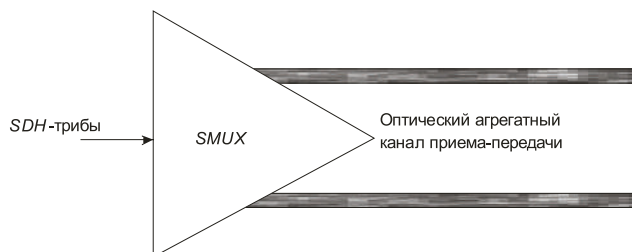


Рис. 4.17. Мультиплексор в режиме регенератора

волны порядка 1 300 им или 40–80 км – для 1 500 нм, хотя при использовании оптических усилителей оно может достигать 100–150 км.

Кросс-коммутатор. Подавляющее большинство современных мультиплексоров ввода/вывода строятся по модульному принципу. Среди этих модулей центральное место занимает кросс-коммутатор, или просто коммутатор, – *DXC*. В синхронной сети он позволяет установить связи между различными каналами, ассоциированными с определенными пользователями сети, путем организации полупостоянной (временной) перекрестной связи, или кросс-коммутации, между ними. Возможность такой связи позволяет осуществить маршрутизацию в сети *SDH* на уровне виртуальных контейнеров *VC-n*, управляемую сетевым менеджером (управляющей системой) в соответствии с заданной конфигурацией сети. Физически возможности внутренней коммутации каналов заложены в самом мультиплексоре *SDH*, что позволяет говорить о мультиплексоре как о **внутреннем или локальном коммутаторе**. Менеджер полезной нагрузки может динамически изменять логическое соответствие между нагрузочным модулем *TU* и каналом доступа (интерфейсом сигнала нагрузки), что равносильно внутренней коммутации каналов (рис. 4.18).

Кроме этого, мультиплексор, как правило, имеет возможность коммутировать собственные каналы доступа (рис. 4.19), что равносильно **локальной коммутации** каналов.

Все это говорит о возможности распределенного управления процессом коммутации в узлах сети *SDH*. Однако эти возможности в большинст-

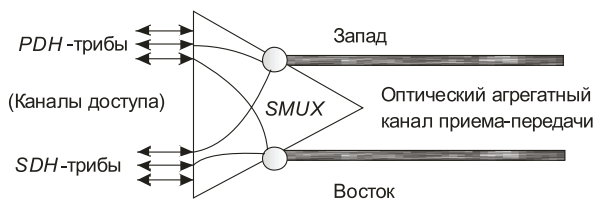


Рис. 4.18. Мультиплексор ввода-вывода в режиме внутреннего коммутатора

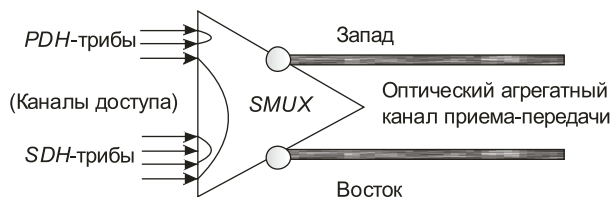


Рис. 4.19. Мультиплексор ввода-вывода в режиме локального коммутатора

ве своем ограничены как по числу коммутируемых каналов, так и по типу виртуальных контейнеров *VC*, доступных для коммутации. Поэтому в общем случае приходится использовать специально разработанные синхронные коммутаторы – *SDXC*, осуществляющие не только локальную, но и общую или проходную (сквозную) коммутацию высокоскоростных потоков (34 Мбит/с и выше) и синхронных транспортных модулей *STM-N* (рис. 4.20). Важной особенностью таких коммутаторов является отсутствие блокировки других каналов при коммутации, когда коммутация одних групп *TU* не накладывает ограничений на процесс обработки других групп *TU*. Такая коммутация называется неблокирующей.

Существует несколько типов коммутаторов *SDXC* в зависимости от того, какие виртуальные контейнеры они могут коммутировать. Их обозначение в общем случае имеет вид *SDXC n/m*, где *n* означает номер виртуального контейнера, который коммутатор может принять на вход, а *m* – номер максимально возможного уровня виртуального контейнера, который он способен коммутировать. Иногда вместо номера виртуального контейнера *m* указывают набор коммутируемых виртуальных контейнеров, например *m/p/q*. Так, например, для уровня *STM-1* могут быть указаны следующие типы коммутаторов:

- *SDXC 4/4* – коммутатор, позволяющий принимать и обрабатывать *VC-4*, или потоки 140 и 155 Мбит/с;
- *SDXC 4/3/2/1* – коммутатор, позволяющий принимать *VC-4*, или потоки 140 и 155 Мбит/с, и обрабатывать *VC-3*, *VC-2* и *VC-1*, или потоки 34 или 45,6 и 1,5 или 2 Мбит/с;
- *SDXC 4/3/1* – коммутатор, позволяющий принимать *VC-4*, или потоки 140 и 155 Мбит/с, и обрабатывать *VC-3* и *VC-1*, или потоки 34 или 45 и 1,5 или 2 Мбит/с;
- *SDXC 4/1* – коммутатор, позволяющий принимать *VC-4*, или потоки 140 и 155 Мбит/с, и обрабатывать *VC-1*, или потоки 1,5 или 2 Мбит/с.

Синтез структуры сети *СЦИ/SDH* осуществляется на основе элементарных структур (базовых стандартных топологий): *точка–точка*, *линейная цепь*, *кольцо однонаправленных коммутируемых кана-*

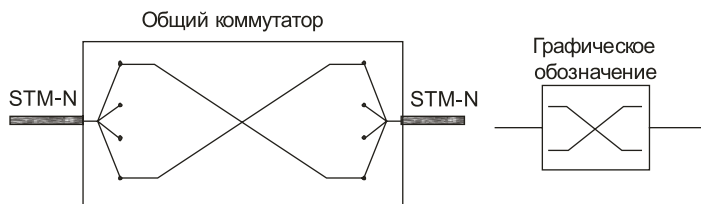


Рис. 4.20. Общий или проходной коммутатор высокоскоростных каналов

лов, двухволоконное кольцо, четырехволоконное двунаправленное кольцо.

Сегмент сети, связывающий два узла А и В, или **топология «точка–точка»**, является наиболее простым примером базовой топологии *SDH* сети (рис. 4.21). Она может быть реализована с помощью терминальных мультиплексоров ТМ, как по схеме без резервирования канала приема/передачи, так и по схеме со стопроцентным резервированием типа (1 + 1), использующей основной и резервный электрические или оптические агрегатные выходы (каналы приема/передачи). При выходе из строя основного канала сеть в считанные десятки миллисекунд автоматически переходит на резервный.

Несмотря на свою простоту, именно эта базовая топология наиболее широко используется при передаче больших потоков данных по высокоскоростным магистральным каналам, например по трансокеанским подводным кабелям, обслуживающим цифровой телефонный трафик. Эту же топологию используют для отладки сети при переходе к новой, более высокой скорости в иерархии *SDH*, например с 622 Мбит/с (*STM-4*) на 2,5 Гбит/с (*STM-16*) или с 2,5 (*STM-16*) на 10 Гбит/с (*STM-64*). Она же используется как составная часть радиально-кольцевой топологии (в качестве радиусов) и является основой для топологии «последовательная линейная цепь». С другой стороны, топологию «точка–точка» с резервированием можно рассматривать как вырожденный вариант топологии «кольцо».

Топология «последовательная линейная цепь» – базовая топология, используемая тогда, когда интенсивность трафика в сети не так велика и существует необходимость ответвлений в ряде точек на линии, где могут вводиться и выводиться каналы доступа. Она реализуется с использованием как терминальных мультиплексоров на обоих концах цепи, так и мультиплексоров ввода/вывода в точках ответвлений. Эта топология напоминает последовательную линейную цепь, где каждый мультиплексор ввода/вывода является отдельным ее звеном. Она может быть представлена либо в виде простой последовательной линейной цепи без резервирования (рис. 4.22), либо более сложной цепью

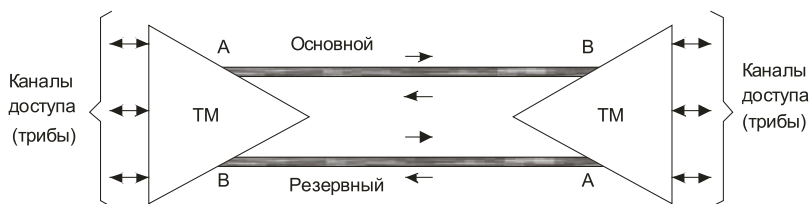


Рис. 4.21. Схема включения терминальных мультиплексоров по типу точка-точка

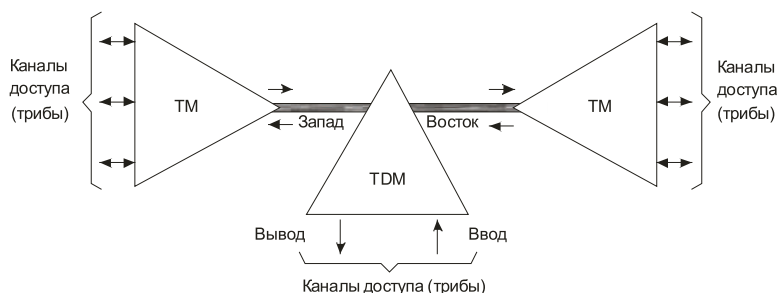


Рис. 4.22. Топология «последовательная линейная цепь», реализованная на *TM* и *TDM*

с резервированием типа $(1 + 1)$ (рис. 4.23). Последний вариант топологии часто называют уплотненным кольцом.

В этой топологии один из удаленных узлов сети, связанный с центром коммутации (например, цифровой АТС) или узлом сети *SDH* на центральном кольце, играет роль концентратора, где часть трафика может быть выведена на терминалы пользователей, тогда как оставшаяся его часть может быть распределена по другим удаленным узлам (рис. 4.24).

Ясно, что этот концентратор должен быть активным и интеллектуальным (в терминологии локальных сетей), т. е. быть мультиплексором ввода–вывода с развитыми возможностями кросс-коммутации (как описано выше).

Иногда такую схему называют оптическим концентратором, если на его входы подаются частично заполненные потоки уровня *STM-N* (или потоки уровня на ступень ниже), а его выход соответствует *STM-N*. Фактически эта топология напоминает **топологию «звезда»**, где в качестве центрального узла используется мультиплексор *SDH*.

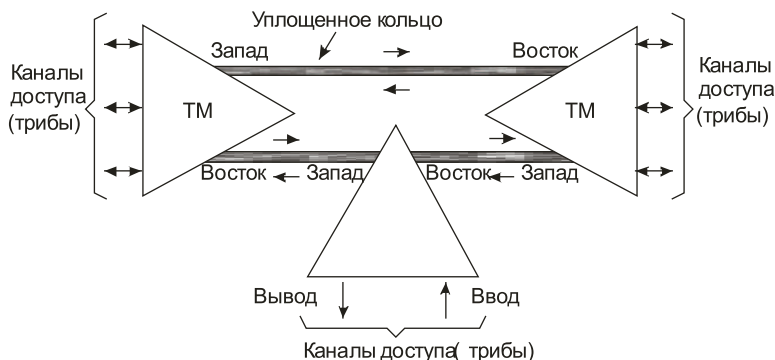


Рис. 4.23. Топология «последовательная линейная цепь» типа «уплотненное кольцо» с защитой $(1 + 1)$

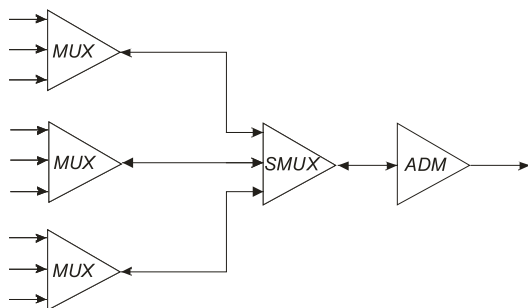


Рис. 4.24. Топология «звезда» с мультиплексором в качестве концентратора

Топология «кольцо». Эта топология широко используется для построения SDH сетей первых двух уровней SDH-иерархии (155 и 622 Мбит/с). Основное преимущество этой топологии – легкость организации защиты типа (1 + 1) благодаря наличию в синхронных мультиплексорах SMUX двух пар (основной и резервной) оптических агрегатных выходов (каналов приема/передачи): восток – запад, дающих возможность формирования двойного кольца со встречными потоками (показаны стрелками на рис. 4.25).

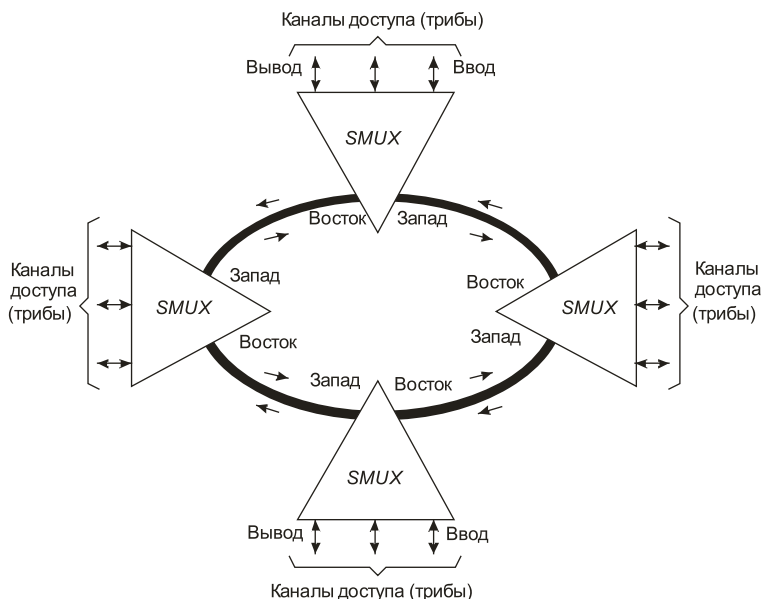


Рис. 4.25. Топология «кольцо» с защитой (1 + 1) на уровне трибных блоков TU-n

Кольцевая топология позволяет сети самовосстанавливаться, т. е. быть защищенной от некоторых достаточно характерных типов отказов.

Радиально-кольцевая топология SDH (рис. 4.26) построена на базе использования двух базовых топологий: «кольцо» и «последовательная линейная цепь». Вместо последней может быть использована более простая топология «точка–точка». Число радиальных ветвей ограничивается из соображений допустимой нагрузки (общего числа каналов доступа) на кольцо.

Топология типа «кольцо–кольцо». Кольца в этом соединении могут быть либо одинакового, либо разного уровней иерархии *SDH*. На рис. 4.27 показана схема соединения двух колец одного уровня – *STM-4* с помощью интерфейсных карт *STM-1*, а на рис. 4.28 – каскадная схема соединения трех колец различного (по нарастающей) уровня – *STM-1*, *STM-4*, *STM-16*. При таком соединении можно использовать необходимые оптические цифровые сигналы предыдущего иерархического уровня при переходе от кольца одного уровня к другому (например, цифровой поток *STM-1* при переходе на кольцо *STM-4* и цифровой поток *STM-4* при переходе на кольцо *STM-16*).

Для линейных сетей большой протяженности расстояние между терминальными мультиплексорами ТМ больше или много больше того расстояния, которое может быть рекомендовано с точки зрения макси-

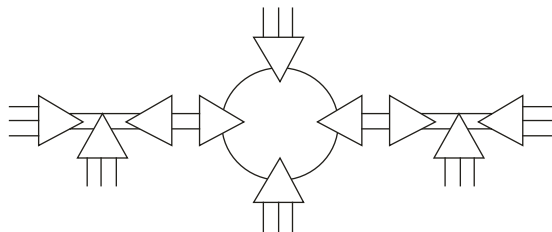


Рис. 4.26. Радиально-кольцевая сеть *SDH*

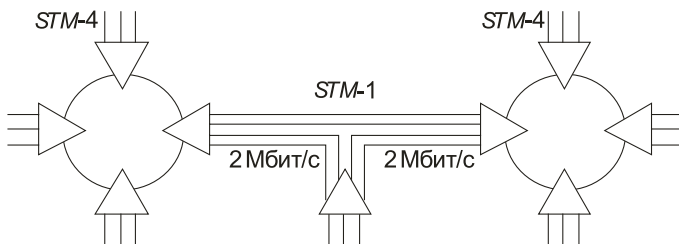


Рис. 4.27. Схема связи двух колец одного уровня (*STM-4*) с помощью интерфейсных карт

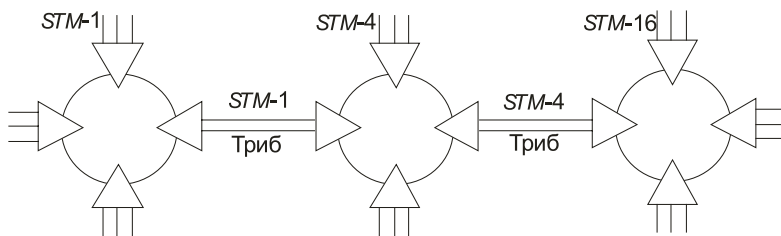


Рис. 4.28. Каскадное соединение колец разного уровня (STM-1 – STM-4 – STM-16) с помощью оптических цифровых сигналов

мально допустимого затухания волоконно-оптического кабеля. В этом случае на маршруте (в линейном тракте) между ТМ (рис. 4.29) должны быть установлены кроме общего проходного коммутатора еще и регенераторы для восстановления (регенерации) затухающего оптического сигнала. Эту линейную архитектуру можно представить в виде последовательного соединения ряда секций.

Принято различать три типа стандартизованных участков – секций: оптическая секция (участок от точки электронно-оптического до точки опто-электронного преобразований сигнала), которая по сути является участком волоконно-оптического кабеля между элементами сети *SDH* (на рис. 4.29 не показано), регенераторная секция и мультимплексная секция (рис. 4.29). Оптические секции нормируются согласно длине, при этом выделяют три категории: *I* – внутристанционная секция длиной до двух километров, *S* – короткая межстанционная секция порядка 15 км, *L* – длинная межстанционная секция, порядка 40 км (при длине волны 1 310 нм) и 80 км (при длине волны 1 550 нм). Указанные длины секций

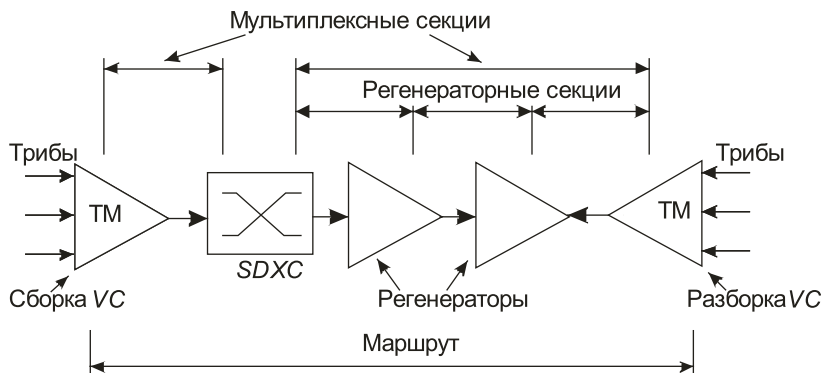


Рис. 4.29. Сеть SDH большой протяженности со связью типа «точка–точка» и ее сегментация

используются только для классификации и не могут рассматриваться как рекомендуемые значения используемых технических параметров. Общая длина маршрута может составлять при этом от сотен до тысяч километров. Маршрут рассматривается как участок тракта между терминальными мультиплексорами, допускающий автоматическое поддержание функционирования сети с номинальной производительностью. Мультиплексная секция рассматривается как участок тракта между транспортными узлами (мультиплексорами и коммутаторами), допускающий аналогичное автоматическое поддержание функционирования. Регенераторная секция рассматривается как участок тракта между двумя регенераторами или между регенератором и другим элементом сети *SDH*.

Архитектура разветвленной сети *SDH*. В процессе развития сети *SDH* разработчики могут использовать ряд решений, характерных для глобальных сетей, таких как формирование своего «остова» (*backbone*) или магистральной сети в виде ячеистой (*mash*) структуры, позволяющей организовать альтернативные (резервные) маршруты, используемые в случае возникновения проблем при маршрутизации виртуальных контейнеров по основному пути. Это, наряду с присущим сетям *SDH* внутренним резервированием, позволяет повысить надежность всей сети в целом. Причем при таком резервировании на альтернативных маршрутах могут быть использованы альтернативные среды распространения сигнала. Например, если на основном маршруте используется волоконно-оптический кабель (ВОК), то на резервном – радиорелейная линия (РРЛ), или наоборот. На рис. 4.30 представлена архитектура такой

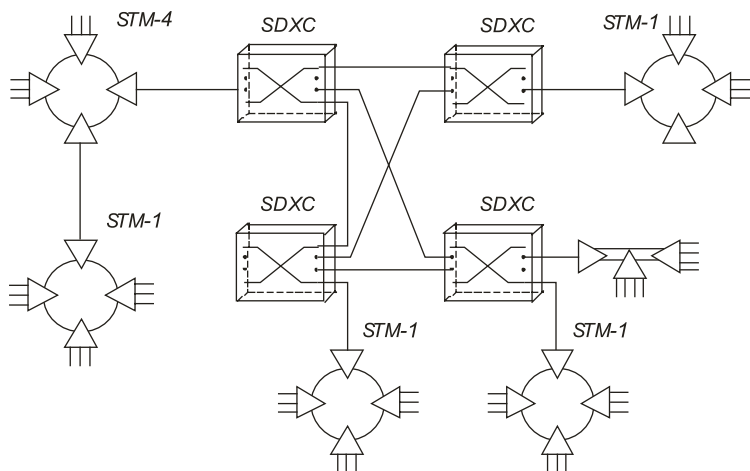


Рис. 4.30. Разветвленная сеть *SDH* с каскадно-кольцевой и ячеистой структурой

разветвленной (глобальной) сети, остов (или опорная-магистральная сеть) которой сформирован для простоты в виде одной сетевой ячейки, узлами которой являются коммутаторы типа *SDXC*, связанные по типу «каждый с каждым». К этому остову присоединены периферийные сети *SDH* различной топологии, которые могут быть образами либо корпоративных сетей (с выходом на *LAN*), либо общегородских сетей *SDH* или *MAN* (ОГС), либо сегментов других глобальных сетей *WAN* (ГСС). Эта структура может рассматриваться как некий образ глобальной сети *SDH*.

4.2.3. Сети спутниковой связи

Сеть спутниковой связи – самостоятельная функциональная структура, которая обеспечивает конкретную службу (службы), предоставляющую услуги конечным пользователям, является частью системы спутниковой связи и включает интерфейсы с другими взаимодействующими элементами глобальной системы связи, наземные средства передачи и коммутации, необходимые для выполнения задач этой службы [2].

В качестве примера можно назвать следующие разновидности сетей спутниковой связи:

- сети малых земных станций типа *VSAT* (*Very Small Aperture Terminal*);
- сети подвижной персональной спутниковой связи (СППСС) (*Mobile Personal Communication Service – MPCS*);
- сети непосредственного телевизионного вещания (НТВ);
- мультимедийные интерактивные спутниковые сети;
- сети специальной фиксированной спутниковой службы;
- сети специальной подвижной спутниковой службы;
- сети спутникового доступа в Интернет (*Direc*).

В состав типовой сети спутниковой радиосвязи могут входить (рис. 4.31) [4]:

- один или несколько бортовых ретрансляторов (БРК), размещенных на ИСЗ, образующих орбитальную группировку (космический сегмент) сети;
- земные станции (ЗС), размещенные в зоне обслуживания БРК и соединенные с абонентами (потребителями) непосредственно или через наземную сеть связи общего пользования. ЗС выполняют функции узлов сопряжения (шлюзов) между абонентами (пользователями), наземными сетями связи общего пользования и сетью спутниковой связи. В оборудовании ЗС осуществляется преобразование форматов и протоколов передачи данных, используемых в наземных сетях, в форматы

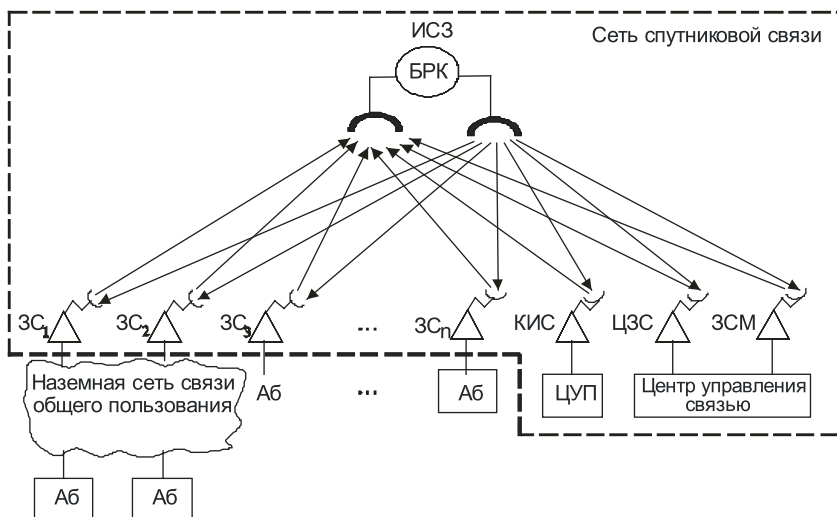


Рис. 4.31. Структура типовой сети спутниковой связи

и протоколы, позволяющие эффективно использовать пропускную способность спутниковых каналов. Конструктивное исполнение ЗС варьируется в широких пределах: от громоздких сооружений с антеннами диаметром 12–25 м и мощностью передатчиков в десятки кВт, до персональных портативных терминалов типа «трубка в руке» с выходной мощностью в несколько десятков мВт;

- командно-измерительная станция (КИС) получает и обрабатывает данные внешнетраекторных измерений параметров орбиты ИСЗ. Командно-измерительная станция соединена с центром управления полетом ИСЗ. Она осуществляет прием телеметрической информации от ИСЗ, передачу исполнительных команд для коррекции орбиты ИСЗ, управления системами ИСЗ, в том числе и бортовой ретрансляционный комплекс (БРК);

- одна или несколько центральных земных станций (ЦЗС), предназначенных для управления функционированием сети и процессами информационного обмена;

- земная станция мониторинга (ЗСМ), или контрольная станция, предназначенная для контроля загрузки стволов БРК и качества передаваемой по ним информации.

По принадлежности сети спутниковой связи могут быть:

- *государственными (национальными)*, наземный сегмент и орбитальная группировка КА которых принадлежат одной стране и сосредоточены на ее территории;

– *ведомственными (корпоративными)*, наземный сегмент и орбитальная группировка которых принадлежит одному ведомству (министерству, организации, виду вооруженных сил, крупной компании);

– *международными (интернациональными)*, которые являются объектом совместной деятельности нескольких стран, совместно используются этими странами, расположенными в относительном соседстве друг с другом и принадлежащими одному географическому региону;

– *региональными*, развернутыми в интересах обеспечения связи конкретного региона страны, мира и принадлежащими национальному или интернациональному оператору спутниковой связи;

– *глобальными*, обеспечивающими полный охват территории Земли и развивающимися под управлением и при координации международных организаций, объединяющих большинство стран мира.

Сети спутниковой связи характеризуются:

– топологией построения (полносвязанная, радиальная (узловая), смешанная);

– целевым назначением (специальные (президентские и правительственные), военные, коммерческие);

– пропускной способностью (широкополосные или узкополосные);

– видом передаваемой информации (телевидение, речь, данные);

– степенью помехозащищенности (помехозащищенные или непомехозащищенные).

4.2.4. Классификация типовых каналов и трактов ЕСЭ России

Экономически выгодно в первичных сетях ЕСЭ России иметь определенный набор унифицированных каналов, на базе которых образуются каналы для передачи сигналов всех видов связи. Такие каналы называются типовыми. Типовые каналы передачи ЕСЭ России создаются с помощью аналоговых систем передачи (АСП), образующих аналоговые каналы, и цифровых систем передачи (ЦСП), образующих цифровые каналы (ЦК).

Канал передачи – это комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу сигнала электросвязи в полосе частот, характерной для данного канала, и с соответствующей скоростью передачи между сетевыми станциями, сетевыми узлами или между СС и СУ, а также между СС или СУ и оконечным устройством первичной сети.

В зависимости от метода передачи сигналов электросвязи различают:

– аналоговые каналы передачи;

– цифровые каналы передачи;

- смешанные аналогово-цифровые каналы передачи, в которых на разных участках используют аналоговые или цифровые методы их образования.

В АСП основным типовым каналом передачи является канал тональной частоты (ТЧ), имеющий полосу частот от 0,3 до 3,4 кГц, соответствующую основной ширине спектра телефонного сигнала (ее еще называют эффективно передаваемой полосой частот (ЭППЧ)). В пределах ЭППЧ при максимальной протяженности канала остаточное затухание может превышать свое значение на частоте 800 Гц не более чем на 1 Нп (8,7 дБ).

Канал ТЧ используется для организации телефонных, телеграфных и факсимильных каналов связи, а также каналов передачи данных в соответствующих вторичных сетях. Современные системы передачи с частотным разделением (ЧРК) строятся путем объединения каналов ТЧ в группы:

- предгруппу (в диапазоне частот 12,3–23,4 кГц) – объединение трех каналов ТЧ;
- первичную (в диапазоне частот 60–108 кГц) – объединение 12 каналов ТЧ;
- вторичную (в диапазоне частот 312–552 кГц) – объединение пяти первичных групп (60 каналов ТЧ);
- третичную (в диапазоне частот 812–2 044 кГц) – объединение пяти вторичных групп (300 каналов ТЧ);
- четверичную (в диапазоне частот 8 516–12 388 кГц) – объединение трех третичных групп (900 каналов ТЧ) (рис. 4. 32).

Используя эти группы на сетевых узлах (станциях) первичной сети, можно составить транзитные соединения типовых каналов (каналов ТЧ) первичных, вторичных, третичных, четверичных групп. *Транзит* – это соединение однотипных групп или каналов передачи.

Кроме обеспечения организации каналов ТЧ типовые группы могут применяться и для других целей, например первичная группа может использоваться для организации широкого канала с целью высокоскоростной передачи данных, вторичная группа является основным широким каналом связи для передачи газетных полос и т. д.

Максимальное количество каналов ТЧ, которые организуются в группы и передаются через общие линейные тракты кабельных линий или через стволы радиорелейных линий, определяет название системы передачи (например, К-1920 – кабельная система передачи 1 920 каналов ТЧ).

В ЦСП в зависимости от скорости передачи сигналов электросвязи, цифровому каналу, или потоку, присваивают название основной, первичный, вторичный, третичный, четверичный:

- основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью передачи 64 кбит/с;

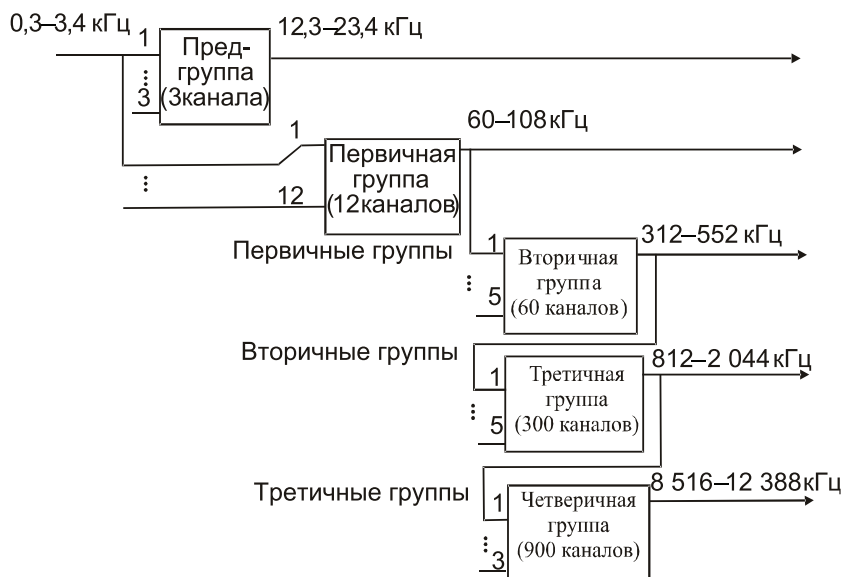


Рис. 4.32. Принцип построения аналоговых систем передачи

- первичный цифровой поток (канал Е1) 2 048 кбит/с;
- вторичный цифровой поток (канал Е2) 8 448 кбит/с;
- третичный цифровой поток (канал Е3) 34 368 кбит/с;
- четверичный цифровой поток (канал Е4) 139 264 кбит/с.

Кроме того, на базе ОЦК с использованием различной аппаратуры могут организовываться цифровые каналы: 9,6; 4,8; 2,4; 1,2 кбит/с (в зависимости от используемого устройства преобразования сигнала).

Групповой тракт – это тракт, созданный на базе типового оборудования первичных, вторичных, третичных групп и групп более высокого порядка, а также оборудования сопряжения.

Линейным трактом называется совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сигналов электросвязи в пределах одной системы передачи в полосе частот, определенной числом каналов одной системы. Следует отметить, что линия передачи может включать в себя несколько линейных трактов одновременно, например по одной паре медных проводов кабеля могут передаваться групповые сигналы одной системы передачи, другие пары задействуются для организации второго линейного тракта. При наличии в этом же кабеле оптических волокон имеется возможность организовать высокоскоростную передачу цифровых потоков. Следовательно, линейные тракты, образованные различными системами передачи, могут функционировать в пределах

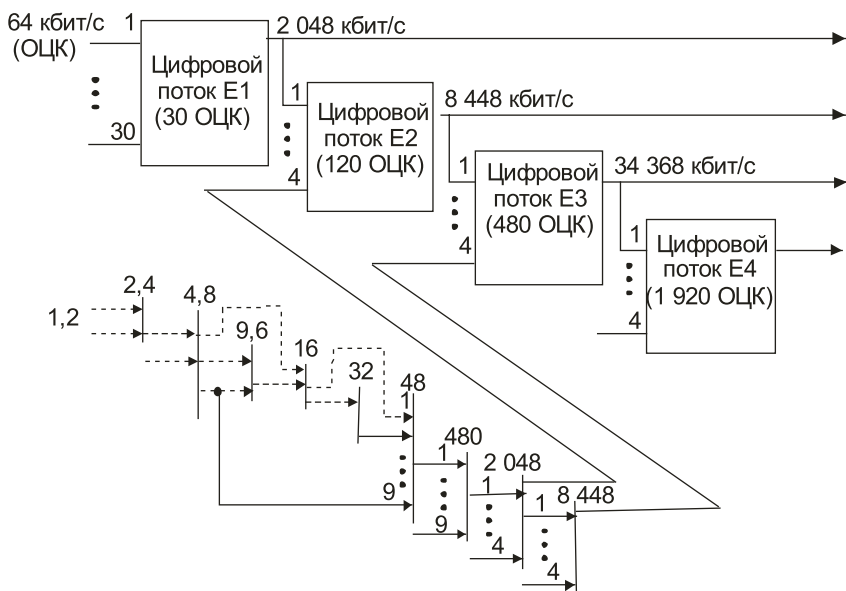


Рис. 4.33. Принцип построения цифровых систем передачи

одного кабеля и отличаться друг от друга как типовыми физическими цепями передачи сигналов, так и средой их распространения.

Для вторичных сетей, так же как и для первичных, существуют стандарты на каналы связи. Для организации звукового вещания, звукового сопровождения телевизионных программ используются каналы:

- 1-го класса (образуются на базе трех каналов ТЧ);
- 2-го класса (образуются на базе двух каналов ТЧ).

Для организации телевизионного вещания используется телевизионный канал с ЭПЧ 50–6 МГц. Как правило, сигналы вещания передаются в радиорелейных системах передачи, например в системе «Восход» (четыре дуплексных ствола со 100 %-ным резервированием, каждый из которых имеет возможность передачи 1 920 каналов ТЧ или одного телевизионного канала совместно с четырьмя программами звукового сопровождения и двумя (тремя) программами звукового вещания 1 и 2-го классов).

Телеграфные каналы связи работают на скоростях передачи 50, 100, 200 бит/с и могут организовываться на основе как АСП, так и ЦСП.

Скорость передачи данных обычно составляет 200, 600, 1 200 бит/с, на линиях АСП она может достигать 33 кбит/с, а на линиях, образованных ЦСП, – до 56 кбит/с.

Необходимо отметить, что цифровые и аналоговые каналы будут еще в течение довольно длительного времени работать совместно на первичной сети ЕСЭ России. Поэтому существуют и разрабатываются устройства, обеспечивающие их совместную работу с учетом рассмотренных характеристик.



4.3. Функции основных сетей ЕСЭ России и средства их обеспечения

4.3.1. Функции основных сетей ЕСЭ России

Под функцией сети будем понимать проявление свойств, качеств сети во взаимодействии с другими сетями, входящими и не входящими в ЕСЭ России [9]. Она может быть выражена как качественными показателями, так и количественными характеристиками (скоростью передачи информации, длительностью ее хранения и т. д.).

Единая сеть электросвязи РФ предназначена для удовлетворения потребностей населения, органов государственной власти и управления, обороны, безопасности, правопорядка, а также хозяйственных субъектов в передаче телефонных, телеграфных и факсимильных сообщений, газет, телевизионного и звукового вещания и других сообщений между любыми пунктами страны.

Это предопределяет в свою очередь реализацию ЕСЭ России определенной совокупности функций, начиная с этапа проектирования.

Все функции, реализуемые ЕСЭ России, могут быть условно разделены на три группы:

- целевая функция;
- основные функции;
- дополнительные функции.

Целевая функция ЕСЭ России соответствует основному функциональному предназначению данной сети, которое описано ранее.

Основные функции отражают особенности ЕСЭ России и представляют собой совокупность реализуемых макрофункций:

1. Транспортные функции, обеспечивающие обмен информацией между источниками информации и получателями. Они регламентированы четырьмя первыми уровнями ЭМВОС. Передача информации осуществляется по типовым каналам и групповым трактам, которые со-

здаются аппаратурой многоканальных систем передачи и элементами сети ЕСЭ России.

2. Функции коммутации, реализуемые системами коммутации.

3. Функции хранения, отображения информации. С применением ЭВМ на сетях связи появилась возможность промежуточного накопления информации на каких-либо носителях (магнитных дисках и лентах и т. д.) с последующим предоставлением ее пользователю на экран дисплея или другого оконечного устройства.

4. Функции обеспечения безопасности, контроля доступа к информации.

5. Функции обработки информации (анализ и использование) и др.

Проявление этих функций как основных связано с объективными факторами, имеющими влияние на цели функционирования ЕСЭ России. Следует отметить, что в настоящее время сети связи оснащаются средствами связи как отечественного, так и импортного производства. Информация, передаваемая по сетям связи, представляет реальную продукцию, товар, деньги. Информация порой затрагивает конфиденциальные интересы всех участников информационного взаимодействия, что требует обеспечения безопасности передаваемой по сетям связи информации.

Рассмотренные функции в основном стандартизируются международными организациями, сравнительно мало меняются на различных этапах жизненного цикла сетей и закладываются в сеть еще при проектировании ее технических и программных решений.

Анализ международных рекомендаций [1] и опыт создания сетей позволяет выделить дополнительные функции сетей связи, которые обеспечиваются с заданными показателями качества при различных внешних и внутренних возмущающих воздействиях определенными подсистемами сетей. К таким функциям относятся:

1. Управление сетью и ее элементами с целью поддержания заданных режимов и показателей функционирования. Здесь имеются в виду процедуры принятия решений по управлению сетью и ее элементами на различных уровнях.

2. Исследование сети и ее элементов, обеспечивающее измерение, регистрацию, сбор и обработку статистической информации о функционировании сети при передаче рабочей или специальной испытательной информации.

3. Восстановление сети и ее элементов, состоящее в исключении отказавшего элемента из структуры (реконфигурации), в установлении места, причин дефекта или снижения качества функционирования (технической диагностике), в выработке решения по устранению дефек-

та или снижения качества, во введении в конфигурацию и настройке средств связи после восстановления, а также в доведении заданных показателей до установленных норм.

4. Контроль состояния сети и ее элементов с точки зрения как работоспособности средств связи, так и контроля качества функционирования. При этом принимаются решения по оценке состояния сети, ее элементов и качества функционирования.

5. Предоставление услуг абонентам (местный и междугородный обмен сообщениями, пользование радиоточкой, передача обыкновенных телеграмм и т. д.).

Такая классификация функций сети позволяет упрощать анализ процессов, происходящих в ЕСЭ России, выявляет ее составные элементы, цель и задачи функционирования, а также направления возможного развития.

4.3.2. Классификация и составные элементы, обеспечивающие функционирование ЕСЭ России

В состав ЕСЭ России входят следующие подсистемы обеспечения функционирования:

- технической эксплуатации,
- синхронизации,
- нумерации,
- электропитания,
- сертификации,
- частотных присвоений,
- сигнализации.

I. *Подсистема технической эксплуатации* является наиболее важной и требует детального рассмотрения. В рамках детализации целесообразно выделить ее как систему.

Система технической эксплуатации (СТЭ) предназначена для технического обслуживания ЕСЭ России с целью обеспечения ее эффективного функционирования.

Основные задачи системы технической эксплуатации ЕСЭ России:

- обеспечение работоспособности сетей при заданном качестве и эксплуатационной надежности;
- эффективное использование ресурсов в интересах потребителей при любых изменениях сети;
- программное обеспечение СТЭ;

- оперативно-техническое управление технической эксплуатацией ЕСЭ России;
- административное управление;
- метрологическое, материально-техническое и финансовое обеспечение СТЭ;
- развитие ЕСЭ России для удовлетворения потребностей хозяйственных структур и населения;
- совершенствование ЕСЭ России, методов технической эксплуатации, улучшение эксплуатационных характеристик аппаратуры, оборудования, трактов и каналов передачи.

Исходя из рассмотренных задач, в систему технической эксплуатации ЕСЭ России входят следующие подсистемы обеспечения функционирования (рис. 4.34):

- 1) управления сетью, включая подсистемы технического обеспечения и восстановления ЕСЭ России;
- 2) обеспечения безопасности информации;
- 3) материально-технического обеспечения;
- 4) метрологического обеспечения;
- 5) радио- и радиотехнического контроля работы радиоэлектронных средств (РЭС);
- 6) подготовки и повышения квалификации.

Подсистема управления ЕСЭ России представляет собой комплекс служб администрации сети и программно-аппаратных средств, обеспечивающих администрацию сети информацией о состоянии сети и дающих возможность влиять на ее работу. Подробнее данная подсистема будет рассмотрена далее.

Подсистема технического обслуживания представляет собой совокупность сил и средств, необходимых для установления и поддержания в заданных пределах характеристик любого элемента сети (рис. 4.35).

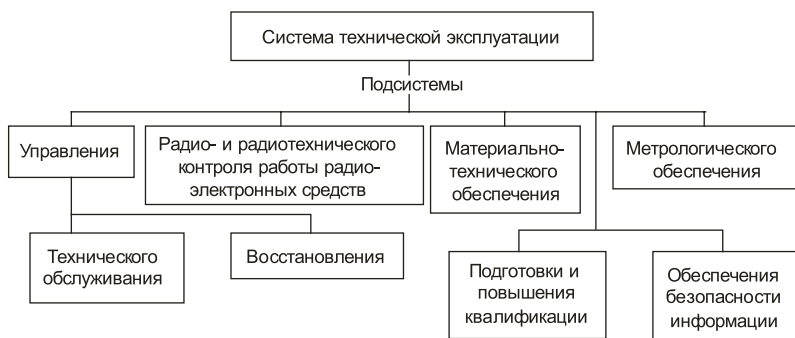


Рис. 4.34. Структура системы технической эксплуатации

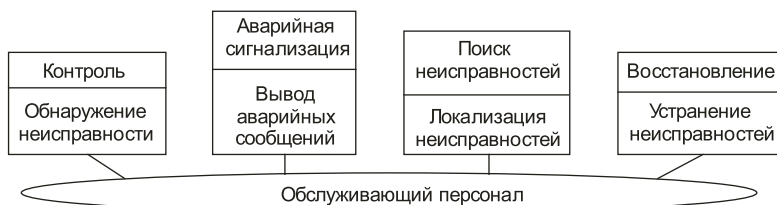


Рис. 4.35. Основные фазы технологического процесса технического обслуживания

Она является частью СТЭ и тождественна ей в рамках выполнения функций ремонта отказавшего оборудования (аппаратуры связи, кабелей, каналов связи).

Основные функции данной подсистемы:

- технический контроль оборудования сети и диагностика отказов (контроль технического состояния и анализ измерительных данных, обработка значений контролируемых параметров и функциональная диагностика, генерирование тестов);
- выработка решений по восстановлению элементов сети (организация поиска неработоспособного элемента, локализация отказов и неисправностей, ремонт элементов, привлечение выездных бригад, команд, ремонт в мастерских, настройка технических средств связи после восстановления отказов);
- анализ и учет результатов эксплуатации (организация аварийной сигнализации; сбор статистических данных об отказах, сбоях, простоях и восстановлении; формирование контрольных и служебных сообщений в центры управления сетью и базы данных; отображение служебной информации технического обслуживания);
- снабжение и планирование эксплуатации (планирование смен технического обслуживания и распределение персонала, документирование процесса технического обслуживания и технической эксплуатации).

Подсистема восстановления ЕСЭ России – это совокупность специализированных технических средств, нормативной документации, а также эксплуатационно-технического и ремонтно-восстановительного персонала (рис. 4.36).

Она предназначена для оперативного создания работоспособных в экстремальных условиях эквивалентов, временно заменяющих неработоспособные средства связи, и последующего восстановления связи и технических средств. В состав данной подсистемы входят подсистема восстановления связи, подсистема восстановления технических средств и подсистема обеспечения функционирования подсистемы восстановления ЕСЭ России.



Рис. 4.36. Состав подсистемы восстановления ЕСЭ России (концепция)

Следует заметить, что подсистема восстановления не включает подсистему резервирования ЕСЭ России, но находится во взаимодействии с ней.

Подсистема обеспечения безопасности информации представляет собой совокупность правовых, организационных и технических мероприятий, средств и норм, направленных на предотвращение или существенное затруднение нанесения ущерба интересам собственника информации в телекоммуникационной сети (системе), а также других заинтересованных физических и юридических лиц и организаций. Задача подсистемы заключается в сохранении конфиденциальности информации, обеспечении ее целостности и доступности [3].

Подсистема материально-технического обеспечения – совокупность сил и средств, предназначенных для выполнения мероприятий по удовлетворению материальных, бытовых, транспортных и других потребностей элементов сети, а также своевременному их укомплектованию средствами связи и автоматизации управления, поддержанию сети в исправном состоянии и постоянной готовности к выполнению задач проведения ремонта средств связи.

Подсистема метрологического обеспечения – совокупность сил и средств, обеспечивающих выполнение комплекса организационных, научных, технических правил и норм, необходимых для достижения требуемой точности измерений. Деятельность метрологических служб, направлена на создание, правильный выбор средств измерений, раз-

работку метрологических правил и норм, выполнение других метрологических работ, необходимых для достижения требуемой точности измерений.

Подсистема радио- и радиотехнического контроля работы радиоэлектронных средств – совокупность сил и средств, обеспечивающих выполнение комплекса организационных и технических правил использования радиочастотного спектра.

Подсистема подготовки и повышения квалификации – совокупность высших и средних государственных и коммерческих образовательных учреждений, выпускающих специалистов связи.

II. *Подсистема синхронизации* представляет собой совокупность средств, обеспечивающих правильную передачу информации от одного абонента к другому непосредственно по каналу или через сеть связи. Необходимость в общесетевой синхронизации возникает, когда цифровые системы передачи интегрируются с электронными цифровыми системами коммутации каналов в единую цифровую сеть, обеспечивающую передачу и коммутацию сигналов в цифровой форме. Подсистема сетевой синхронизации ЕСЭ России служит для установления и поддержания определенного значения тактовой частоты цифровых сигналов, которые предназначены для цифровой коммутации, цифрового транзита и синхронного объединения, с тем чтобы временные соотношения между этими сигналами не выходили за определенные пределы. Система синхронизации должна быть единой для всех сетей, нуждающихся в ней и входящих в состав ЕСЭ России.

III. *Подсистема нумерации* является системообразующим элементом сетей электросвязи. Под нумерацией понимается цифровое, буквенное, символьное обозначение или комбинация таких обозначений, в том числе коды, предназначенные для однозначного определения (идентификации) сети связи и (или) ее узловых или оконечных элементов. Порядок распределения и использования ресурса нумерации ЕСЭ России определяет правительство Российской Федерации на основании заявки, представляемой Минсвязью России. Выделение ресурса нумерации для сетей связи осуществляется федеральным органом исполнительной власти в области связи по заявлению оператора связи в срок не более чем шестьдесят дней.

IV. *Подсистема электропитания* – совокупность элементов электрооборудования, устройств преобразования, регулирования, стабилизации, резервирования и распределения электрической энергии, необходимой для функционирования аппаратуры связи, а также устройств контроля, диагностики и защиты.

Элементы сетей ЕСЭ России располагаются, как правило, в местах, где они могут быть обеспечены надежными и дешевыми источниками электроэнергии, которыми являются электрические сети.

Под электрической сетью (ЭС) будем понимать совокупность подстанций и линий различных напряжений (местных, районных), откуда предприятия связи непосредственно получают электроэнергию. Элементы сетей ЕСЭ России подключаются к ЭС через линии электропередачи и соответствующие трансформаторные подстанции, преобразующие высокое напряжение (10 и 6 кВ) в напряжение 0,4 кВ трехфазного переменного тока 50 Гц. Однако надежность ЭС недостаточна, поэтому электроснабжение элементов сетей ЕСЭ России резервируется дополнительно собственными автоматизированными электростанциями и аккумуляторными батареями. Например, в состав сетевого узла (станции) обязательно включены цех электроснабжения и аккумуляторный цех (зал). Таким образом, для электроснабжения элементов сетей ЕСЭ России функционирует подсистема электропитания, которая распределена по объектам и предприятиям связи.

V. *Подсистема сертификация средств* связи для ЕСЭ России обеспечивается подсистемой сертификации Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, федеральной службы по надзору в сфере связи с помощью уполномоченных на это испытательных центров и лабораторий, аккредитованных в установленном порядке в Госстандарте РФ. Сертификация осуществляется в соответствии со статьями 41 и 42 закона «О связи».

VI. *Подсистема частотных присвоений*. В решении общей задачи обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств (ЭМС РЭС) важную роль играет эффективное использование радиочастотного спектра (РЧС). К РЧС в настоящее время принято относить часть спектра электромагнитных колебаний с частотами от 3 кГц до 3 000 ГГц. На территории Российской Федерации РЧС рассматривается как своеобразный природный ресурс, который распределяется соответствующими организациями и службами. Основной организацией, координирующей использование РЧС в международном масштабе, является Международный союз электросвязи (МСЭ) – специализированное учреждение Организации Объединенных Наций. МСЭ распределяет спектр между различными службами, регистрирует частотные присвоения для РЭС, координирует деятельность, направленную на устранение помех между РЭС различных стран и улучшение использования РЧС.

Координация использования РЧС в нашей стране осуществляется государственной комиссией по радиочастотам РФ (ГКРЧ РФ) и органами радиочастотной службы министерств и ведомств РФ. Рас-

пределение радиочастотного спектра осуществляется в соответствии с «Таблицей распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации» и «Планом перспективного использования радиочастотного спектра радиоэлектронными средствами», которые разрабатываются ГКРЧ РФ и утверждается Правительством Российской Федерации. Пересмотр таблицы распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации проводится не реже чем один раз в четыре года, плана перспективного использования радиочастотного спектра радиоэлектронными средствами – не реже чем один раз в десять лет.

Радиочастотный спектр включает в себя следующие категории полос радиочастот:

- преимущественного пользования радиоэлектронными средствами, используемыми для нужд государственного управления, в том числе президентской и правительственной связи, нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка;
- преимущественного пользования радиоэлектронными средствами гражданского назначения;
- совместного пользования радиоэлектронными средствами любого назначения.

В полосах радиочастот категории преимущественного пользования радиоэлектронными средствами, используемыми для нужд государственного управления, выделение полос радиочастот для радиоэлектронных средств, обеспечивающих президентскую и правительственную связь, оборону страны, органы безопасности государства и правопорядка, осуществляется в Российской Федерации специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области правительственной связи и информации и федеральным органом исполнительной власти в области обороны.

В октябре 2004 г. было принято постановление Правительства Российской Федерации № 539 «О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств». Этим постановлением установлена процедура и порядок регистрации радиоэлектронных средств (РЭС) и высокочастотных устройств (ВЧУ) на всей территории страны. Регистрация РЭС и ВЧУ осуществляется территориальными управлениями Федеральной службы по надзору в сфере связи по письменным заявлениям владельцев радиоэлектронных средств.

Для пользователей радиочастотным спектром устанавливается разовая и ежегодная плата за его использование. Впервые в России плата за использование радиочастотного спектра была установлена постановлением Правительства России от 2 июня 1998 г. № 552.

Перечисленные подсистемы совместно обеспечивают функционирование ЕСЭ России. От их совместной работы зависят и свойства функций сетей. Из всех подсистем наибольшую важность имеет подсистема управления, описание которой представлено отдельно в 8-й книге «Основных положений развития ЕСЭ России на перспективу до 2005 года». Именно об этой подсистеме пойдет речь далее.

4.3.3 Система управления ЕСЭ России

С точки зрения теории систем управление – это изменение состояния объекта, системы или процесса, ведущее к достижению поставленной цели. Будем рассматривать управление как процесс (рис. 4.37).

Анализируя данный процесс, можно выделить три составляющие: среду, объект и субъект, которые участвуют в процессе управления. Субъект ощущает на себе воздействие среды (X) и воздействие объекта (Y). Если состояние среды он не может изменить, то состоянием объекта он может манипулировать с помощью специально организованного воздействия (U). Таким образом, управление – это процесс организации такого целенаправленного воздействия (U) на некоторую часть среды, называемую объектом управления, в результате которого удовлетворяются потребности субъекта, воздействующего на этот объект.

Таким образом, управление ЕСЭ России есть процесс осуществления информационных воздействий на объекты сети для формирования их целенаправленного поведения.

Материальной основой этого процесса служит подсистема управления ЕСЭ России, состоящая из органов управления (ОУ), пунктов управления (ПУ), системы автоматизации и связи.

Подсистема управления ЕСЭ России является составной частью подсистемы технической эксплуатации, выполняющей функции по оперативному и административному управлению сетями ЕСЭ России на основе комплекса информационных технологий по планированию, тех-

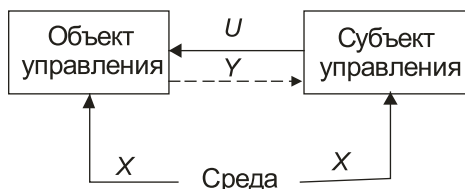


Рис. 4.37. Модель процесса управления

ническому обслуживанию и эксплуатации [8]. В качестве теоретической базы для построения подсистемы управления ЕСЭ России принимается концепция сети управления электросвязью *TMN* (*Telecommunication Management Network* – сеть управления телекоммуникациями (Рекомендация М.3010)). Она предполагает автоматизированное управление перспективными объектами и ресурсами ЕСЭ России и подробно изложена в монографии [3].

Вопросам управления сетями электросвязи в России постоянно уделялось большое внимание. Работа особенно активизировалась в 80-е гг., когда было принято решение о разработке автоматизированной системы оперативно-технического управления (АСОТУ). На первом этапе ее реализации было решено автоматизировать сеть магистральную первичную (СМП). В результате многолетней работы созданы элементы такой системы в отдельных территориальных управлениях магистральной сети.

Полная реализация АСОТУ СМП осложнилась отсутствием необходимых технических средств, выпускаемых отечественной промышленностью, включая датчики, устройства переключения, управляющие комплексы, а также большим разнообразием аппаратуры аналоговых систем передачи и коммутации. Автоматизация управления в полном объеме не осуществлена и в других странах.

В связи с появлением цифровых систем передачи и электронных станций коммутации, где средства управления сетью были предусмотрены в процессе разработки данных систем, а также после разработки концепции *TMN* на сетях в России приступили к созданию современных систем управления на основе новых принципов и решений *TMN*.

На территории России действуют тысячи операторов сетей электросвязи. Основными из них являются ОАО «Ростелеком», в ведении которого находятся международная и магистральная сети общего пользования, и ОАО «Связьинвест» соответствующих областей и регионов, в ведении которых находятся внутризональные сети общего пользования.

Управление сетями (магистральной первичной сетью, международной и междугородной телефонными сетями, телеграфными сетями) в ОАО «Ростелеком» осуществляется системой оперативно-технического управления междугородными связями (СОТУМС) во взаимодействии с автоматизированной системой оперативно-технического управления магистральной первичной сетью (АСОТУ СМП), фрагменты которой внедрены в отдельных регионах, а также с системами управления сетями операторов связи ОАО «Связьинвест» регионального и местного значения. Структура СОТУМС представлена на рис. 4.38.

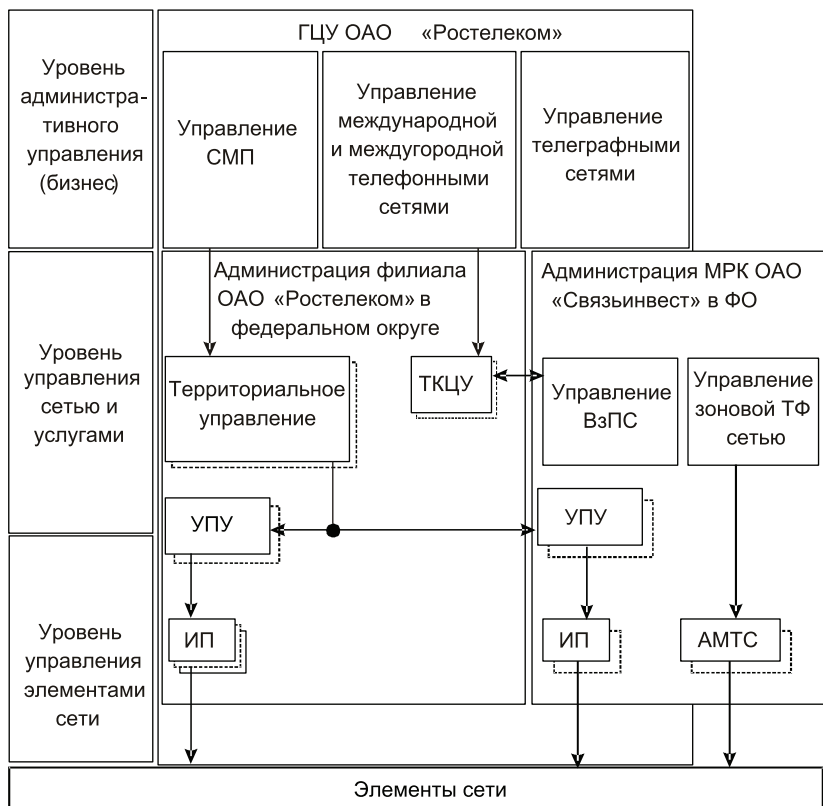


Рис. 4.38. Структура COTUMC

Организационно система управления построена по территориально-иерархическому принципу и имеет следующие элементы управления:

- главный центр управления (ГЦУ);
- администрация филиала ОАО «Ростелеком» в федеральном округе);
- территориальные центры коммутации и управления (ТЦКУ);
- узловые пункты управления (УПУ);
- информационно-исполнительные пункты (ИП).

Следует заметить, что уровни управления COTUMC, а также функции, которые были определены задолго до появления концепции *TMN*, совпадают с уровнями управления и функциями сети *TMN*.

Главный центр управления междугородными связями как головное подразделение осуществляет управление различными сетями.

Управление магистральной первичной сетью ГЦУ осуществляет через территориальные управления в составе администрации филиалов ОАО «Ростелеком», УПУ и ИП. Одновременно обеспечивается технологическое взаимодействие территориальных управлений с УПУ внутризоновых первичных сетей (система управления связью оператора зонавого значения ОАО «Связьинвест»).

Объектами управления первичной сетью являются элементы магистральной первичной сети: аналоговые и цифровые системы передачи.

Управление международной и междугородной телефонными сетями осуществляется через международные центры коммутации (МЦК) и территориальные центры коммутации и управления (ТЦКУ) при технологическом взаимодействии ТЦКУ с зонавыми центрами управления (ЗЦУ) и УПУ внутризоновых сетей.

Объектами управления телефонной сетью являются МЦК, узлы автоматической коммутации (УАК), а также автоматические междугородные станции (АМТС).

Управление внутризоновыми первичными сетями (ВзПС) осуществляется по линии УПУ–ИП. Объектами управления являются системы передачи ВзПС. Управление телефонной сетью обеспечивает ЗЦУ через центр управления, находящийся в АМТС. Объектами управления являются элементы коммутационного оборудования АМТС и АТС.

ГЦУ управляет также телеграфными сетями (сетями документальной электросвязи) через службу оперативного управления тонального телеграфа (СОУ-ТТ). Системы управления документальной связи будут рассмотрены далее.

Важным аспектом в создании современных систем управления является их автоматизация. Работы по созданию автоматизированной системы управления в стране были начаты еще в начале 80-х гг. В первую очередь было решено автоматизировать магистральную первичную сеть и создать АСОТУ СМП.

Были определены и сформулированы основы построения сети управления, включая:

- задачи и структуру АСОТУ СМП;
- принципы построения информационной сети передачи данных;
- принципы построения программно-технических средств;
- требования к программному обеспечению, предусматривающему использование стандартных операционных систем, систем управления базами данных;
- требования к информационному обеспечению, основанному на единых принципах классификации и кодирования объектов управления и передаваемой информации;

– алгоритмы решения оперативных задач при изменении состояния объектов управления СОТУМС.

Организационная структура АСОТУ СМП повторяет структуру СОТУМС. Информационная связь между подразделениями ИП – УПУ – территориальное управление – ГЦУ осуществляется по вертикали. Информация о состоянии СМП поступает в подразделения верхнего иерархического уровня после соответствующего обобщения в подразделении нижнего уровня. Кроме того, между подразделениями администрации филиала ОАО «Ростелеком» (территориальными управлениями) осуществляется информационная связь по горизонтали – обмен информацией о состоянии СМП. Команды управления для улучшения функционирования СМП поступают с верхних уровней управления на нижние.

При внедрении АСОТУ СМП частично удалось автоматизировать решение трех задач (оперативных, планирования, сбора статистических данных и анализа качества работы СМП). В их решении участвовал оперативно-технический персонал и технические средства автоматизации подразделений. Среди технических средств, используемых в подразделениях, особое место уделялось программно-техническим комплексам (ПТК). Именно их использование позволило рассматривать АСОТУ СМП как человеко-машинную систему, обеспечивающую автоматизированный сбор и обработку информации, а также принятие решений по поддержанию нормального функционирования СМП.

Исходной информацией для решения комплекса оперативных задач является информация о состоянии контролируемых объектов (КО), вырабатываемая в ИП и передаваемая в УПУ после предварительной обработки с целью определения первопричин изменения состояния КО. Узловые пункты управления, территориальные управления и ГЦУ обеспечивают накопление информации от соответствующих нижестоящих подразделений АСОТУ (ИП, УПУ, территориальных управлений) с целью возможности ее обработки. УПУ осуществляет определение участка неисправности по линии передачи, линейному тракту и сетевому тракту в своей зоне. В том случае, если УПУ не может определить участок неисправности (когда последний находится вне его зоны или является пограничным), он сообщает об этом в территориальное управление администрации ОАО «Ростелеком» в федеральном округе и ГЦУ, которые в свою очередь определяют участок неисправности. При этом если участок неисправности определяется ГЦУ, то уведомляется соответствующее территориальное управление, которое вырабатывает команды на устранение неисправности (ремонт) соответствующим узловым пунктам управления и обеспечивает оповещение подразделений, сетевых узлов (станций), в зоне которых используются тракты и каналы передачи контролируемых объектов.

Принятие решений на переключение неисправных трактов и каналов передачи (ввод в действие графиков обходов и замен) на исправные (резервные) обеспечивается ГЦУ, территориальными управлениями филиалов ОАО «Ростелеком» в федеральных округах, УПУ. При этом ГЦУ принимает решение на переключение, если в нем участвуют подразделения нескольких территориальных управлений. Должностное лицо территориального управления администрации филиала ОАО «Ростелеком» принимает решение на переключение, если в этом участвуют только подчиненные подразделения. УПУ принимает решение на переключение при неисправном контролируемом объекте, когда в переключении участвуют только должностные лица информационно-исполнительных пунктов, находящихся в зоне ответственности данного УПУ.

Обратное переключение (после устранения неисправностей в КО) осуществляется по командам территориального управления и ГЦУ. Информация для принятия решений подготавливается ПТК подразделений.

Окончательное решение принимает оперативно-технический персонал подразделений. Все принятые в УПУ и территориальном управлении решения доводятся до ГЦУ. Следует заметить, что каждое подразделение АСОТУ СМП должно хранить массивы постоянной информации: в ИП – описание сетевых узлов и станций; в УПУ – базы данных зоны; в территориальных управлениях – базы данных всех УПУ и данные, влияющие на функционирование СМП в зоне ответственности; в ГЦУ – базу данных о всей СМП. В организационной структуре АСОТУ СМП предусматриваются горизонтальные связи взаимодействия, что позволяет снизить требования по производительности и объему памяти ПТК и создать распределенную систему параллельно действующих операционных вычислительных машин. В табл. 4.3 сведены основные технико-экономические характеристики и функциональные возможности разработанных комплексов (на основе серийно выпускаемых и специально разработанных контроллеров).

Таблица 4.3

Основные характеристики специализированных ПТК

Характеристики	СМ-1800	ЛИУС-2	Контур	Микро	КАПУ	КЛАЦ
Разрядность	8	8	8	8	16	16
Быстродействие, тыс. опер./с	120–500	120	120	120	500	1 000
Объем оперативной памяти, Кбайт	32–64	16–64	64	16–64	До 192	> 64
Операционная система	ОС-1800 СР/М	Аналог МОС 1800	–	–	Спец. ОС РВ	–

В табл. 4.4 приведены характеристики разработанных устройств контроля, необходимых для сопряжения ПТК с аппаратурой аналоговых систем передачи.

Таблица 4.4

Основные характеристики устройств контроля, обеспечивающих сопряжение ПТК с аппаратурой аналоговых систем передачи

Наименование устройств и их свойства	Контролируемые системы передачи	Количество контролируемых объектов	Потребляемая мощность, В · А
Колибри (устройство контроля ЛТ)	Все аналоговые системы передачи	1 КЧ	–
УНК (устройство непрерывного контроля ЛТ)	К-1920(П), К-300, К-60 П, V-60 Е, VLT-20	1 ЛТ	1,7
УКРС (устройство контроля ЛТ по рабочему сигналу)	К-60, V-60 Е	–	1,2
АКСТ (аппаратура контроля СТ)	–	512 СТ	80
ФОКУС (блок формирования отображения и коммутации сигналов управления и состояния ПГ)	УСПП	25 ГТ	56
АТОЛ (аппаратура технического обслуживания ЛТ)	К-60 П, К-3600, VLT-1920	–	–
КАРАТ (аппаратура контроля состояния ЛТ, ГТ)	К-60, оконечное оборудование	6 ЛТ (ГТ)	–

В настоящее время элементы АСОТУ СМП уже внедрены. Анализ результатов опытной эксплуатации АСОТУ СМП подтвердил необходимость разработки единой системы управления. Опубликованные в 1988 г. Рекомендации серии М.30, определившие концепцию построения сети ТМН, подтвердили правильность основных направлений создания такой системы. Важно, чтобы дальнейшие работы по созданию систем управления сетями ЕЭС России осуществлялись на основе отечественного программного продукта. В противном случае решение вопросов информационной безопасности и технологической независимости может существенно осложниться. Именно в этом направлении проводятся работы ОАО «Ростелеком» совместно с ОАО «Телесофт Россия».

4.3.4. Особенности функционирования системы управления ЕСЭ России

Объектами управления, в первую очередь, являются первичная сеть (линии передачи, линейные и групповые тракты и каналы передачи, оборудование сетевых узлов (станций), линейно-кабельные сооружения), вторичные сети общего ОП (телефонная, телеграфная, передачи данных и т. д.), которые базируются на первичной сети. Субъектом управления общегосударственными сетями выступает Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (см. рис. 4.38). Управление в ЕСЭ России осуществляется на основании сочетания территориально-отраслевого и территориально-иерархического принципов.

Территориально-отраслевой принцип определяет работу министерств и ведомств по выработке политики развития ЕСЭ России, выдаче лицензий акционерным обществам, контролю за выполнением ими законодательных актов, соблюдению правил взаиморасчетов, обеспечению выполнения требований технической эксплуатации. Этот принцип отражает порядок руководства элементами ЕСЭ России, который построен на сочетании территориального и отраслевого подходов создания аппарата управления.

Территориальный подход определяет зависимость развития элементов ЕСЭ России от расположения их в субъектах РФ. Необходимо отметить, что субъекты РФ по составу и развитию неоднородны, и это сказывается на степени оборудования их в отношении связи.

Отраслевой подход определяет зависимость функционирования элементов ЕСЭ России от политики развития связи как отрасли.

Исторически сложилось так, что эксплуатационно-техническое обслуживание большей части линейных и станционных сооружений кабельных и радиорелейных магистралей первичной сети осуществляется структурными подразделениями ОАО «Ростелеком». Производственными подразделениями данного юридического лица являются филиалы ОАО «Ростелеком» в федеральных округах и территориальные управления, которые выступают в роли органов управления. За каждым филиалом закрепляется обслуживание линейных и относящихся к ним станционных сооружений общей протяженностью трасс 2 000–3 500 км.

На участках трассы кабельных и радиорелейных линий связи протяженностью 500–700 км создаются территориальные управления, которые находятся на самостоятельном балансе и подчиняются соответствующим филиалам ОАО «Ростелеком» в федеральных округах. Объектами территориальных управлений являются сетевые узлы, сетевые станции и кабельные участки.

ОАО «Связьинвест» осуществляет управление частью первичной (внутризоновыми и местными сетями) и вторичными сетями связи, для чего в федеральных округах были созданы межрегиональные компании (МРК), в зонах ответственности которых существуют органы управления:

- в области (крае) – филиал межрегиональной компании в субъекте РФ;
- в районах – районные и эксплуатационно-технические узлы связи (ЭТУС);
- в городах – городские сети связи (ГТС), почтамты, телеграфы (ГТГ) и др. Таким образом, отраслевой принцип находит свое выражение в построении аппарата управления, осуществляющего руководство эксплуатацией и развитием элементов сетей связи. На рис. 4.39. изображена схема управления первичной сетью ЕСЭ России. Вертикальные стрелки обозначают управление, горизонтальные – взаимодействие.

Необходимо отметить некоторые особенности управления первичной сетью ЕСЭ России:

1. ЭТУС – самостоятельные хозрасчетные предприятия. Они подчиняются областным, краевым и республиканским филиалам межрегиональных компаний (МРК) в субъектах РФ, а также осуществляют техническую эксплуатацию средств связи и радиофикации, находящихся в пределах области и числящихся на его балансе. ЭТУС функционируют на территории областей, краев и автономных республик и имеют в своем составе линейно-технический цех (ЛТЦ) и кабельные участки. ЛТЦ всегда размещается в районном центре и на него возлагается руководство всеми линейными участками, находящимися на территории района. Поскольку наряду с ЛТЦ в районе имеется районный узел электросвязи (РУЭС), который предоставляет услуги по всем видам связи учреждениям, предприятиям, населению и взимает за них плату, в оперативном отношении ЛТЦ подчиняется РУЭС (по всем вопросам восстановления действия связей и по текущему развитию абонентских пунктов и радиоточек, работы по которым проводятся по нарядам РУЭС).

2. Оконечные магистральные станции располагаются, как правило, в административных центрах субъектов РФ и являются составной частью магистральной первичной сети. Элементы ОМС и МТС могут размещаться в одном здании, что говорит о тесном взаимодействии первичной и вторичных сетей (рис. 4.39).

3. Все междугородные телефонные станции подразделяются на выделенные и невыделенные. Выделенные находятся на самостоятельном балансе и непосредственно подчиняются филиалу межрегиональной компании в федеральном округе. Невыделенные станции либо

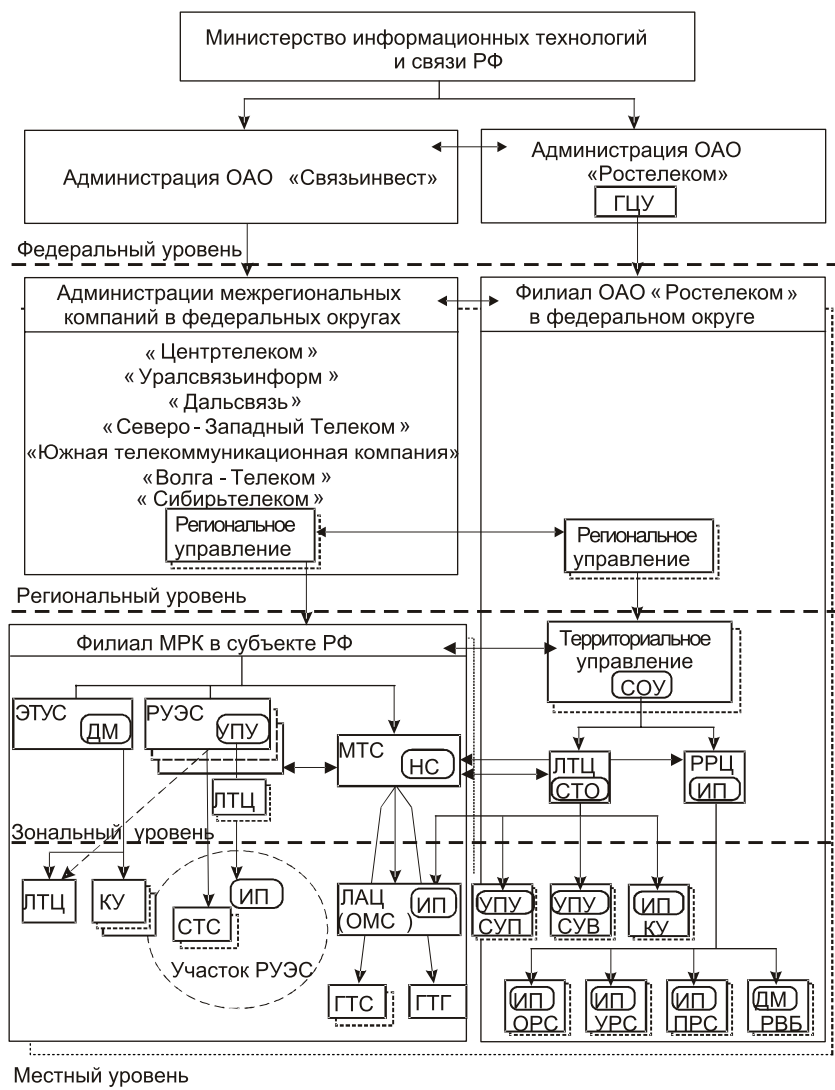


Рис. 4.39. Структура системы управления первичной сети ЕСЭ России

входят в состав районных узлов электросвязи, либо объединяются с городским узлом связи, телеграфом или городской телефонной станцией. При этом взаимодействие оконечной магистральной станции (ОМС) и линейно-технического цеха (ЛТЦ) территориального управления с невыделенными МТС осуществляется так же, как и с выделенными.

По территориально-иерархическому принципу в настоящее время строится система оперативно-технического управления.

Система оперативно-технического управления (СОТУ) представляет собой совокупность технических средств и инженерно-технического персонала соответствующих уровней управления, предназначенную для осуществления оперативного управления магистральной первичной сетью, а также ее обслуживания и взаимодействия со всеми вторичными сетями и другими потребителями.

Основные задачи СОТУ:

- сбор и анализ сообщений об изменениях в работе оборудования и каналов (трактов) связи;
- координация действий инженерно-технического персонала при восстановлении и организации связей, проведении необходимых работ, сборе и передаче информации;
- принятие решений и выдача команд станциям на обслуживание абонентов;
- контроль за точным и своевременным выполнением приказов, инструкций и указаний;
- организация и поддержание взаимодействия сетей, входящих в ЕСЭ России;
- ведение инженерно-технической документации и информационных баз данных и др.

От работы СОТУ зависят обоснованность и оперативность принимаемых и реализуемых решений по поддержанию сетей связи в работоспособном состоянии.

Таким образом, СОТУ СМП должна выполнять три комплекса задач:

- оперативные;
- планирование;
- анализ работы и сбор данных о качестве работы СМП.

СОТУ обеспечивает решение задач по управлению СМП в обусловленных границах и включает:

- главный центр управления ГЦУ;
- двадцать пять территориальных управлений;
- около 160 магистральных узловых пунктов управления (УПУ) (от 4 до 10 в зоне ответственности одного территориального управления);
- около 1000 информационно-исполнительных пунктов (ИП) и секций технического обслуживания (СТО) (от 3 до 10 к каждому УПУ).

Организационная структура СОТУ характеризуется тем, что функции управления распределены между основными и запасными пунктами ГЦУ и узловыми пунктами управления с учетом принципа централизации.

ГЦУ по всем вопросам взаимодействует со всеми территориальными управлениями, которые взаимодействуют друг с другом и оперативно подчиненными УПУ. В свою очередь, УПУ взаимодействует с оперативно подчиненными СТО и ИП, которые создаются на всех ЛАЦ сетевых узлов, МТС, сетевых станциях, обеспечивают сбор первичной информации об изменении контролируемых объектов и выполняют команды управления от вышестоящих подразделений.

Система эксплуатационного контроля обеспечивает оценку качества функционирования объектов контроля и обеспечивает выполнение задач всей системы технической эксплуатации средств связи. Она является элементом системы управления, которая на основе данных контроля позволяет принимать решения о необходимости воздействия на управляемую систему с целью поддержания требуемого состояния или выполнения определенного процесса.

4.3.5. Система нумерации в единой сети электросвязи Российской Федерации

Рекомендация Е. 164, принятая МСЭ-Т в 1997 г., принимает за номер последовательность десятичных цифр, которая однозначно указывает точку окончания сети общего пользования. Такой номер содержит информацию, необходимую для направления вызова в эту точку окончания. В зависимости от сети использования номер может иметь национальный или международный формат.

При рассмотрении единой сети электросвязи Российской Федерации было показано, что сеть связи общего пользования включает в себя сети различного назначения, которые с технологической точки зрения делятся на первичные и вторичные.

Первичные сети включают сетевые элементы (сетевые узлы и станции, пункты кабельных и радиорелейных магистралей, линии передачи, линейные и сетевые тракты), которые должны иметь определенную систему нумерации.

Возможны два подхода к созданию систем нумерации сетевых элементов: децентрализованный и централизованный. При децентрализованном подходе каждый оператор связи создает свою систему нумерации и в соответствии с ней план нумерации. При централизованном подходе разрабатывается единая система нумерации, и каждый оператор, руководствуясь этой системой, создает собственный план нумерации сетевых элементов, используя в необходимых случаях выделенный ресурс нумерации. При обоих подходах должно быть обеспечено соответствие номеров сетевых элементов единой системе нумерации.

Система нумерации сетевых элементов была разработана в Советском Союзе и введена в эксплуатацию с 1 января 1984 г. За время эксплуатации сетей связи в систему нумерации внесены изменения и дополнения, которые обусловлены, во-первых, переходом от буквенно-цифровой системы нумерации к цифровой, необходимой в автоматизированных системах оперативно-технического управления; во-вторых, появлением новых цифровых технологий передачи, в частности оптических линий передачи и цифровых систем передачи синхронной цифровой иерархии.

Существующая сегодня система нумерации сетевых элементов первичной сети разработана ОАО «Ростелеком» в 1996 г. и рекомендована Минсвязью России в 1997 г. Данная система нумерации дополнена в 2000 г.

Номер пункта магистральной первичной сети состоит из 5 цифр и имеет вид: *abxxxx*.

Национальный план нумерации в телефонной сети изложен в Руководящем документе «Система и план нумерации на сетях связи стран семизначной зоны всемирной нумерации». Он введен в действие в 1999 г. (рис. 4.40 [5]).

План нумерации построен по зоновому принципу. Под зоной нумерации понимается часть территории страны, на которой все абоненты имеют единый междугородный код. Границы зоны нумерации, как правило, совпадают с границами административно-территориального деления страны.

В плане нумерации введены понятия географических зон нумерации (код *ABC*) и негеографических зон нумерации (код *DEF*), а также коды выхода к спецслужбам (*1UV*) и коды, используемые в технологических целях.

Географические зоны нумерации с кодом *ABC* образуются на территории каждого субъекта Российской Федерации. В регионах, на отдельных территориях которых сконцентрирована крупная телефонная емкость, возможно создание дополнительных географических зон с присвоением кодов *ABC*. Например, на территории Краснодарского края (код *ABC* = 861) создана географическая зона нумерации – город Сочи – с присвоением кода *ABC* = 862. При полном использовании ресурса кода *ABC* географической зоны в дополнение к существующей вводится вторая географическая зона нумерации для той же территории с новым кодом *ABC* (как это сделано в Московском регионе). В качестве цифры *A* будут использоваться цифры 3, 4, 8. Замена действующих кодов предусмотрена в связи с изменением международного префикса (в качестве цифры *A* не может использоваться 0).

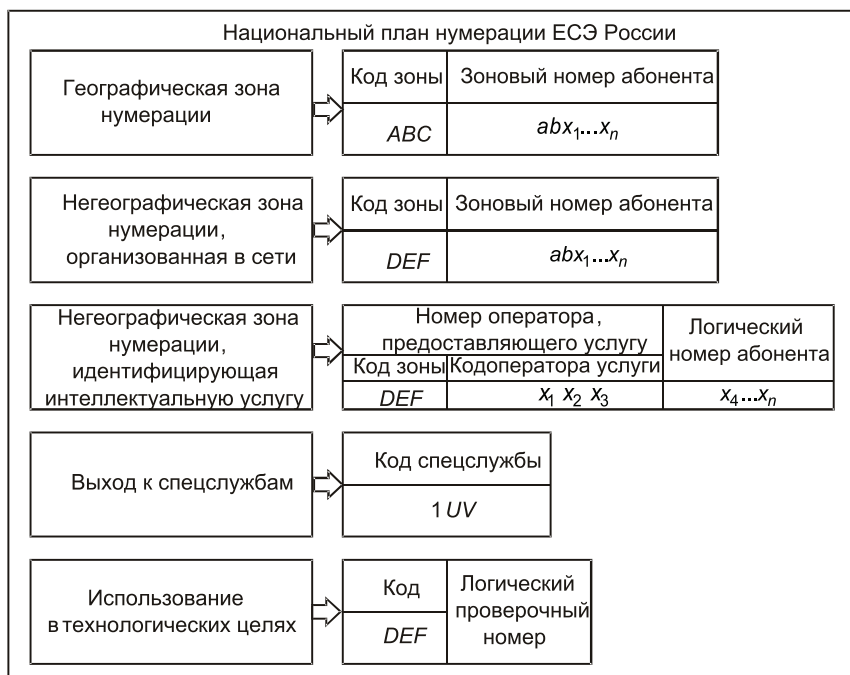


Рис. 4.40. Структура национального плана нумерации

В связи с этим в Московском регионе введены коды $ABC = 498$ и $ABC = 499$. С 1 марта 2004 г. в Ленинградской области введен код $ABC = 813$, код $ABC = 812$ становится полноценным кодом города Санкт-Петербурга.

Зоновый номер абонента, как правило, содержит семь знаков. При семизначной нумерации на местных сетях зональный номер совпадает с абонентским номером местной сети. В отдельных случаях допускается применение зонального номера другой значности, но не более 11 знаков. Для образования зонального номера абонента местной телефонной сети центра субъекта Российской Федерации при пятизначной нумерации в качестве ab используются цифры 22, при шестизначной нумерации в качестве a используется цифра 2. Цифры ab во многих случаях используются как коды соответствующих местных сетей (коды районов административно-территориального деления субъекта Российской Федерации). В перспективе предусматривается, что ресурсы нумерации географической зоны нумерации не должны иметь такой жесткой привязки.

Абонентский номер местной сети географической зоны нумерации может иметь пять, шесть или семь знаков, т. е. иметь вид *xxxxx*, *bx-xxxx*, *abxxxxx*. В последнем случае этот номер совпадает с зоновым. Все абоненты местной сети должны иметь одинаковый по значности номер (в переходный период допускается применение смешанной пяти-шестизначной нумерации). В качестве первой цифры номера абонента в настоящее время не допустимо использование цифр 0 (используется для выхода к спецслужбам) и 8 (используется в качестве национального префикса), в перспективе – цифр 0 и 1.

Для нумерации абонентов городских телефонных сетей применяется только закрытая система нумерации.

Для нумерации абонентов сельских телефонных сетей в настоящее время может применяться как открытая, так и закрытая система нумерации, в перспективе – только закрытая система нумерации.

Для связи с абонентами географической зоны нумерации применяется следующий план набора номера. Абоненты других зон нумерации (как географических, так и негеографических) набирают: Пн *ABC* № зон, где Пн – национальный префикс, *ABC* – код зоны нумерации, № зон – зонный номер абонента).

Абоненты своей зоны нумерации (но не входящие в местную сеть вызываемого абонента) набирают: Пн *2abxxxxx*, где: *abxxxxx* – зонный номер абонента.

При введении в географической зоне семизначной нумерации абоненты набирают только зонный номер абонента. Допускается вызов абонентов своей зоны путем набора Пн *ABC* № зон.

Абоненты местной телефонной сети для связи между собой при закрытой системе нумерации набирают только абонентский номер местной сети.

Абоненты местной сети, входящие в группу абонентов, объединенных отдельным планом нумерации, для вызова абонента, не входящего в группу абонентов, перед набором номера набирают местный префикс Пм.

Абоненты местной телефонной сети при использовании открытой системы нумерации без префикса выход в местную сеть соединения в пределах своей оконечной или узловой станции (ОС, УС) устанавливают набором сокращенного трехзначного номера, а выход к центральной станции (ЦС) и через нее к другим станциям, подключенным к ЦС, – пятизначного номера. При этом нумерация ЦС всегда закрытая. Принципы данной системы нумерации приведены в табл. 4.5. При такой системе нумерации цифры x_1 и x_3 не должны совпадать, а также не должны означать 8 и 0 (в перспективе 0 и 1).

Таблица 4.5

Принципы нумерации в местной сети

Вызывающий абонент	Нумерация при вызове абонентов своей станции		Нумерация при вызове абонентов ЦС и других станций
ЦС всех типов	$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$		$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$
УС типа АТСК-100/2000 и с программным управлением	Без префикса	$X_3 X_4 X_5$	$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$
	С префиксом	$(X_3) X_4 X_5$	Пм $X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$
ОС типа АТСК-50/200М, АТСК-100/2000 и с программным управлением	Без префикса	$X_3 X_4 X_5$	$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$
	С префиксом	$(X_3) X_4 X_5$	Пм $X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$

Абоненты местной телефонной сети при использовании открытой системы нумерации с префиксом выхода на местную сеть (Пм) соединения в пределах своей ОС, УС устанавливают набором сокращенного двух- или трехзначного номера, а для выхода к центральной станции и через нее к другим станциям, подключенным к ЦС – префикс Пм и далее пятизначный номер. При этом нумерация ЦС всегда закрыта. При такой системе нумерации первая цифра сокращенного номера не должна совпадать с Пм.

Телефонная сеть связи негеографической зоны нумерации – это сеть связи, которой присвоен код *DEF* в плане нумерации (табл. 4.6). Впрочем, уточним, что для одних сетей выделены коды вида *DEFab*, а для других – несколько кодов *DEF* (особенно это характерно для федеральных сетей подвижной радиотелефонной связи) или коды вида *DE*.

Абоненты негеографической зоны нумерации для связи между собой используют следующий план набора: *abxxxxx*. Допускается использование плана набора вида Пн*DEFabxxxxx* или плана набора вида Пмн7*DEFabxxxxx* (последний – только при заказе абонентом соответствующей услуги). Вызов специальных и других служб осуществляется по такому же плану нумерации, как и в географических зонах.

Для вызова абонентов других зон нумерации используется план набора вида Пн*ABCabxxxxx* или Пн*DEFabxxxxx*. Для связи с абонентами негеографической зоны нумерации абоненты других зон нумерации должны набирать Пн*DEFabxxxxx*.

Таблица 4.6

Коды негеографических зон нумерации

Наименование сети	Код DEF
Группа сетей сухопутной подвижной связи	902 (908, 950, 951)
БиЛайн	905 (906, 909, 960, 961, 962, 963)
МТС	910 (911, ..., 919, 985, 987, 988)
МегаФон	920 (921, ..., 926)

Нумерация для организации доступа абонентов к интеллектуальным услугам сетей связи России. В истории развития телекоммуникаций можно выделить этап перехода от простейших услуг, доступных конкретному пользователю (типа услуг переадресации вызова), к услугам, доступным всем абонентам сети. Одной из первых таких услуг стала услуга компании AT&T (США, 1967 г.), позволяющая любому абоненту осуществлять бесплатные вызовы телефонных номеров крупных компаний. Поскольку в плане нумерации США был свободный код зоны 800, именно с этого кода стали начинаться специально выделенные номера телефонов. В дальнейшем сетевые услуги были стандартизованы.

Существует несколько способов реализации этих услуг как на базе протоколов интеллектуальных сетей, так и на базе протоколов компьютерной телефонии. При этом система нумерации для доступа к интеллектуальным услугам независима от способа их реализации.

Для идентификации интеллектуальных услуг сетей связи России используются номера вида: $DEF\ x_1\ x_2\ x_3\ x_4 \dots x_n$, где: *DEF* – код негеографической зоны нумерации, идентифицирующий вид услуги (табл. 4.7); $x_1\ x_2\ x_3$ – код оператора услуги; $x_4 \dots x_n$; x_4 – логический номер абонента услуги.

В настоящее время логический номер содержит четыре знака, в перспективе он может быть расширен максимально до восьми знаков.

Таблица 4.7

Перечень кодов *DEF*, выделенных для идентификации интеллектуальных услуг

Наименование услуги	Действующий код DEF	Перспективный код DEF
Бесплатный вызов	800	800
Вызов с автоматической альтернативной оплатой		801
Вызов по кредитной карте		802
Телеголосование	803	803
Универсальный номер доступа		804
Вызов по предоплаченной карте		805
Вызов по расчетной карте		806
Виртуальная частная сеть		807
Универсальная персональная связь		808
Услуга за дополнительную оплату	809	809

Так как для сетей связи России и Казахстана применяются одинаковые коды, цифры $x_1 x_2 x_3$ разделены между странами. Для Российской Федерации выделен диапазон 100–799.

Структура логического номера абонента интеллектуальной услуги определяется особенностями каждой конкретной услуги. При этом назначение логических номеров осуществляет соответствующий оператор услуги при ее абонировании.

Интеллектуальные услуги могут быть доступны пользователям при плане набора: ПнDEF $x_1 x_2 x_3 x_4 \dots x_7$.

Для идентификации интеллектуальных услуг сетей связи России допускается использование ресурсов нумерации местных телефонных сетей в установленном порядке.

В России предоставление интеллектуальных услуг началось в конце XX в. различными операторами связи, среди которых ОАО «Ростелеком», «МТУ-Информ», региональные компании электросвязи. Ярким примером предоставления услуги «Бесплатный вызов» стало создание ежегодной «горячей» телефонной линии для приема вопросов Президенту Российской Федерации по номеру 800–200–40–40. В 2001 г. за 5 дней обслужено 1,5 млн. вызовов, в 2002 г. – 2,4 млн. вызовов, в 2003 г. – 3,3 млн. вызовов. Пиковое значение интенсивности нагрузки составило более 10 % общего междугородного трафика.

План набора номера для осуществления международной телефонной связи. При исходящей автоматической международной связи для всех абонентов используется следующий план набора международного номера:

ПмнКс№ н, либо ПмнКс№ гл, либо ПмнКсКи№ а,

где

Пмн – префикс выхода на международную сеть (международный префикс). В настоящее время Пмн = 8–10, в перспективе Пмн = 00;

Кс – 1–3-значный код страны для географической зоны (страны, группы стран в сводном плане нумерации), либо 3-значный код страны для сети, не определенной географически, либо 3-значный код страны для Глобальной службы;

№ н – национальный (значащий) номер абонента;

№ гл – номер абонента Глобальной службы;

Ки – код идентификации сети, не определенной географически;

№ а – номер абонента.

При исходящей автоматической международной связи от абонента, принадлежащего группе абонентов, объединенных отдельным пла-

ном нумерации (абоненты офисной АТС или офисной сети, абоненты замкнутой группы пользователей и др.), перед набором Пмн и международного номера осуществляется набор префикса Пм.

При полуавтоматической международной телефонной связи набор номера осуществляется телефонистом. Для подключения к рабочим местам телефонистов в плане нумерации предусмотрены номера (191 – французский язык, 192 – английский, 193 – немецкий, 194 – русский, 195 – испанский, 198, 190 – информационно-справочная служба международной связи). Однако при некоторых процедурах обслуживания междугородных и международных вызовов возникает необходимость установления соединения между телефонистами различных служб (в частности, при ручном способе установления соединения). Для установления этих соединений также используются коммутационные системы ТфОП, поэтому в плане нумерации предусмотрены специальные решения. Так, подключение телефонистов других стран к рабочим местам телефонистов международных служб МЦК (международных центров коммутации) или МНТС (международных телефонных станций) Российской Федерации осуществляется следующим набором:

$KcL11$ или $KcL12(xxx)$,

где

Kc – код страны назначения. $Kc = 7$;

L – код языка. $L = 1$ – французский, $L = 2$ – английский, $L = 3$ – немецкий, $L = 4$ – русский, $L = 5$ – испанский;

11 – код выхода к рабочим местам телефонистов немедленной системы обслуживания;

12 – код выхода к рабочим местам телефонистов замедленной системы обслуживания;

xxx – специальный номер для вызова определенного рабочего места или службе (при номере заказа).

Допускается применение другого плана набора:

$KcLABC11$ или $KcLABC12(xxx)$,

где ABC – временно действующий код МЦК, МНТС (табл. 4.8).

В перспективной системе нумерации предусмотрен следующий план набора:

$KcLDEFab11$ или $KcLDEFab12(xxx)$,

где

Таблица 4.8

Перечень объектов сети международной связи

№ п. п.	Наименование объекта сети	Код ABC
1	Екатеринбургская МНТС	380
2	Екатеринбургский УАК	357
3	Иркутский УАК	393
4	Московский МЦК (МН-3)	080
5	Московский МЦК (МН-4)	090
6	Московский МЦК (МН-5)	470
7	Новосибирская МНТС	350
8	Новосибирский УАК	389
9	Ростовский МЦК	850
10	Ростовский УАК	869
11	Самарская МНТС	860
12	Самарский УАК	840
13	Санкт-Петербургский МЦК	880
14	Санкт-Петербургский УАК	810
15	Хабаровский МЦК	460
16	Центральный УАК	089

Кс – код страны назначения. Кс = 7;

L – код языка. L = 1 – французский, L = 2 – английский, L = 3 – немецкий, L = 4 – русский, L = 5 – испанский;

DEF – код негеографической зоны нумерации. DEF = 795;

ab – номер конкретного МЦК или МНТС.

План нумерации в сети Интернет. В Интернете для пересылки электронной почты (*e-mail*) используется протокол *SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)*. Каждому пользователю локальной машины присваивается адрес, состоящий из его имени и сетевого имени его компьютера, разделенных знаком «@». В России этот знак называют собачкой. Структура адреса в протоколе представлена на рис. 4.41.



Рис. 4.41. Структура адреса электронной почты в IP-сети

Идентификатор выбирается самим пользователем и согласовывается с поставщиком услуг (или с администратором сервера).

В Российском сегменте сети Интернет предусмотрена адресация по системе доменных имен (доменная зона «ru»). Доменное имя может содержать от 2 до 63 символов и должно начинаться и заканчиваться буквой латинского алфавита или цифрой. Промежуточными символами могут быть буквы латинского алфавита, цифры или дефис. Доменное имя не может содержать дефисы одновременно в 3 и 4-й позициях.

Доменное имя состоит из нескольких доменов разных уровней и имени субдомена. Существует несколько доменов верхнего уровня, например *gov* (правительственные учреждения), *com* (коммерческие организации), *mil* (военные организации), *net* (сетевые организации). Каждой стране присвоено имя, содержащее две буквы, например Япония – *jp*. Домены верхнего уровня называются универсальным множеством имен или корневым доменом. Каждый домен верхнего уровня связан с несколькими доменами следующего уровня – так называемыми промежуточными доменами. Имена субдоменов, или конечных доменов, выбираются произвольно. Архитектура системы доменных имен приведена на рис. 4.42.

У каждого домена есть свой владелец. Серверы доменных имен взаимодействуют между собой по определенным алгоритмам и регулярно обновляют свои базы данных.

Одной из основных составляющих Интернета – *WWW (World Wide Web)* являются унифицированные указатели информационного ресурса *URL (Uniform Resource Locator)*. Они предназначены для определения местоположения информации в сети. Указатели *URL* представляют собой стандартную схему адреса (рис. 4.43).

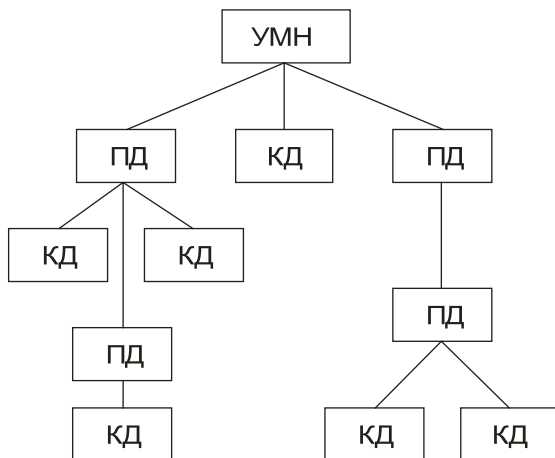


Рис. 4.42. Архитектура системы доменных имен

Протокол	//	Доменное имя	/	Каталог	/	Файл
----------	----	--------------	---	---------	---	------

Рис. 4.43. Структура указателя URL

Например, запись адреса сайта МСЭ, на котором расположена информация по ресурсам нумерации, выделенным МСЭ-Т, имеет вид: <http://www.itu.int/itu-t/inr/index.html>.

В этом примере *http* означает, что будет использоваться протокол HTTP для передачи информации с сервера, имеющего доменное имя *www.itu.int*, из каталога с именем *itu-t/inr*, с файла *index.html*.

Существуют и другие разновидности URL.

Нумерация в сетях GSM. В сетях радиосвязи с подвижными объектами общего пользования для нумерации применяются общие принципы, изложенные в Рекомендации E.164 и E.212.

Для маршрутизации вызовов в процессе установления соединения используются коды – идентификаторы зон местоположения и базовых станций. Для внутрисетевого планирования применяются, цветовые коды базовых станций (*Base Colour Code – BCC*) и сети (*Network Colour Code – NCC*). *BCC* позволяет осуществить выбор базовой станции, а *NCC* – сети, если они имеют одинаковые частоты.

Для идентификации оборудования подвижных станций используется номер *IMEI (International Mobile Equipment Identity)*. *IMEI* включает коды типа оборудования и изготовителя, серийный номер.

Таким образом, система нумерации являет собой узаконенный перечень кодов, цифр и префиксов, определяющих жесткое соответствие объектов сети или услуг, предоставляемых в ней закрепленному за ними номеру.

4.3.6. Сигнализация в единой сети электросвязи Российской Федерации

Для передачи сообщений между оконечными пунктами в коммутируемых сетях связи необходимо передавать также сигналы управления, обеспечивающие установление и разъединение соединений источника (абонента) с получателем (корреспондентом) через узлы коммутации и выполнение служебных функций. Соответствующие задачи решает система сигнализации, реализующая формирование и передачу сигналов управления в абонентской (терминальной) и магистральной сетях.

Под сигнализацией подразумевается процесс обмена сигналами между коммутационными центрами и оконечными абонентскими уста-

новками с целью установления требуемого соединения. В зависимости от участка сети различают следующие виды сигнализации:

- абонентская – на участке между абонентским оконечным устройством (терминалом) и узлом коммутации;
- внутривысостанционная – между различными функциональными узлами и блоками внутри коммутационной станции;
- междывысостанционная (сетевая) – между различными УАК в сети.

Абонентскую, внутривысостанционную и междывысостанционную сигнализацию обеспечивают сигналы трех категорий:

- абонентские сигналы (АС), которые управляют трактом передачи по абонентской линии и предоставляют адресную информацию для регистрации в местной системе коммутации, а также информируют абонентов о состоянии соединения (акустические и зуммерные сигналы);
- линейные сигналы (ЛС), управляющие процессом передачи по каналам связи между станциями. Линейные сигналы передаются как в прямом, так и в обратном направлении в исходном состоянии во время установления соединения до полного освобождения приборов. Эти сигналы отмечают основные этапы установления соединения;
- сигналы маршрутизации (СМ) (регистровые сигналы), которые предоставляют адресную информацию для маршрутизации вызовов к месту назначения (например, информацию о номере вызываемого абонента, информацию о категории и номере вызывающего абонента, сигналы категории вызова и др.).

В настоящее время в международных и национальных телефонных сетях применяются различные системы телефонной сигнализации (СТС) (табл. 4.9), описание которых приводится в рекомендациях МСЭ-Т.

Используемый тип СТС находится в определенной зависимости от применяемого в коммутационном центре (КЦ) вида коммутации. При ручной коммутации в одночастотной СТС № 1 для передачи сигнала сигнализации при международных соединениях используется тональная частота $F = 500$ Гц, которая прерывается с частотой $F_{\text{пр}} = 20$ Гц, а $t_{\text{пр}} = 2$ с. При полуавтоматической коммутации (ПАК) на международных линиях связи МСЭ-Т была предложена СТС № 2, однако она практического применения не получила. В СТС № 3 используется одночастотный вариант для распознавания сигнала сигнализации (по длительности и числу импульсов).

Широкое распространение сегодня получили СТС, которые могут применяться как при автоматической коммутации (АК), так и при полуавтоматической. В зависимости от используемого метода передачи сигналов международные СТС делятся на два вида:

Таблица 4.9

Международные и национальные стандартные системы сигнализации

Тип СТС	Частота линейного сигнала/прерывания, Гц	Регистровый сигнал	Характеристика	Применение	Год стандартизации
№ 1	500/20	–	Для ручного режима коммутации в КЦ	В Европе	1934
№ 2	600 и 750	Набор номера одной частотой $f = 750$ Гц	Для полуавтоматического режима коммутации в КЦ	Только в национальных сетях	1938
№ 3	2280	Двоичный код с частотой $f = 2280$ Гц	Однонаправленная работа для автоматических и полуавтоматических приборов	В Европе	1954
№ 4	2040 и 2400	Двоичный код с частотами $f = 2040$ и 2400 Гц	Однонаправленная работа. Невозможность работы в межконтинентальных линиях с выделением активных интервалов времени (TASI)	В Европе и Средиземноморье	1954
№ 5	2400 и 2600	Комбинация двух из шести частот от 700 до 1700 Гц	Двунаправленная работа. Возможность работы с TASI	В международных сетях	1964
R1	2600	Аналогично № 5	Двунаправленная работа. Работа с системами ИКМ-24	В Северной Америке	1962
R2	3825	Комбинации: прямая (6 частот от 1380 до 1980 Гц); обратная (от 540 до 1140 Гц)	Модернизированный тип многочастотной сигнализации (MFC). Однонаправленная работа; двунаправленная работа; работа по выделенным временным каналам систем ИКМ-30	В Европе, Юго-Восточной Азии, Латинской Америке	1968

- системы с внутриканальной сигнализацией (ВКС);
- системы с сигнализацией по общему каналу (СТС по ОКС).

В системах с ВКС для передачи сигналов сигнализации может использоваться любой участок полосы частот, выделенный для данного телефонного канала (0–4 кГц). В системах по ОКС для реализации функций сигнализации из группы оперативных (речевых) каналов выделяется один специальный общий канал, по которому передаются функциональные сигналы этой группы каналов.

Системы с ВКС подразделяются на системы, использующие методы внутриполосной и внеполосной передачи сигналов. При внутриполосной сигнализации сигналы передаются в разговорной полосе частот в период, когда речь не передается. При внеполосной сигнализации для исключения взаимного влияния речевых сигналов и сигналов сигнализации последние могут передаваться в полосе «защищенных промежутков» (0–0,3 и 3,4–4,0 кГц). МСЭ-Т рекомендует для внеполосной сигнализации использовать частоту 3 825 Гц.

В настоящее время широко применяются системы внутриполосной сигнализации *R1*, *R2*, № 5.

СТС *R1* имеет следующие характеристики:

- система используется в национальных телефонных сетях;
- сигналы сигнализации передаются с использованием частоты 2 600 Гц;
- в зависимости от вида передаваемого речевого сигнала СТС может быть аналоговой и цифровой.

В системе телефонной сигнализации *R2* сигналы сигнализации передаются вне полосы, используемой для передачи оперативных (речевых) каналов на частоте 3 825 Гц.

Международная система сигнализации № 5 получила широкое распространение в национальных и международной сетях. Для нее характерным является:

- совместимость с СТС № 4, 6;
- использование для передачи сигналов сигнализации двух частот – 2 400 и 2 600 Гц.

Рассмотренные системы внутриканальной сигнализации № 1–5 имеют следующие недостатки:

- приемники и генераторы тональных сигналов постоянно включены в разговорную цепь, образуют паразитные цепи и являются источником помех для соседнего канала;
- неэффективное использование телефонного канала $W_{\text{исп}}$, так как из общего времени использования канала $t_{\text{исп}}$ необходимо вычесть время на установление соединения между абонентами $t_{\text{уст}}$.

Эти недостатки исключаются при использовании общего канала сигнализации (ОКС). Общий канал сигнализации представляет собой дискретный канал связи между двумя КЦ с управлением по записанной программе (УЗП). С использованием этого канала по адресно-групповому принципу организуется передача функциональных сигналов (линейных сигналов и сигналов маршрутизации), относящихся к пучку или нескольким пучкам телефонных каналов (рис. 4.44).

Основными преимуществами общеканальной сигнализации являются:

- высокая скорость (в большинстве случаев время установления соединения не превышает одной секунды);
- высокая производительность (один канал сигнализации способен одновременно обслужить множество телефонных вызовов);
- экономичность (по сравнению с традиционными системами сигнализации сокращается объем оборудования на коммутационной станции);
- надежность (достигается за счет возможности альтернативной маршрутизации в сети сигнализации);
- гибкость (система передает не только сигналы телефонии, но и данные цифровых сетей с интеграцией обслуживания, сетей радиосвязи с подвижными объектами, интеллектуальных сетей и др.).

Примерами систем сигнализации по общему каналу сигнализации могут служить ОКС № 6 и 7 (табл. 4.10).

Система сигнализации ОКС № 6 была утверждена в 1968 г. МККТТ и рекомендована к применению на международных участках телефонной сети. В процессе практического применения системы сигнализации ОКС № 6 были выявлены некоторые недостатки: система не рассчитана на работу по каналам с большим временем распространения сигнала, имеет низкую помехоустойчивость, ограниченный объем адресной части и недостаточно гибка для приспособления к нуждам национальных сетей. Вследствие этого на смену ОКС № 6 в 1980 г. МККТТ (МСЭ) была утверждена система сигнализации ОКС № 7.

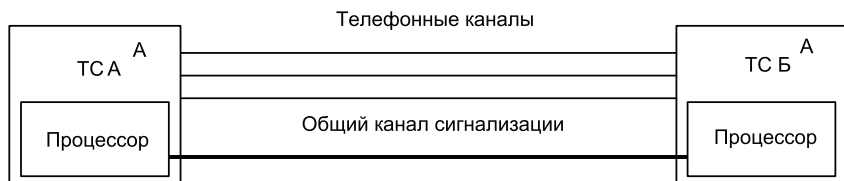


Рис. 4.44. Централизованная система сигнализации по общему каналу сигнализации

Таблица 4.10

Характеристики систем общеканальной сигнализации

Тип СТС	Характеристика	Применение	Год стандартизации
ОКС № 6	Скорость передачи информации: 56 кбит/с (цифровая), 4 кбит/с (аналоговая). Метод исправления ошибок: ретрансляция кадра (единицы), фиксированная длина кадра, общее количество сигнальных типов групп около 40	В международных сетях между Кореей и Японией, США, Тайванем, Австралией, Англией	1968
ОКС № 7	Скорость передачи информации: 64 кбит/с (цифровая), 4,8 кбит/с (аналоговая). Метод исправления ошибок: основной с задержкой в одном направлении менее 15 мс, дополнительный с задержкой в одном направлении более 15 мс, возможная длина кадра 2–62 октетов	Цифровые сети коммутации	1980

Для системы общеканальной сигнализации № 7 характерны:

- пригодность для использования в сетях различного назначения (телефонной, телекса, передачи данных и др.);
- достаточная гибкость, возможность приспособления к потребностям национальных сетей;
- работоспособность по каналам связи со временем распространения сигнала до 1 с и коэффициентом ошибок до 10^{-4} .

Таким образом, система сигнализации является неотъемлемой частью систем и служб электросвязи, без которой процесс обмена информацией между пользователями (абонентами) невозможен.

4.3.7. Нормативная база функционирования ЕСЭ России

В соответствии со ст. 71 Конституции Российской Федерации связь находится в федеральном ведении и как отрасль производственно-хозяйственного комплекса является субъектом права Российской Федерации. Правовое пространство данного субъекта права составляют правовые вопросы деятельности организаций связи.

Отношения, связанные с деятельностью по предоставлению услуг и выполнению работ в области связи, в осуществлении которых участвуют органы государственной власти, операторы связи, регулируются федеральным законом «О связи».

Отношения в области связи, не урегулированные данным законом, регламентируются другими федеральными законами и иными правовыми актами субъектов Российской Федерации в пределах их полномочий.

Нормативные акты и распоряжения по вопросам управления сетями связи, организационно-технического обеспечения их устойчивого функционирования, а также технической эксплуатации средств связи, издаваемые федеральными органами исполнительной власти в области связи, являются обязательными для всех физических и юридических лиц, предоставляющих услуги связи или пользующихся ими независимо от их местонахождения и форм собственности.

Ответственность за общее регулирование связи в стране несут Правительство Российской Федерации и уполномоченные им федеральные органы исполнительной власти в области связи (рис. 4.45).

Единую систему органов исполнительной власти в области связи на федеральном уровне в настоящее время составляет Министерство связи и массовых коммуникаций РФ (Минсвязь России), которое учреждено указом президента РФ № 724 от 12 мая 2008 г. на основе Ми-

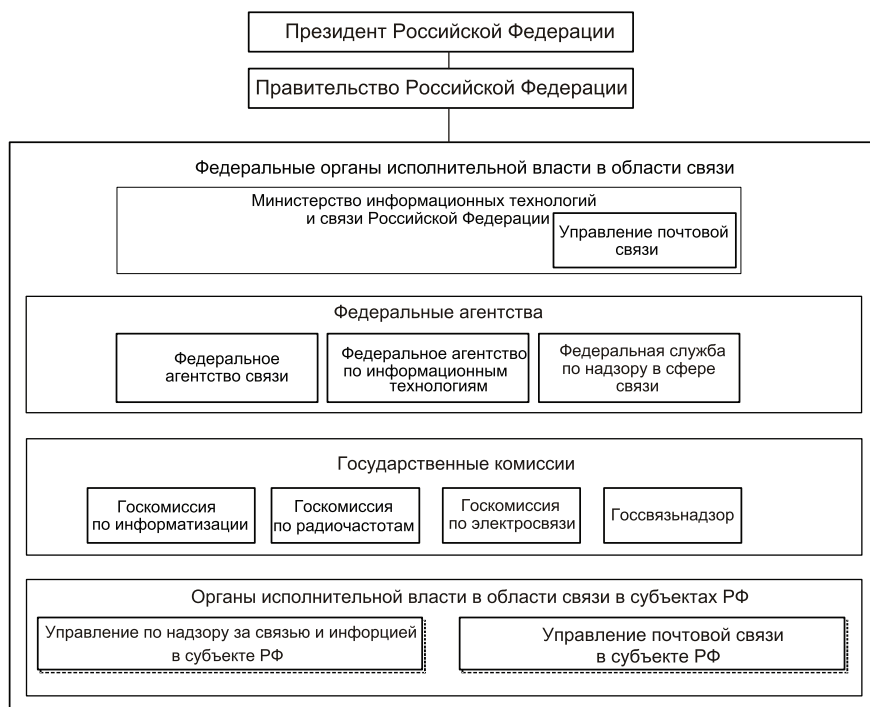


Рис. 4.45. Структура федеральных органов исполнительной власти в области связи

Министерства информационных технологий и связи РФ. Минсвязь России осуществляет координацию и контроль деятельности, находящихся в его ведении Федерального агентства связи (действует на основании постановления Правительства России от 30 июня 2004 г. № 320), Федерального агентства по информационным технологиям (действует на основании постановления Правительства России от 30 июня 2004 г. № 319) и Федеральной службы по надзору в сфере связи (действует на основании постановления Правительства России от 30 июня 2004 г. № 318). Кроме того, Мининформсвязь России включает Управление почтовой связи, а также состоящие при министерстве правительственную комиссию по федеральной связи, созданную на основании постановления Правительства России от 13 апреля 2006 г. № 213, государственную комиссию по радиочастотам (ГКРЧ) (постановлением Правительства РФ от 2 июля 2004 г. № 336 утверждено положение о ГКРЧ, постановлением Правительства РФ от 3 мая 2005 г. № 279 – о радиочастотной службе), государственную комиссию по информатизации (ГКИ), главное управление государственного надзора за связью в РФ (Госсвязьнадзор). В субъектах Российской Федерации органы исполнительной власти в области связи представлены Управлением по надзору за связью и информатизацией и Управлением почтовой связи.

К важным средствам развития связи РФ относится ее нормативное обеспечение (НО). Оно реализуется с помощью нормативных документов (НД), устанавливающих правила, общие принципы, характеристики, требования или методы, касающиеся определенных объектов НО и доступных широкому кругу пользователей (потребителей).

Нормативное обеспечение ЕСЭ России предназначено для создания условий:

- защиты прав и интересов потребителей и государства в вопросах предоставления услуг связи, их качества, номенклатуры, безопасности для жизни и здоровья людей, охраны окружающей среды;
- повышения качества предоставляемых услуг связи, расширения их номенклатуры и объемов в соответствии с потребностями населения, органов государственной власти и управления, обороны, безопасности;
- охраны правопорядка, хозяйствующих субъектов и иных юридических лиц на уровне возможностей, которые предоставляет развитие науки и техники;
- переоснащения ЕСЭ России перспективными техническими средствами;
- обеспечения совместимости и взаимозаменяемости услуг связи с учетом технических возможностей и экономической целесообразности;

- внедрения новых способов расчетов с пользователями за услуги связи;
- повышения производительности труда в связи, содействия экономии людских и материальных ресурсов, улучшения экономических показателей предприятий связи;
- прогнозирования и планирования развития связи в целом и ее компонентов;
- обеспечения взаимопонимания между разработчиками, проектировщиками, изготовителями, строителями и заказчиками;
- выполнения оптимальных требований к параметрам продукции;
- обеспечения электромагнитной совместимости технических средств электросвязи;
- согласования и увязки показателей и характеристик технических средств, их элементов, комплектующих изделий, сырья и материалов;
- обеспечения программной совместимости технических средств связи;
- установления метрологических норм, методик, требований для обеспечения систем и служб электросвязи.

Объекты нормативного обеспечения ЕСЭ России можно подразделить на пять групп:

1. Почтовая связь, отраслевая система стандартизации, отраслевая метрологическая служба;
2. Системы и службы электросвязи: система телефонной связи, система телеграфной связи и др.
3. Сети связи, например магистральная первичная сеть, внутризональная первичная сеть и др.
4. Технические средства, включая аппаратуру систем передачи магистральной первичной сети и многие другие виды аппаратуры.
5. Объекты, обеспечивающие нормальное функционирование ЕСЭ России и ее составных элементов, а именно системы технической эксплуатации, системы синхронизации и др.

В систему нормативных документов связи входят руководящие документы (РД); межгосударственные (ГОСТ), государственные (ГОСТ-Р), отраслевые (ОСТ) стандарты; технические условия (ТУ); нормы, правила, инструкции, временные строительные нормы (ВСН). Общее число ранее разработанных документов составляет около 1 200 наименований.

Руководящие документы по связи – это основополагающие документы, характеризующие современное состояние и перспективы развития связи в целом или ее компонентов, например руководящий документ «Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года», разработанный на основе действующего законодательства РФ, отечественных и

международных стандартов, рекомендаций МСЭ и других международных органов. Этот документ создан с учетом опыта построения сетей и служб электросвязи, отечественных и зарубежных современных достижений науки, техники и технологии.

Межгосударственные стандарты – это стандарты, принятые государствами, присоединившимися к соглашению о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации, и применяемые ими непосредственно. Межгосударственные стандарты в области связи устанавливают правила, общие принципы, требования или методы, касающиеся определенных объектов связи межгосударственного применения, например ГОСТ В 23609–86 (СТ В СЭВ О217–86) «Связь военная. Термины и определения»; ГОСТ 8303–93 (ИСО 491–88) «Ленты магнитные. Размеры и методы контроля».

Государственные стандарты РФ – это стандарты, утвержденные Госстандартом РФ. Государственные стандарты в области связи устанавливают правила, общие принципы, характеристики, требования или методы, касающиеся определенных объектов связи отечественного применения, например ГОСТ-Р 50861–96 «Система телетекст. Основные параметры. Методы измерения».

Отраслевые стандарты утверждаются министерствами (ведомствами) РФ. Отраслевые стандарты в связи устанавливают правила, общие принципы, характеристики, требования или методы, касающиеся определенных объектов связи. Они разрабатываются в тех случаях, когда на объекты связи отсутствуют государственные стандарты РФ, или при необходимости установления требований, превышающих установленные государственными стандартами РФ. Требования ОСТ не должны противоречить обязательным требованиям государственных стандартов РФ, например ОСТ 4Г 0.005.210–85 «Микросборки. Классификация и условные обозначения».

Технические условия представляют собой нормативные документы на конкретную продукцию (услугу), утвержденные предприятием-разработчиком, как правило, по согласованию с предприятием-заказчиком (потребителем). Технические условия устанавливают требования к конкретным типам, маркам или артикулам продукции (оборудованию, услуге, процессу). Требования технических условий не должны противоречить обязательным требованиям ГОСТ-Р и ОСТ и могут дополнять и ужесточать установленные в них требования, например ТУ 25-2408.007–88Е «Датчики-реле уровня РОС-101».

Нормы также являются нормативными документами, характеризующими обязательный порядок, количественные величины какого-либо процесса, параметров и т. д.

Правила – нормативные документы, устанавливающие порядок, соблюдение которого необходимо для выполнения каких-либо действий.

Инструкции определяют последовательность и технологию выполнения каких-либо работ.

В общем случае, нормативные документы должны отвечать следующим основным требованиям:

- учитывать социальную, техническую или экономическую целесообразность;
- учитывать действующие национальные и международные стандарты с целью исключения дублирования;
- обеспечивать взаимное согласование требований по всем стадиям жизненного цикла продукции от разработки до утилизации;
- регламентировать в НД показатели качества материалов и комплектующих изделий с целью реализации требований, предъявляемых к конечной продукции;
- обеспечивать стабильность требований в течение достаточного периода (наибольшей стабильностью должны обладать основополагающие и общетехнические нормативные документы);
- учитывать новые виды техники связи (цифровые и оптоволоконные системы связи, системы подвижной связи и др.).

Вопросы для самоконтроля

1. Дать определение архитектуры сети связи
2. Дать определение структуры сети связи. В чем различие между архитектурой и структурой сети связи?
3. Какие элементы входят в состав архитектуры ЕСЭ России?
4. Есть ли отличие архитектуры аналоговых сетей связи от цифровых? Если есть, то почему они возникают?
5. Какие сети связи формируют каналы передачи, каналы связи и каналы электросвязи?
6. Дать определение первичной сети связи
7. Как классифицируются первичные сети?
8. Какие элементы входят в состав первичной сети связи?
9. Чем различаются сетевой узел и сетевая станция?
10. По какому принципу строятся аналоговая и цифровая первичные сети ЕСЭ России, есть ли различие в их построении?
11. В чем заключается радиально-узловой принцип построения сетей связи? Его достоинства и недостатки.
12. Дать определение вторичной сети связи
13. Как классифицируются вторичные сети связи?
14. Что входит в состав вторичной сети связи?

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Архитектура сети для разработки предложений / пер. с англ. – Киев: Крещатик, 1992. – 240 с.
2. **Булгак В.Б.** Электрическая связь сегодня и завтра // 100 лет радио: сб. статей /под ред. В. В. Мигулина. – М.: Радио и связь, 1995.
3. **Булгак В.Б.** Основы управления связью Российской Федерации / В.Б. Булгак, Л.Е. Варакин, А.Е. Крупнов и др.; под ред. А.Е. Крупнова и Л.Е. Варакина. – М.: Радио и связь, 1998. – 184 с.
4. **Коньков А.М.** Развитие Взаимоувязанной сети связи России до 2005 года. – М.: Вестник связи, 1996 – № 3.
5. **Мардер Н.С.** Нумерация в сетях электросвязи общего пользования Российской Федерации. – М.: ИРИАС, 2004. – 232 с.
6. **Мардер Н.С.** Современные телекоммуникации. – М.: ИРИАС, 2006. – 384 с.
7. **Невдяев Л.М.** Телекоммуникационные технологии. Англо-русский толковый словарь / под ред. Ю. М. Горностаева – М.: МЦНТИ, 2002 – 592 с.
8. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года: руководящий документ. – Книга 1: Концептуально-целевые основы развития и общие организационно-технические положения. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996.
9. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года: руководящий документ. – Справочное приложение № 2: Словарь основных терминов и определений. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996.
10. **Попов А.А.** Основы общей теории систем. Часть 1 / А.А. Попов, И.М. Телушкин, С.И. Бушуев. – Л.: ВАС, 1992.
11. Советский энциклопедический словарь. – 2-е изд. / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энцикл., 1983.
12. Федеральный закон «О связи» // Собрание законодательства Российской Федерации. – ФЗ № 15, 1995.

Глава 5

СЕТЬ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ

Телефонная связь – наиболее доступный, удобный и массовый вид электросвязи. Она позволяет вести переговоры людям, находящимся друг от друга практически на любых расстояниях, с помощью сравнительно простых и дешевых систем передачи, реализующих этот вид связи. Именно поэтому современные телефонные сети значительно крупнее и разветвленнее сетей других видов электросвязи.

Сети телефонной связи стали развиваться более ста лет назад. Вскоре после того как Александр Грэхем Белл в 1876 г. (всего на несколько часов раньше своего конкурента Элиши Грея) запатентовал телефон, на его изобретение появился огромный спрос. Первый способ организации телефонной связи был самым примитивным: пара телефонных аппаратов соединялась единственным проводом, в качестве второго использовалась земля. Если владелец телефона хотел переговорить с другими владельцами телефонов, то отдельные провода протягивались ко всем телефонным аппаратам. Такой способ организации телефонной связи получил название «каждый с каждым», и он оказался неэффективным.

К чести Белла, он заметил это и основал телефонную компанию *Bell Telephone Company*, которая в 1878 г. открыла первую в мире телефонную станцию в Нью-Хейвене (США), штат Коннектикут. Первые телефонные станции в России появились в 1880 г. В 1887 г. инженер К.М. Мосцицкий разработал одну из первых в мире автоматических телефонных станций (АТС) малой емкости.

В середине 30-х гг. XX в. появились координатные электромеханические АТС, которые в большей степени, чем машинные, отвечали все усложняющимся требованиям к построению телефонных сетей различного назначения.

Послевоенный период ознаменовался бурным развитием электроники, что нашло свое отражение в технике связи, применяемой в телефонных сетях. Так, в 1960–1965 гг. появились квазиэлектронные АТС на магнитоуправляемых (безъякорных) реле, которые используются и в настоящее время.

Сейчас Россия обладает телефонной сетью емкостью около 26 млн номеров и по этому показателю занимает третье место в Европе. В стране эксплуатируются самые длинные в мире кабельные и радиорелейные линии. В междугородной сети, включающей 104 автоматические междугородные телефонные станции (АМТС) общей емкостью 224 тыс. каналов, осуществляется организация телефонных, телеграфных, телевизионных и радиовещательных каналов. За период с 1995 по 2000 г. было введено в строй 50 АМТС, в основном электронных и квазиэлектронных, общей емкостью 145 тыс. каналов и линий. Это позволило довести уровень автоматизации междугородной связи до 90 %.

Основой технической политики, проводимой в России в последние годы, стала широкая цифровизация сетей, т. е. переход к цифровым методам передачи, распределения и преобразования информации.

Без широкого использования телефонной связи сегодня невозможно ни одно производство, развитие науки, культуры, процесс обучения. Без телефонной связи нельзя обеспечить надежную обороноспособность страны.

Представленные в гл. 4 данные свидетельствуют о том, что основу ЕСЭ России составляют элементы, которые изначально создавались для обеспечения телефонной связи. Исторически сложилось так, что каналы и тракты первичной сети организовывались исходя из потребностей телефонной связи. Общеуоретические принципы построения сетей связи на данном этапе учитывают развитие и других видов связи. Однако рассмотрение таких понятий, как канал передачи, канал связи, канал электросвязи, групповой, сетевой, линейный тракт, будет наиболее уместным в рамках рассмотрения телефонной сети связи общего пользования.



5.1. Принципы построения телефонных сетей общего пользования

5.1.1. Назначение сети телефонной связи общего пользования

Телефонная связь предоставляется системой телефонной связи (СТФС), которая является важнейшей составной частью ЕСЭ России. В состав СТФС входят телефонная сеть общего пользования, сеть «Искра», сети подвижной радиотелефонной связи общего пользования, подсистемы управления и обеспечения (предоставления услуг, нумерации, сигнализации, учета стоимости и расчета, нормирования каналов и др.) (рис. 5.1).

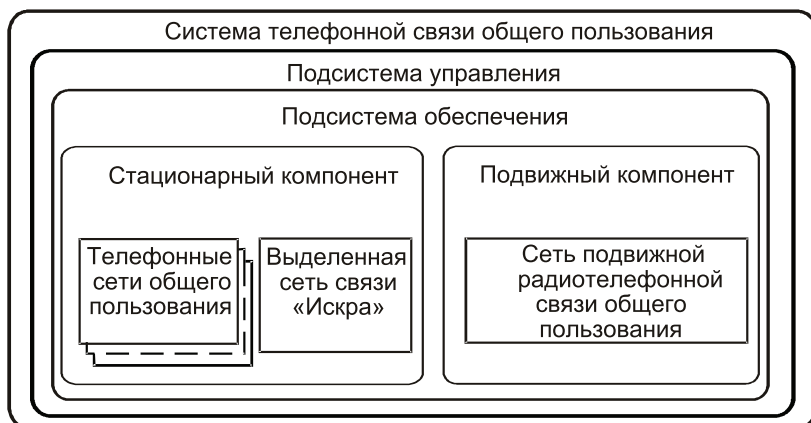


Рис. 5.1. Структура системы телефонной связи общего пользования

1. *Телефонная сеть общего пользования (ТФОП)* представляет собой совокупность местных и междугородных автоматических телефонных станций и коммутационных узлов, международных центров коммутации, оконечных абонентских устройств, а также каналов и линий телефонной сети, которая обеспечивает потребность населения, учреждений, организаций и предприятий в услугах телефонной связи [4].

В соответствии с классификацией сетей связи телефонная сеть общего пользования по охвату территории и абонентов представляет собой иерархию различных телефонных сетей: местных (городских, сельских, комбинированных), внутризоновых, междугородных и международных (рис. 5.2).

Городские телефонные сети обеспечивают телефонную связь на территории города и его пригородной зоны, сельские – на территории сельских административных районов.

В случае, когда райцентр или крупный город (областной, краевой центр или столица республики), на территории которого расположены органы государственной власти и хозяйственные организации сельского района и который является одновременно центром этого района, имеет районированную городскую сеть, СТС и ГТС образуют единую комбинированную сеть. Эти три вида телефонных сетей объединяют общим названием «местные телефонные сети».

Междугородная телефонная сеть представляет собой совокупность междугородных оконечных и оконечнотранзитных станций, узлов автоматической коммутации и каналов связи между ними. Междугородная телефонная сеть предназначена для установления соединений между

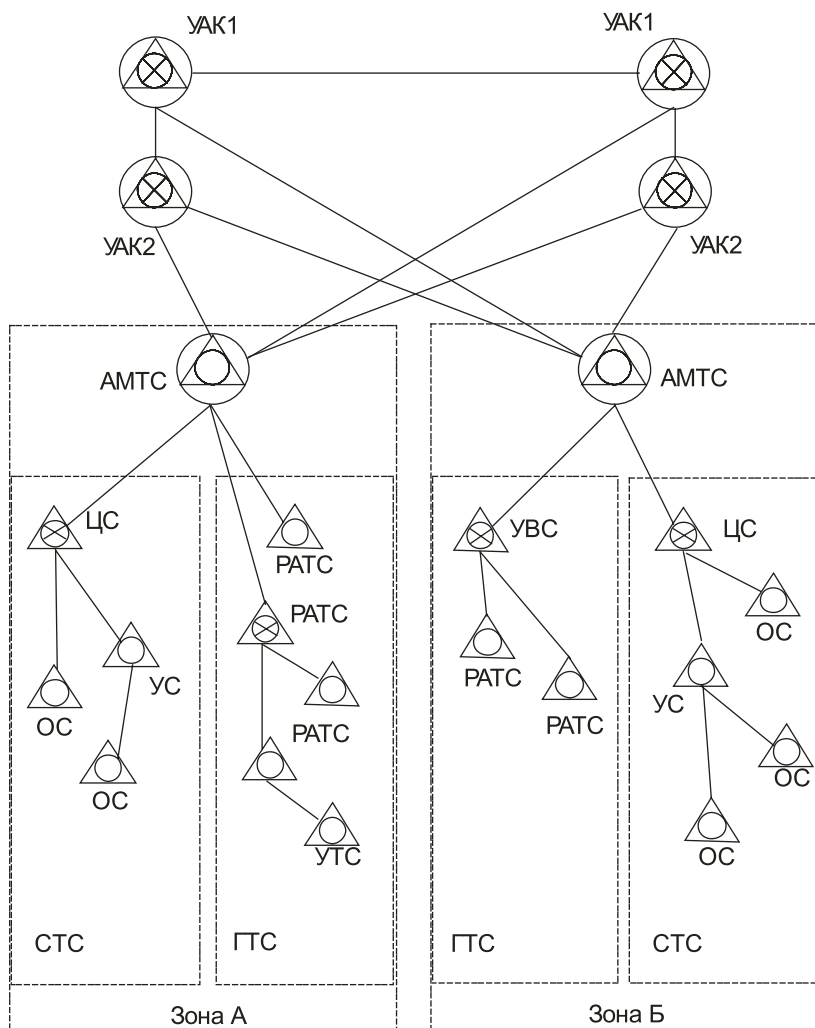


Рис. 5.2. Структура телефонной сети связи общего пользования

абонентами местных телефонных сетей, расположенных на территории различных зон.

В настоящее время в междугородной сети России функционируют 87 AMTC, причем используется в основном аналоговое коммутационное оборудование, которое не позволяет обеспечивать абонентов многими дополнительными услугами.

Внутризоновые сети представляют собой совокупность автоматических междугородных телефонных станций, заказно-соединительных линий (ЗСЛ), соединительных линий междугородных (СЛМ), связывающих местные сети с АМТС, соединительных линий между различными местными сетями в зоне при наличии электронных АТС, а также каналов между АМТС, если их в зоне несколько. Внутризоновые сети предназначены для связи между абонентами местных телефонных сетей, расположенных на территории одной телефонной зоны.

Признаком зоны является наличие единой 7-значной нумерации абонентских линий местных сетей данной зоны. Территория зоны, как правило, совпадает с территорией области, края или республики, а могут и две области объединяться в одну зону или на территории одной области могут быть две зоны. Так, крупные города (Москва, Санкт-Петербург) выделены в отдельные зоны. На территории бывшего СССР была образована 171 зона.

Сеть международной телефонной связи представляет собой совокупность международных центров коммутации и международных телефонных станций, связанных между собой каналами высокого качества.

В соответствии с концепцией и схемой развития международной телефонной связи на территории России предусматривается создание международных центров коммутации (МЦК). До настоящего времени для организации международной телефонной связи действуют МЦК в Москве, С.-Петербурге, Хабаровске. В 2000 г. было введено еще пять МЦК. Абоненты городов, не имеющие выхода на международные направления, передают заказы на международные столы, которые от закрепленного за ними региона распределяют нагрузку через МЦК на международную сеть.

2. *Сеть междугородной телефонной связи «Искра»* – выделенная сеть связи, представляющая собой совокупность коммутационных станций, каналов и линий передачи, которая предназначена для обеспечения определенной группы абонентов высококачественной связью с приоритетом обслуживания.

«Искра» является разветвленной сетью и охватывает всю территорию России. Развитие сети «Искра» идет по пути создания выделенной цифровой коммутируемой сети (ВЦКС) «Искра 2», где будет осуществляться более качественное обслуживание абонентов за счет передачи сообщений на скоростях 2,4; 4,8; 9,6 кбит/с. Внедрение ВЦКС рассматривается Министерством транспорта и связи Российской Федерации как один из шагов на пути создания «скелета» единой национальной цифровой сети с интеграцией служб, к которой по согласованным протоколам будут подключаться местные и ведомственные цифровые сети.

Абонентам сети «Искра-2» будут предоставляться услуги внутригородской, междугородной и международной телефонной связи, факсимильной связи, электронной почты, факспочты.

3. *Сети подвижной радиотелефонной связи общего пользования* – это совокупность технических средств, обеспечивающая подвижным абонентам возможность установления связи между ними и со стационарными абонентами сети [4].

Создание сети подвижной радиотелефонной связи в России находится на начальном этапе, несмотря на то что первая сеть радиотелефонной связи общего пользования «Алтай» была введена в эксплуатацию в 1963 г. В первом полугодии 1994 г. была утверждена и опубликована концепция развития в России до 2010 г. сетей сухопутной подвижной радиосвязи общего пользования. Сеть подвижной радиотелефонной связи создается практически полностью с использованием современных технологий и включает сотовые сети, сети персонального радиовызова и транкинговые сети. Сотовые сети развиваются на основе усовершенствованной версии аналогового стандарта *NMT 450 (Nordic Mobile Telephone System)* – охватывают более 30 городов России) и двух цифровых стандартов *GSM (Global System for Mobile Communications)* и *D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone Service)*. Причем стандарты *NMT 450* и *GSM* имеют статус федеральных, а стандарт *D-AMPS* – статус регионального стандарта. С момента появления первых сетей сотовой связи в России наблюдается устойчивый рост числа пользователей сотовой связи. Так, к концу первого квартала 2002 г. количество абонентов достигло 10 380 000 [4].

Сети персонального радиовызова (пейджинговые) развиваются на основе стандартов *POCSAG (Post Office Code Standardization Advisory Group)*, *ERMES (European Radio Message System)*. Так, в Москве действуют пять сетей персонального радиовызова емкостью 15 тыс. абонентов. В настоящее время наиболее популярны буквенно-цифровые пейджеры производства фирм *Motorola*, *Philips*, *Ericsson*. Более подробно сети подвижной радиотелефонной связи рассмотрены в главе 7.

Развитие и совершенствование существующих в Российской Федерации сетей связи обусловлены общемировой тенденцией к развитию средств и сетей телекоммуникаций в направлении цифровизации, интеграции видов электросвязи и предоставляемых услуг; созданию интегральных многофункциональных терминалов, средств коммутации; внедрению единых международных стандартов. В связи с этим в последние годы произошел постепенный переход от аналоговой к цифровой сети общего пользования, который предполагалось осуществить в три этапа:

1-й этап (1995–2005 гг.) предусматривал строительство трансроссийских магистральных линий связи (ВОЛС) с Запада на Восток (Москва – Хабаровск) и с Севера на Юг (Москва – Новороссийск), установку узлов автоматической коммутации и междугородных станций нового поколения, что позволило создать базу для перехода на цифровую сеть связи общего пользования (ЦСС ОП).

Цифровая сеть связи общего пользования – часть телефонной связи общего пользования, в которой одни и те же устройства цифровой коммутации и цифровые тракты используются одновременно для различных видов электросвязи (телефонии, передачи данных и др.). Практически это означает, что с введением единых протоколов взаимодействия сетей и систем, а также единой процедуры установления и разрушения соединений ликвидируются самостоятельные службы электросвязи для передачи (приема) речи, текста, данных и т. д.

2-й этап (до 2010 г.) предусматривал наращивание емкости ЦСС ОП, построение на ее базе узкополосной цифровой сети с интеграцией служб *ISDN (Integrated Services Digital Network)*.

3-й этап (после 2010 г.). Создание широкополосной цифровой сети с интеграцией служб *BSDN (Broadband Services Digital Network)*.

Таким образом, два последних этапа связаны с концепцией создания цифровой сети с интеграцией служб.

Цифровая сеть с интеграцией служб – сеть связи, обеспечивающая объединение большого числа речевых и неречевых служб в рамках единой сети.

В настоящее время различают узкополосную (У-ЦСИС) и широкополосную (Ш-ЦСИС) цифровую сеть с интеграцией служб.

Узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб (*N-ISDN*) обеспечивает передачу речи, низкоскоростную передачу данных и черно-белых изображений. В качестве базовой в интерфейсе «абонент–сеть» используется скорость 144 кбит/с (два информационных *B*-канала по 64 кбит/с каждый и один служебный *C*-канал 16 кбит/с). Примером такой сети может служить опытный район узкополосной цифровой сети *ISDN-98*, созданный в г. Москве в 1997 г.

Сравнительно небольшие скорости в *N-ISDN* оказались сдерживающим фактором при попытке интеграции таких служб, как передача неподвижных и особенно подвижных изображений с высокими показателями качества, например цветной видеофон, передача больших объемов данных с большими скоростями и др. Этим определяется переход от действующих *N-ISDN* к широкополосным *ISDN*.

Широкополосная цифровая сеть с интеграцией служб (*B-ISDN*) обеспечивает организацию различных служб электросвязи по высоко-

скоростным цифровым каналам связи (со скоростью 32 Мбит/с и выше) через стык «абонент – сеть» [5].

Наиболее важным с точки зрения технических средств при создании *B-ISDN* явилось введение асинхронного режима доставки (АРД) как основного транспортного механизма в *B-ISDN*, определяющего процессы выше физического уровня (при рассмотрении *B-ISDN* с точки зрения ЭМВОС).

Новая техника доставки АРД базируется на принципе асинхронного временного разделения ресурсов, при котором множество виртуальных соединений с различными скоростями передачи и характеристиками передаваемого сигнала асинхронно мультиплексируются (объединяются) в едином физическом канале связи. В качестве протокольной единицы в АРД используется короткий пакет фиксированной длины, включающий заголовок и информационное поле, который называется пакетом АРД.

Выбор АРД как основного режима доставки в *B-ISDN* означает фундаментальные изменения в принципах построения интегральных сетей. Примерно до конца 80-х гг. среди идеологов *B-ISDN* не было единой точки зрения на выбор транспортного механизма. Предполагалось, что основным режимом будет оставаться метод коммутации каналов (так же, как и в *N-ISDN*), в качестве которого предлагался синхронный режим передачи (СРП).

Однако недостатки СРП, заключающиеся в высоких требованиях к системе синхронизации и неэффективном использовании ресурсов при коммутации каналов, привели к необходимости введения АРД в *B-ISDN*. Асинхронный режим доставки – базовый, задающий принципы стандартизации цифровой иерархии скоростей передачи, механизмы мультиплексирования и коммутации, а также интерфейсы для широкополосных служб.

В состав структуры *ISDN* в общем случае входят две подсети: базовая (магистральная) и терминальная (абонентская) сети (рис. 5.3).

Базовая сеть включает в себя узлы автоматической коммутации и соединяющие их каналы связи, а также систему управления базовой сетью.

Терминальная сеть содержит терминалы, абонентские пункты, концентраторы, абонентские линии или каналы связи, которые соединяют терминалы с абонентскими пунктами и концентраторами, или терминалы, абонентские пункты и концентраторы – с узлами автоматической коммутации, а также систему управления терминальной сетью.

На базе цифровой сети с интеграцией служб планируется создать интеллектуальную сеть связи (ИСС), в которой не только осуществля-

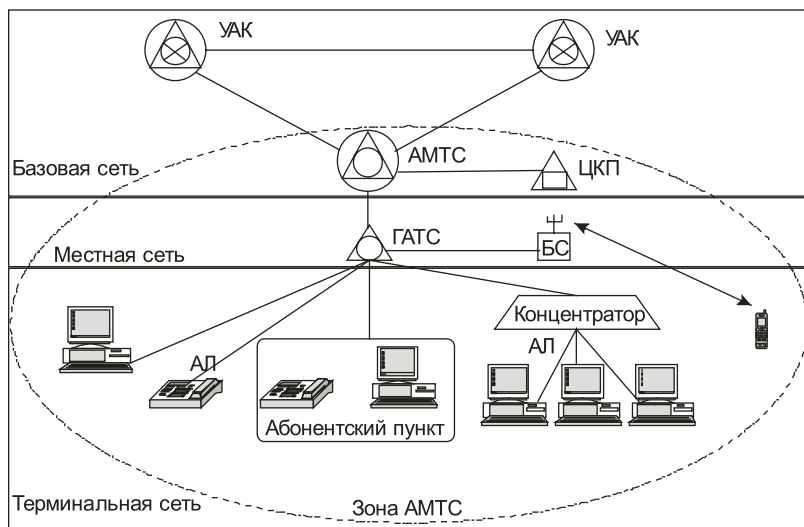


Рис. 5.3. Структура ISDN

ется передача сообщений, но и предоставляется разнообразный информационный сервис. ИСС предназначена для обеспечения быстрого и эффективного предоставления новых услуг связи путем создания механизмов и способов их спецификации, разработки, верификации и внедрения на новой технологической основе.

Интеллектуальная сеть связи наряду с традиционными компонентами (узлы коммутации; линии связи; подсистема эксплуатационно-технического обслуживания, планирующая и организующая профилактику и ремонт элементов сети связи; подсистема управления) содержит новые составляющие: сервисные центры, обеспечивающие предоставление услуг; одна либо несколько баз данных; сложная система сигнализации для осуществления скоростной коммутации сообщений (пакетов, данных).

Реализация ИСС осуществляется за счет того, что функции коммутации остаются в базовой коммутируемой сети, а функции логической обработки и предоставления услуг переносятся в надстройку, называемую платформой ИСС, которая представляет собой совокупность технических устройств и ЭВМ (баз данных).

Таким образом, сеть ТФОП объединяет в себе существующие и перспективные сети связи:

- существующую аналого-цифровую сеть связи общего пользования, включающую цифровую составляющую;

- цифровую сеть с интеграцией служб;
- широкополосную цифровую сеть с интеграцией служб;
- выделенную сеть связи «Искра»;
- интеллектуальную сеть связи.

5.1.2. Принципы построения телефонных сетей различного уровня

Принципы построения междугородной телефонной сети

В основу построения междугородной телефонной сети (рис. 5.4) положен принцип территориального деления, учитывающий:

- границы территорий и структуру магистральной первичной сети;
- административное деление территории;
- технико-экономические показатели.

Такая сеть разворачивается по иерархическому принципу и имеет два уровня иерархии: нижний, включающий зоновые АМТС; и верхний, состоящий из УАК I (УАК II, ОТС).

Страна делится на телефонные территории. На каждой территории создается узел автоматической коммутации или оконечнотранзитная станция (ОТС), выполняющая роль УАК, а также пучки телефонных

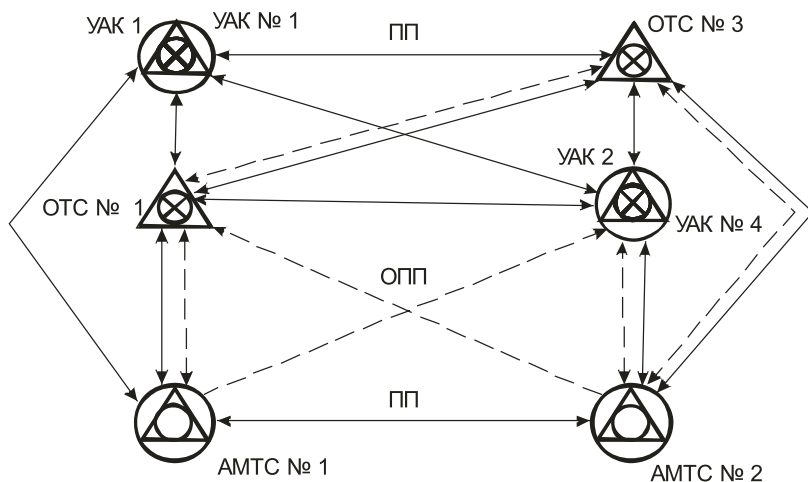


Рис. 5.4. Схема построения междугородной телефонной сети:
 ПП – прямой путь; ОП – обходной путь; ППВ – путь последнего выбора

каналов, связывающие УАК и ОТС между собой по принципу «каждый с каждым». На УАК и ОТС осуществляются транзитные соединения телефонных каналов. Телефонная территория имеет несколько зон нумерации, в каждой из которых устанавливается одна или несколько АМТС.

Зона нумерации – это часть территории сети, на которой все абоненты телефонной сети имеют единую семизначную нумерацию.

Каждая АМТС по исходящей и входящей связи должна опираться на два УАК (на УАК своей территории и УАК смежной территории).

Связь между АМТС может быть установлена напрямую либо через УАК (рис. 5.5), в зависимости от их удаленности.

Международная телефонная сеть строится с обходами, т. е. посредством организации между АМТС прямых путей на базе пучков каналов высокого использования (ПП).

Прямой путь телефонной сети (ПП) – пучок линий (каналов) телефонной сети для непосредственной связи между коммутационными станциями или узлами телефонной сети.

Избыточная нагрузка сбрасывается на обходные пути (промежуточные (ОПП) и последнего выбора (ППВ)) к УАК. Следует заметить, что путем последнего выбора является последний по счету канал в любом из пучков (ПП или ОПП).

Обходной промежуточный путь телефонной сети (ОПП) – обходной путь внутризоновой и междугородных телефонных сетей, не являющийся путем последнего выбора телефонной сети.

Путь последнего выбора (ППВ) – пучки линий (каналов) телефонной сети высокого качества обслуживания телефонных вызовов внутризоновой и междугородной телефонных сетей для организации пути последнего по выбору обходного пути [6].

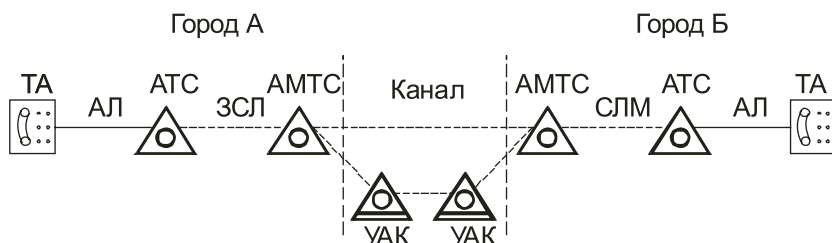


Рис. 5.5. Типовой маршрут связи между абонентами:
 СЛ – соединительная линия; ЗСЛ – заказно-соединительная линия;
 ЗЛМ – соединительная линия междугородной связи

Принципы построения внутризоновой телефонной сети

Во внутризоновой сети может быть установлена одна или несколько АМТС. Внутризоновая сеть с одной АМТС в зоне строится по радиальному принципу, т. е. каждая местная сеть включается в АМТС для исходящей связи по заказно-соединительной линии и для входящей связи по соединительной линии междугородной (СЛМ) (рис. 5.6).

Удаленные от АМТС оконечные (ОС), узловые (УС) или районные телефонные станции могут быть соединены последовательно через центральные телефонные станции (ЦС) либо транзитные узлы исходящих и входящих сообщений сельской пригородной сети (УСП).

При установке на местных сетях станций с программным управлением возможна организация прямых путей между различными мест-

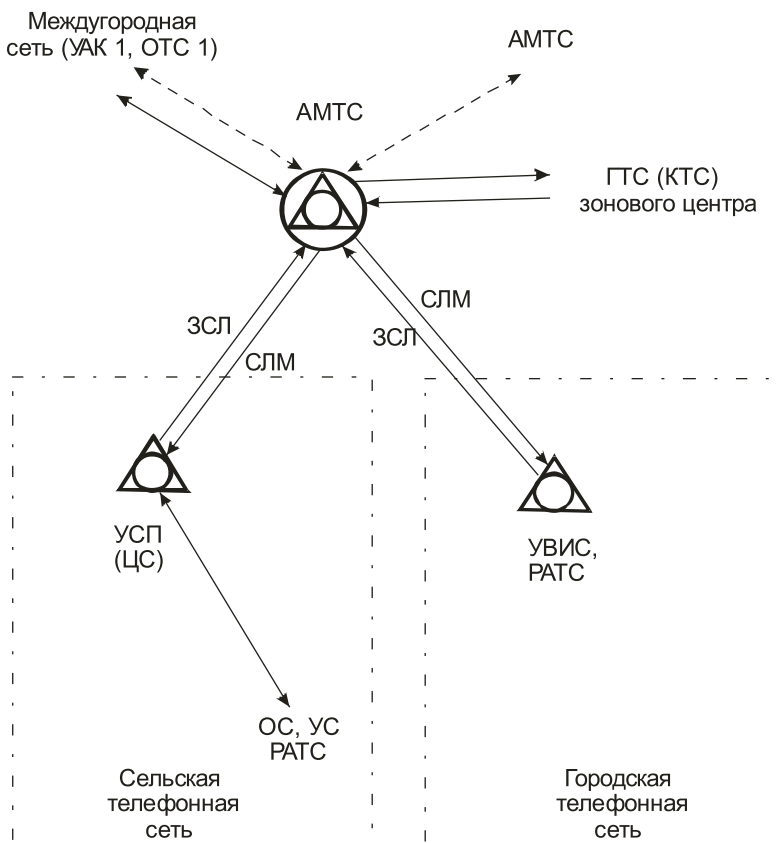


Рис. 5.6. Схема построения внутризоновой сети с одной АМТС в зоне (вариант)

ными сетями зоны, если между ними может быть организовано взаимодействие. В этом случае (а также при наличии нескольких АМТС) внутризональная сеть может строиться с обходами.

Если в зоне работает одновременно несколько АМТС, то они должны связываться между собой по принципу «каждая с каждой» пучками каналов высокого качества обслуживания

Принцип построения городских телефонных сетей

По обслуживаемой территории городские телефонные сети (ГТС) классифицируются следующим образом:

- нерайонированные;
- районированные без узлообразования;
- районированные с узлами входящих сообщений (УВС);
- районированные с узлами исходящих и входящих сообщений (с УИС и УВС).

Простейшей городской телефонной сетью является нерайонированная ГТС. На ней устанавливается одна телефонная станция, куда включаются все абонентские линии ГТС. Основная часть расходов при строительстве ГТС (свыше 60 %) приходится на линейные сооружения, поэтому их строят только в городах с небольшой территорией (на аналоговой ГТС – емкостью до 8 тыс. номеров, на цифровой – емкостью в несколько десятков тысяч номеров).

При увеличении числа абонентов ГТС строят по принципу районирования, т. е. территория города разбивается на ряд районов и в каждом из таких районов размещается АТС (РАТС). ГТС могут быть двух типов: районированная без узлообразования и районированная с узлами входящего сообщения. На районированной ГТС без узлообразования могут быть несколько районных АТС, которые соединяются друг с другом по принципу «каждая с каждой» с учетом обходных направлений (рис. 5.7).

При таком построении ГТС капитальные затраты на линейные сооружения существенно сокращаются за счет уменьшения протяженности абонентских линий, имеющих редкое использование (в среднем до 0,1 Эрл в час наивысшей нагрузки (ЧНН)), и введения соединительных линий с частым использованием (0,6–0,8 Эрл в ЧНН). Если исходить из стоимости станционных и линейных сооружений, то районированная структура аналоговой ГТС экономически целесообразна при емкости сети до 80 тыс. номеров, а цифровая – до нескольких сотен тысяч номеров. Оптимальная с экономической точки зрения емкость РАТС находится в пределах 6 000–10 000 номеров и, как правило, принимается равной 10 000 номеров при пяти-

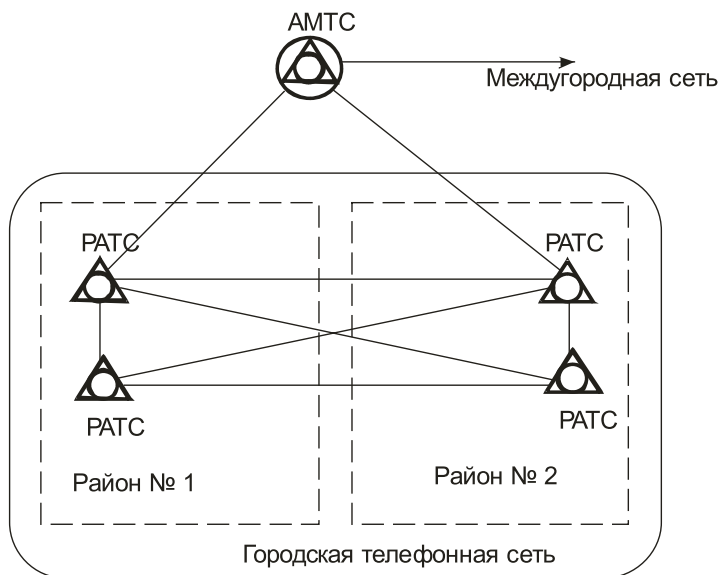


Рис. 5.7. Схема районированной ГТС без узлообразования (вариант)

значной нумерации. На ГТС при пятизначной нумерации количество ПАТС обычно не превышает 6.

При большом числе ПАТС связь по принципу «каждая с каждой» становится неэкономичной, так как в этом случае образуется большое число мелких пучков соединительных линий (СЛ). Нагрузка от одной АТС равномерно распределяется между СЛ. Возрастание нагрузки приводит к возможности увеличения емкости пучка соединительных линий, поэтому на крупных ГТС связь между ПАТС устанавливается не непосредственно друг с другом, а через узлы входящего сообщения при емкости ГТС до 400–500 тыс. номеров (рис. 5.8), при большей же емкости – через узлы исходящего и входящего сообщений (УИС – УВС) (рис. 5.9).

Территория города при этом делится на узловые районы. В каждом из них может быть установлено до 10 ПАТС, которые соединяются между собой непосредственно (по принципу «каждая с каждой») или через УВС. Для концентрации нагрузки каждая ПАТС также соединяется с УВС других узловых районов исходящими СЛ, а со своими УВС – входящими СЛ. Нумерация на таких сетях шестизначная, первая цифра является кодом узла, а первая и вторая цифры вместе – кодом ПАТС. Соединительный тракт на сети с УВС состоит из следую-

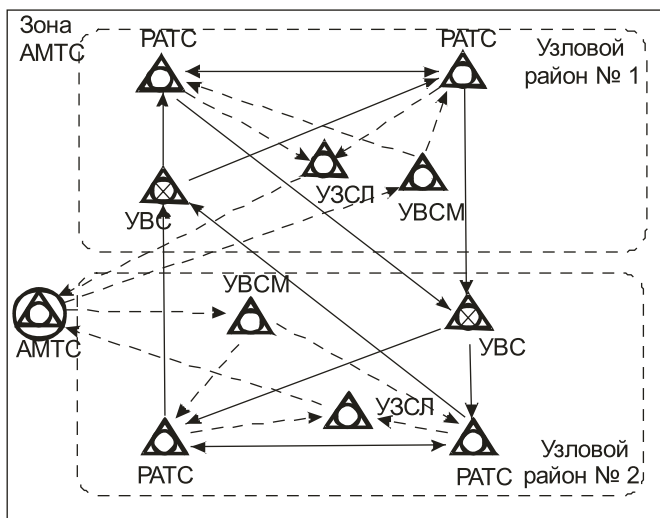


Рис. 5.8. Структура районированной ГТС с узлами входящих сообщений

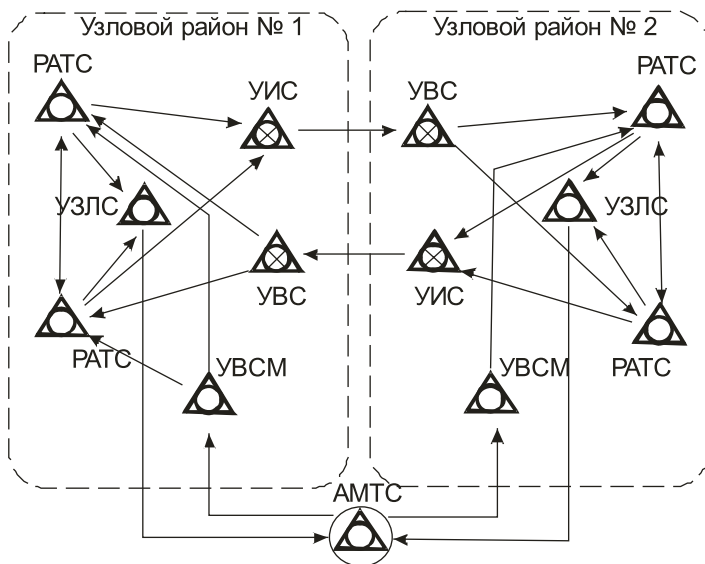


Рис. 5.9. Структура районированной ГТС с узлами исходящих и входящих сообщений (вариант)

щих семи участков: абонентская линия (АЛ) – РАТС – СЛ – УВС – СЛ – РАТС – АЛ.

Аналоговые районные ГТС с УВС могут иметь емкость до 800 тыс. номеров, а цифровые ГТС – до нескольких миллионов.

При наличии в узловом районе УИС и УВС связь РАТС своего узлового района выполняется по принципу «каждая с каждой», а с другими районами – через УИС и УВС.

При таком построении сети принята семизначная нумерация. Первая цифра номера определяет выход к соответствующей зоне – миллионной группе абонентов, вторая – выход к узловому району выбранной миллионной группы, а третья – выход к РАТС. Соответственно каждая РАТС в такой сети имеет трехзначный код. Соединительный тракт в сети с УВС и УИС содержит 8 участков: АК – РАТС – СЛ – УИС – СЛ – УВС – СЛ – РАТС – АЛ.

Районированные ГТС с узлами исходящих и входящих сообщений обычно имеют несколько десятков узловых районов.

Таким образом, районировать телефонную сеть можно многими способами, задаваясь разным числом телефонных районов и различной емкостью РАТС. Задача районирования заключается в нахождении оптимального варианта, при котором суммарные затраты на сооружение абонентских линий, соединительных линий межстанционной связи, станционных сооружений и зданий РАТС, отнесенные к одному номеру абонентской емкости телефонной сети, будут минимальными:

$$K = K_{ал} + K_{сл} + K_{ст} + K_{зд}. \quad (5.1)$$

Вариант сети связи, в которой выполняется это условие, можно считать оптимальным.

Для установления закономерностей, позволяющих оценить тот или иной вариант районирования сети, рассмотрим идеализированную модель ГТС, для которой примем ряд допущений.

1. Будем считать, что плотность распределения абонентов по территории города, т. е. число телефонных аппаратов, приходящихся на 1 гектар площади, одинаково:

$$\delta = N/S, \quad (5.2)$$

где N – емкость телефонной сети; S – площадь, занимаемая городской застройкой, га.

2. Территория города и выделенные на ней равные по площади телефонные районы имеют прямоугольную форму.

3. Районные АТС связываются друг с другом соединительными линиями по схеме «каждая с каждой». При наличии в сети n районных АТС число пучков СЛ определяется выражением

$$\rho = n \cdot (n - 1). \quad (5.3)$$

4. Нагрузка, создаваемая каждым абонентом сети, одинакова и равна y . Общая исходящая нагрузка, создаваемая каждой станцией и равная $y \cdot m$, где m – емкость РАТС, распределяется между всеми станциями поровну. Следовательно, нагрузка, поступающая на каждый пучок СЛ, составляет

$$Y = \frac{y \cdot m}{n}. \quad (5.4)$$

5. Все станции оборудованы коммутационными устройствами, позволяющими иметь одинаковую доступность на всех направлениях СЛ, число которых рассчитывается при одних и тех же потерях по формуле

$$v = \alpha \cdot y + \beta. \quad (5.5)$$

6. В сети используются одинаковые по стоимости кабели. Определим теперь затраты на сеть абонентских линий, отнесенные к одному номеру емкости телефонной сети, по формуле

$$K = \bar{l}_{\text{АЛ}} \cdot C_{\text{АЛ}}, \quad (5.6)$$

где $\bar{l}_{\text{АЛ}}$ – средняя длина абонентских линий; $C_{\text{АЛ}}$ – стоимость одного километра пары кабеля абонентской линии.

Из формулы видно, что затраты на сеть абонентских линий прямо пропорциональны их средней длине. На рис. 5.10 кривая 1 представляет зависимость затрат на абонентской линии от емкости АТС (с увеличением емкости АТС увеличивается $\bar{l}_{\text{АЛ}}$, а следовательно, и $K_{\text{АЛ}}$).

Затраты на соединительные линии (СЛ) между РАТС, отнесенные к одному номеру емкости сети, могут быть определены по формуле

$$K_{\text{СЛ}} = \frac{1}{N} \cdot V \cdot (\bar{l}_{\text{СЛ}} \cdot C_{\text{СЛ}} + B), \quad (5.7)$$

где V – общее число соединительных линий по всем направлениям межстанционной связи; $\bar{l}_{\text{СЛ}}$, $C_{\text{СЛ}}$ – средняя длина и стоимость одного километра пары кабеля соединительных линий соответственно; B – сто-

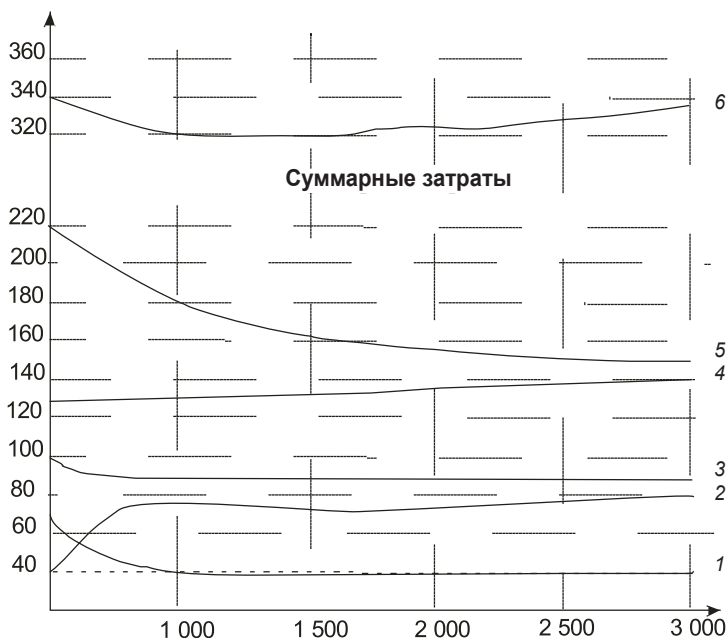


Рис. 5.10. Зависимость величины капитальных затрат на один номер от емкости автоматических телефонных станций.

Затраты: 1 – на сооружение абонентских линий; 2 – на сооружение абонентских линий; 3 – на монтаж стационарного оборудования АТС; 4 – на строительство зданий АТС; 5 – суммарные затраты; 6 – на монтаж станционного оборудования АТСЭ

имость релейных комплектов соединительных линий и коммутационного оборудования, отнесенная к одной соединительной линии.

Общее число соединительных линий между РАТС может быть определено по формуле

$$V = p \cdot v = n \cdot (n - 1) \cdot (\alpha \cdot Y + \beta). \quad (5.8)$$

Поскольку нам важно выяснить характер зависимости $K_{\text{сл}}$ от емкости РАТС и плотности телефонных аппаратов δ , для упрощения расчетов можно пренебречь величиной δ . Погрешность, которая при этом вносится, невелика: для сети, построенной по схеме «каждая с каждой» с емкостью $N = 80\,000$ и $\delta = 20$, разница в стоимости $K_{\text{сл}}$ на один номер не превосходит 2 %. Имея это в виду, можно принять

$$V = n \cdot (n - 1) \cdot \alpha \frac{y \cdot m}{n}. \quad (5.9)$$

Средняя длина соединительных линий между РАТС при условии их равномерного распределения по территории сети и прокладки кабеля по ортогональным (прямоугольным) трассам может быть представлена выражением

$$\bar{l}_{\text{сл}} = \frac{A + H}{3}, \quad (5.10)$$

где A и H – стороны прямоугольника площади S рассматриваемой сети. Для территории сети, близкой по конфигурации к квадрату,

$$\bar{l}_{\text{сл}} = \frac{2}{3}\sqrt{S}. \quad (5.11)$$

В результате имеем

$$K_{\text{сл}} = n \cdot (n - 1) \cdot \alpha \frac{y \cdot m}{n} \cdot \left(\frac{2}{3}\sqrt{S} \cdot C_{\text{сл}} + B \right). \quad (5.12)$$

Заменяя n на N/n , получим

$$K_{\text{сл}} = \frac{1}{N}(N - m) \cdot \alpha \cdot y \cdot \left(\frac{2}{3}\sqrt{N/\delta} \cdot C_{\text{сл}} + B \right). \quad (5.13)$$

Анализируя это выражение, мы видим, что с увеличением емкости РАТС (m) при той же плотности затраты на соединительные линии уменьшаются. В пределе при $m = N$ затраты на соединительные линии равны нулю, т. е. приходим к варианту организации нерайонированной сети. Увеличение плотности также снижает затраты на соединительные линии.

Затраты на станционное оборудование, отнесенные к одному номеру сети $K_{\text{сл}}$, можно представить как сумму $A + B/m$, где A – затраты, объем которых пропорционален абонентской емкости станции (следовательно, и возникающей на станции нагрузке); B – затраты на общестанционные устройства, стоимость которых не зависит ни от емкости РАТС, ни от нагрузки. На рис. 5.10 кривая 6 показывает изменение $K_{\text{сл}}$ в зависимости от емкости станций [2].

Затраты на строительство гражданских сооружений (здания АТС) на один номер убывают с увеличением емкости АТС. При разработке генеральных схем развития городских телефонных сетей считают, что с увеличением емкости АТС с 10 000 до 30 000 номеров затраты на строительство зданий, отнесенных к одному номеру, уменьшаются в 2 раза (рис. 5.10, кривая 4).

Суммируя все виды затрат, можно прийти к заключению (рис. 5.10, кривая 5), что при некоторых значениях емкости районных АТС затраты, отнесенные к одному номеру емкости сети, рассчитанные для идеализированной модели сети, становятся минимальными, а емкости, лежа-

щие вблизи этих значений, можно считать оптимальными емкостями районных АТС для заданных условий.

При построении ГТС часто возникает необходимость телефонизации компактно расположенных групп абонентов, удаленных на сравнительно большое расстояние от АТС. В целях уменьшения затрат на строительство абонентских линий (АЛ) в этом случае оказывается целесообразным «вынести» ступень абонентского искания за пределы РАТС. Такое «вынесенное» станционное оборудование называют подстанцией (ПС), причем число СЛ между ПС и опорной АТС сравнительно мало. Так, если емкость ПС составляет 1 000 абонентских линий, то при потерях сообщения 0,005 достаточно 140–160 СЛ между ПС и опорной АТС. В настоящее время выпускаются подстанции ПСК-1 000 и ПСК-100 емкостью на 1 000 и 100 номеров соответственно. Затраты на абонентские линии могут быть сокращены при использовании спаренного включения телефонных аппаратов с помощью несложных приставок, но такая схема уменьшает удобство пользования телефонными аппаратами. Более перспективным является применение аппаратуры высокочастотного уплотнения (АВУ), когда используется один канал низкочастотный, а второй – высокочастотный и требуется абонентская линия с затуханием, не превышающим 4,3 дБ.

Внедрение цифровых АТС может осуществляться методом «наложенной» сети с соблюдением следующих правил:

- все связи между цифровыми АТС должны осуществляться только через цифровые АТС и узлы;
- при связи между цифровыми АТС должны использоваться линейные тракты цифровых систем передачи, удовлетворяющие рекомендациям МСЭ при согласовании интерфейсов;
- вновь вводимые цифровые АТС должны включаться только в «наложенную» сеть;
- связь между цифровыми и аналоговыми АТС должна осуществляться по линейным трактам цифровых систем передачи, с применением аналого-цифрового преобразователя и обеспечением согласования систем сигнализации на стороне аналоговых АТС;
- цифровые станции и узлы могут размещаться на одной территории или даже в одних зданиях с аналоговыми АТС и узлами.

Для связи аналоговых АТС с цифровыми в цифровых узловых районах должны устанавливаться цифровые узлы входящих сообщений (УВСЭ) (рис. 5.11). Оборудование современных цифровых станций позволяет одновременно выполнять функции узлов входящих и исходящих сообщений, а также узлов обходных связей. Такой узел на рис. 5.11 обозначен как УИВСЭ. Аналоговые АТС должны соединяться с УИВСЭ

только системами передачи, работающими в режиме импульсно-кодовой модуляции (ИКМ).

Примеры цифровых телефонных сетей, наложенных на существующие аналоговые сети с УВС и УИВС, представлены на рис. 5.11 и 5.12 соответственно. Они охватывают один или несколько цифровых узловых районов.

Сельские телефонные сети имеют ряд особенностей, которые в значительной степени определяют принципы их построения. Как пра-

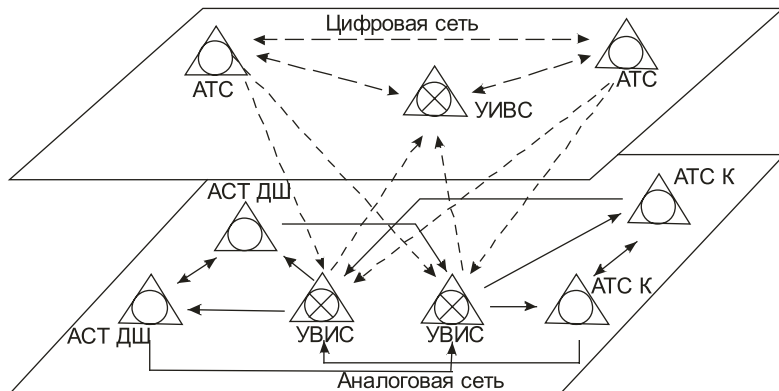


Рис. 5.11. Структура аналого-цифровой сети с узлами входящих сообщений: штриховой линией обозначены системы передачи с ИКМ, сплошной линией – системы передачи с ЧРК и физические линии; АТС ДШ – декадно-шаговая автоматическая телефонная станция; АТС КУ – координатная автоматическая телефонная станция

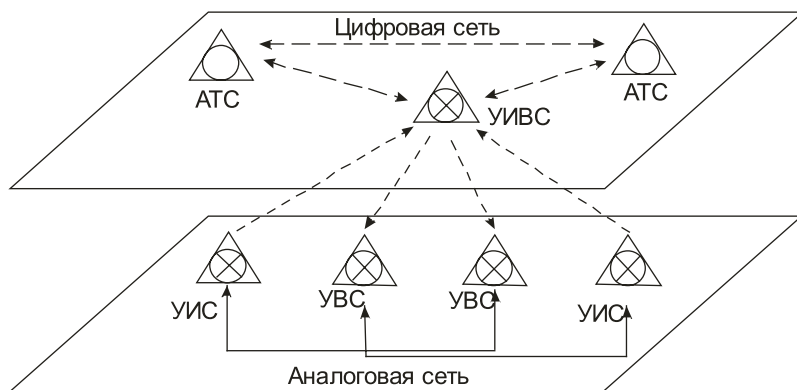


Рис. 5.12. Структура аналого-цифровой сети с узлами исходящих и входящих сообщений (фрагмент)

вило, они охватывают значительные территории, на которых абоненты размещаются небольшими группами на большом расстоянии друг от друга. Это обуславливает применение АТС малой емкости (от нескольких десятков до нескольких сотен номеров) и использование мелких пучков межстанционных линий большой протяженности.

С целью удешевления линейных сооружений на СТС применяются следующие меры:

- производится рациональное размещение АТС для создания условий объединения потоков телефонных сообщений и укрупнения потоков межстанционных линий;
- допускается повышение нормы потерь телефонных сообщений по сравнению с нормами, принятыми на ГТС;
- применяются межстанционные линии двустороннего действия и системы частотного и временного уплотнения соединительных линий;
- больше, чем на городских сетях, используется спаренное включение телефонных аппаратов.

АТС малой емкости делают необслуживаемыми, а АТС средней емкости – частично обслуживаемыми, что требует использования более надежной элементной базы, применения пылезащитных шкафов, возможности использования больших колебаний питающих напряжений, наличия дистанционной сигнализации о повреждениях.

Принципы построения сельских телефонных сетей

Сельские телефонные сети характеризуются большим территориальным разномом элементов из-за низкой плотности населения, что определяет особенности их построения и обеспечения абонентов услугами. Они строятся по радиальному и радиально-узловому принципам с центральной станцией в районном центре (одно- и двухступенчатая схемы). При этом возможно использование прямых и обходных путей. ЦС является главным коммутационным узлом СТС и одновременно выполняет функции городской телефонной станции райцентра (рис. 5.13).

В населенных пунктах района устанавливаются оконечные станции, которые включаются непосредственно в ЦС. Такая схема построения сети называется одноступенчатой (рис. 5.14).

Еще более экономичным, с точки зрения лучшего использования линейных сооружений, является двухступенчатое построение сельской телефонной сети. Оконечные станции при этом включаются в ЦС через узловые станции, которые, как правило, устанавливаются в сравнительно крупных сельских населенных пунктах и наряду с функциями

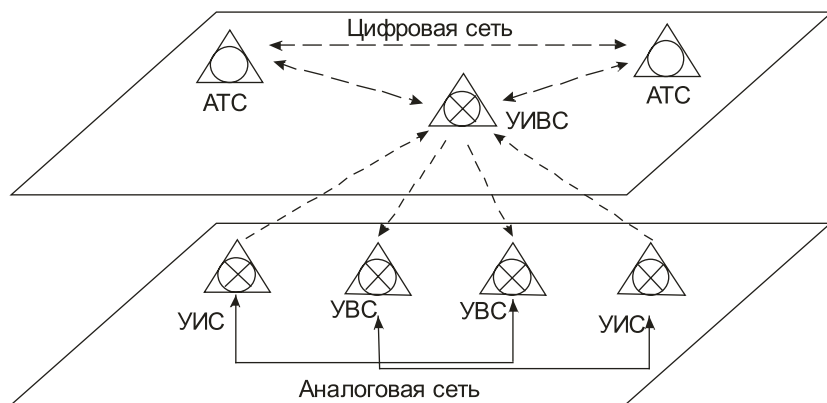


Рис. 5.13. Структура сельской телефонной сети

по организации транзитной связи между ОС и ЦС выполняют функции телефонной станции для абонентов своего населенного пункта.

При такой схеме построения СТС возможна и непосредственная связь ОС и ЦС. Центральная станция СТС связывается по заказно-соединительным и соединительным линиям с междугородной телефонной станцией. Абонентам СТС предоставляется междугородная связь только через ЦС по одному из трех маршрутов: ЦС – МТС, ОС – ЦС – МТС или ОС – УС – ЦС – МТС. Однако двуступенчатое построение сети имеет и свои недостатки:

- вносит дополнительное затухание в разговорный тракт;
- увеличивает время установления соединения;
- усложняет и увеличивает объем оборудования сельской АТС;
- вносит дополнительные потери в сообщения;
- приводит к усложнению системы нумерации;
- уменьшает показатели надежности.

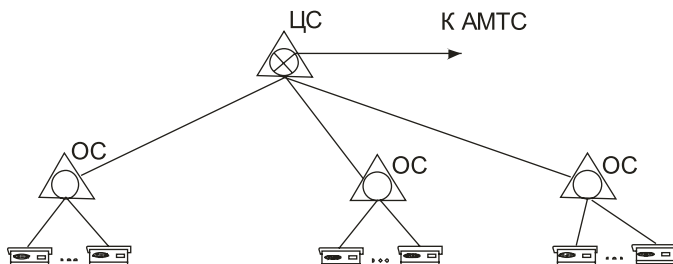


Рис. 5.14. Структура одноступенчатой сети

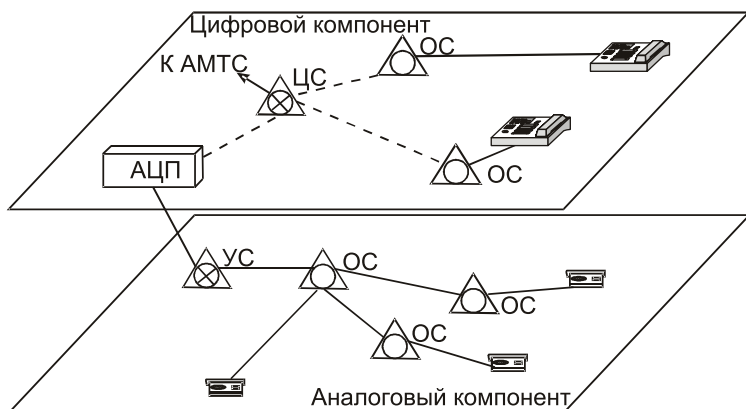


Рис. 5.15. Включение цифровых станций на сельских телефонных сетях при переводе центральной аналоговой станции в ранг узловой:
АЦП – аналого-цифровой преобразователь; УС-А, ОС-А – аналоговые УС и ОС;
ЦС-Э, ОС-Э – цифровые УС и ОС

Создание на СТС наложенной цифровой сети начинается с установки новой цифровой ЦС. Аналоговая ЦС переводится в ранг узловой, существующие УС – в ранг ОС (рис. 5.15).

Принципы построения комбинированных телефонных сетей

При построении комбинированных телефонных сетей (КТС) на ГТС должна предусматриваться организация ЦС или транзитного узла исходящего и входящего сообщений сельско-пригородной связи (УСП), через который осуществляется связь как между станциями СТС, так и станций СТС со станциями ГТС. Кроме того, через УСП (ЦС) должна обеспечиваться исходящая и входящая междугородная связь абонентов станций СТС и в некоторых случаях абонентов ГТС, когда АМТС расположена в другом городе.

Возможны два принципа построения КТС:

1. Если город имеет районированную сеть без узлообразования, а суммарная емкость КТС насчитывает менее 80 000 номеров, то в этой сети могут быть организованы УСП или ЦС, в которые включаются сельские АТС. Городские районные АТС (РАТС) и УСП (ЦС) связываются друг с другом по принципу «каждая с каждой».

2. Если город имеет районированную сеть с узлообразованием, то на ГТС следует организовать УСП, который включается в ГТС в качестве узла исходящего и входящего местного и международного сообщений стотысячного узлового района.



5.2. Типовые каналы и сетевые тракты телефонной сети

Исходя из изложенного материала, можно утверждать, что система связи (в том числе и телефонной) есть совокупность сетей связи, подсистем (сетей) обеспечения и управления.

В свою очередь сети связи можно подразделить на первичную и вторичные. Первичная сеть связи (она может быть либо аналоговой, либо цифровой, либо смешанной) предназначена для образования типовых каналов передачи и сетевых трактов. Вторичные сети связи (телефонные, телеграфные, факсимильные и т. д.) выполняют задачи по образованию каналов связи.

Для понимания теоретических основ построения сети необходимо дать определения таким понятиям, которые во многом объясняют возникновение и развитие элементов сети. К ним в первую очередь относятся направления связи и информационные направления (рис. 5.16).

Под информационным направлением будем понимать часть сети связи, обеспечивающей передачу информации между двумя пунктами управления. Данное понятие включает в себя элементы не только сети связи, но и системы, которой связь предоставлена (например пункты и органы управления). Часто информационные направления обозначаются исходя из названий населенных пунктов, в которых размещены или проживают пользователи (например информационное направление «Москва – Владивосток»).

Под направлением связи понимают часть сети связи, представляющую собой совокупность линий связи между узлами связи двух пунктов управления.

Направление связи включает в себя линии связи, которые, в свою очередь, имеют одну либо несколько линий передачи, образующих каналы передачи.

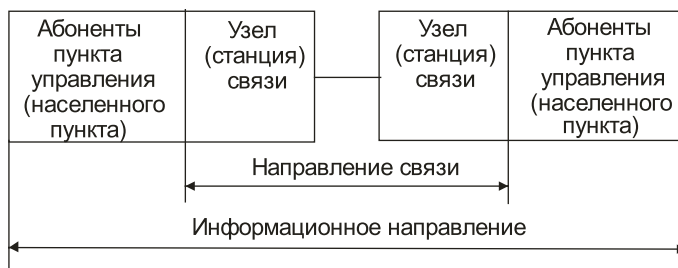


Рис. 5.16. Направление связи и информационное направление

Поскольку телефонные каналы связи основываются на каналах передачи и сетевых трактах, то уместно рассмотреть принципы нормирования и основные параметры каналов передачи и сетевых трактов. Прежде чем перейти к принципам нормирования, приведем сначала основные понятия и определения.

5.2.1. Основные понятия и определения

Сообщение от телефонного аппарата (ТА) абонента до ТА корреспондента проходит целый ряд технических устройств, входящих в состав канала электросвязи, который включает канал вторичной сети, базирующийся на канале передачи.

Рассмотрим элементы канала электросвязи более подробно. Из представленного в гл. 3 материала известно, что основой для вторичных сетей (непосредственно предоставляющих сообщение абонентам) является первичная сеть. Доставка сообщения от источника к получателю с использованием первичной сети ЕСЭ России осуществляется с помощью канала передачи – комплекса технических средств и среды распространения, обеспечивающих передачу сигнала электросвязи в полосе частот или со скоростью передачи, характерными для данного канала передачи между сетевыми узлами (станциями) [1, 2] (рис. 5.17).

Формирование каналов передачи осуществляется в системе передачи (аналоговой или цифровой). В зависимости от метода передачи сигналов электросвязи канал передачи называют аналоговым, цифровым или смешанным. Смешанный канал передачи – канал, в котором на

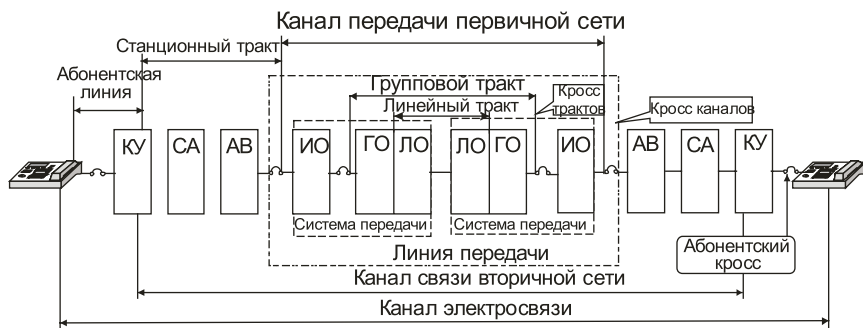


Рис. 5.17. Структура каналов (трактов) первичной и вторичной сети:

КУ – коммутационное устройство; СА – специальная аппаратура;

АВ – аппаратура вызова; ИО – индивидуальное оборудование;

ГО – групповое оборудование; ЛО – линейное оборудование

каждом его участке используется либо аналоговый, либо цифровой метод передачи сигналов электросвязи. Кроме того, различают простой и составной каналы.

Простой канал – канал передачи, либо не имеющий транзитов в полосе частот, либо работающий с постоянной скоростью передачи сигналов [2]. Другими словами, простой канал в своем составе имеет индивидуальное оборудование только на входе и выходе.

Транзит каналов передачи (трактов) – соединение одноименных каналов передачи (трактов), обеспечивающее прохождение сигналов электросвязи без изменения полосы частот или скорости передачи.

Составной канал – это канал передачи либо с транзитами в полосе частот, либо работающий с постоянной скоростью передачи сигналов [3].

Каналы передачи объединяются в групповые тракты: первичная группа (ПГ) – 12 каналов ТЧ, вторичная группа (ВГ) – 5 ПГ емкостью 60 каналов и т. д.

Групповой тракт – это комплекс технических средств системы передачи ЕСЭ России, характерных для данного группового тракта, предназначенный для передачи сигналов электросвязи нормализованного числа каналов тональной частоты или основных цифровых каналов ЕСЭ России в полосе частот или со скоростью передачи [5].

Следует отметить, что количество объединяемых в групповые тракты каналов современных АСП (ЦСП) может достигать нескольких сотен (ИКМ-120, К-300) и даже тысяч (К-1920, ИКМ-1920, К-3600), при этом тракт может передавать широкополосные сигналы других видов связи, но в названии систем передачи остаются цифры, обозначающие возможность передачи именно телефонных сигналов.

Для передачи групповых трактов создается линейный тракт.

Линейный тракт – это комплекс технических средств системы передачи, обеспечивающий передачу сигналов электросвязи в полосе частот или со скоростью, соответствующей данной системе передачи.

Определенный выше комплекс технических средств передачи сообщений объединен общим понятием «линия передачи» (кабельная, волноводная, световодная, коротковолновой связи с использованием отражения от ионосферы, ультракоротковолновой связи ионосферного и тропосферного рассеяния, метеорной связи, космической связи и др.).

Линия передачи – совокупность физических цепей и (или) линейных трактов систем передачи ЕСЭ России, имеющих общие линейные сооружения, устройства их обслуживания и одну и ту же среду распространения в пределах действия устройств обслуживания [2].

Необходимо отметить, что основой общегосударственной первичной сети связи являются сетевые тракты, которые организуются между

сетевыми станциями (узлами) и непосредственно используются на этих станциях или предоставляются во вторичные сети.

Сетевой тракт представляет собой типовой групповой тракт (или несколько последовательно соединенных типовых групповых трактов) с включенной на его входе и выходе аппаратурой образования тракта [2], обеспечивающей возможность предоставления его вторичным сетям, и служит для образования групповых трактов меньшей канальной емкости, широкополосных каналов и каналов ТЧ (рис. 5.18).

Сетевой тракт может быть получен за счет как аналоговых, так и цифровых систем передачи. Организация сетевых трактов первичной сети ЕСЭ России из групповых трактов достигается путем подключения специального оконечного оборудования (комплектов образования трактов КОТ). В передающей части КОТ предусматриваются развязывающие устройства для ввода в сетевой тракт сигнала контрольной частоты (КЧ), а на приеме – для подключения измерительных приборов.

В сетевых узлах сетевые тракты создаются тремя способами.

Первый способ связан с использованием типового преобразовательного оборудования. При этом тракт высокого порядка разделяется

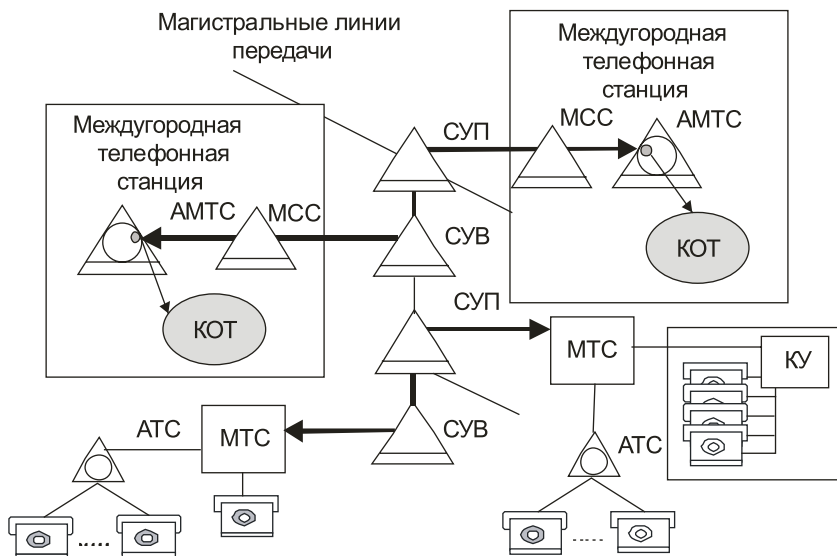


Рис. 5.18. Образование сетевых трактов для телефонной сети связи:

МТС – междугородная телефонная станция; МСС – магистральная сетевая станция;

СУП – сетевой узел переключения; СУВ – сетевой узел выделения;

КОТ – комплекты образования тракта; АТС – автоматическая телефонная станция;

АМТС – автоматическая междугородная телефонная станция;

КУ – коммутационное устройство; ЦПП – центральный переговорный пункт

на тракты более низкого порядка, часть из которых и предоставляется потребителю, а остальные включаются в транзитное оборудование станции для дальнейшей передачи по сети. Такой способ эффективен лишь при организации достаточно большого числа трактов, так как требует установки на станции дополнительного оборудования преобразования и получения несущих частот, образования транзита, а также оборудования для организации тракта более высокого порядка, который будет оканчиваться на станции.

Второй способ основан на том, что сетевой тракт любого вида может быть получен с помощью аппаратуры выделения линейных трактов. Чаще всего этот способ используется на ОУП при выделении вторичных групповых трактов из линейного тракта распределительной системы передачи (К-300р) без потерь спектра.

Третий способ заключается в получении сетевых трактов с помощью аппаратуры выделения из трактов высшего порядка и осуществляется путем полосовой фильтрации части спектра, передаваемого в тракте высокого порядка магистральной линии передачи. Данный способ используется на узлах, где потребность в каналах и трактах небольшая.

Согласно [2] различают простые и составные сетевые тракты.

Простой сетевой тракт – сетевой тракт, не имеющий транзитов того же наименования, что и основной [2]. Другими словами, сетевой тракт, образованный между соседними узлами (станциями), называется простым.

Составной сетевой тракт – сетевой тракт, проходящий через узел (станцию) с транзитами того же наименования, что и основной [1].

В первичной сети в составном тракте конкретного порядка максимальное число транзитов того же порядка не должно превышать 19: в магистральной сети – 17, во внутризоновых – двух. Следует отметить, что в местных первичных сетях аналоговые сетевые тракты не создаются.

Сетевые тракты могут предоставляться непосредственно потребителям только при условии наличия у них типового каналаобразующего оборудования. В общем случае потребителю предоставляются широкополосные каналы (ШК), образованные на базе соответствующих сетевых трактов.

Широкополосный канал – типовой канал передачи, формируемый на базе сетевого тракта при помощи аппаратуры формирования, включенной на его входе и выходе [2].

Такой канал в зависимости от сетевого тракта, образующего его, называют первичным, вторичным или третичным ШК. Применяется он для передачи газетных полос, звукового вещания, сигналов телеуправления, телесигнализации и др.

Таким образом, каналы передачи и сетевые тракты, являясь составными частями первичной сети, предоставляются вторичным сетям (в том числе и сетям телефонной связи) для образования каналов связи.

Канал связи вторичной сети – совокупность линейных и станционных устройств, необходимых для последовательной передачи сообщений, содержащих информацию данного вида, из одного пункта в другой. Под каналом связи также можно понимать совокупность линейных, каналообразующих, коммутационных и специальных средств связи, соединенных последовательно и обеспечивающих при подключении к ним оконечных устройств передачу сообщений между двумя корреспондентами (абонентами).

При организации связи между абонентами канал связи может закрепляться за парой абонентов либо предоставляться только на время переговоров между ними. Первый вариант применения канала связи малоэффективен и в сетях связи общего пользования практически не используется, при реализации же второго ставится коммутационное устройство, позволяющее коммутировать его на различные ТА. На вторичных сетях ЕСЭ России применяются АТС (АМТС).

Таким образом, канал вторичной сети – это часть канала электро-связи между точками коммутации или переключениями узлов и станций вторичной сети [1].

Следует отметить, что в реальных условиях рабочее место абонента может располагаться на значительном расстоянии (от нескольких метров до нескольких километров) от коммутационного устройства (АТС), и для подключения к АТС оконечных устройств применяются абонентские линии, которые от ТА прокладываются на абонентский кросс, обеспечивающий жесткое соответствие телефонного номера обслуживаемому абоненту. Чтобы осуществить требуемое соединение, на коммутационный узел от вызывающего оконечного устройства должна поступить информация о номере корреспондента, называемая адресной информацией, а из коммутационного узла в оконечные устройства посылаются сигналы для оповещения объектов о различных состояниях процесса установления соединения (сигналы ответа станции, посылки вызова, занятости и т. д.).

Таким образом, от точек коммутации канала связи вторичной сети до телефонного аппарата функционирует ряд технических устройств, которые входят в состав канала электросвязи.

Канал электросвязи – путь прохождения сигналов электросвязи, образованный последовательно соединенными каналами и линиями вторичной сети ЕСЭ России с помощью станций и узлов вторичной сети ЕСЭ России, который обеспечивает при подключении оконечных

устройств вторичной сети передачу сообщения от источника к получателю [2].

Таким образом, в ходе рассмотрения элементов, составляющих канал электросвязи, были уточнены основные понятия, термины и определения, применяемые в телефонных сетях связи. На основании изложенного можно сделать вывод, что качество канала электросвязи во многом зависит от степени соответствия каналов и трактов нормам.

5.2.2. Принципы нормирования каналов и сетевых трактов телефонной сети

В настоящее время нормирование электрических параметров каналов и трактов осуществляется в соответствии со следующими принципами.

1. Каналы и тракты образуются в первичных сетях посредством совместного использования различных средств связи (проводных, радиорелейных, тропосферных и т. д.). В соответствии с этим принципом нормы должны устанавливаться на канал (тракт) первичной сети и на их основе должны выбираться нормы на каналы данной системы передачи. Нормы на параметры проводных, радиорелейных, тропосферных и других средств связи должны быть едиными, но вместе с тем учитывать особенности системы передачи, в частности мощность шумов и стабильность остаточного затухания.

Одним из важнейших показателей, определяющих качество связи в аналоговых каналах передачи, является защищенность от помех.

Помеха – постороннее электрическое колебание, мешающее приему передаваемых сигналов.

Помехи, имеющие равномерный и непрерывный энергетический спектр, принято называть шумами. В каналах помехи и шумы возникают за счет собственных шумов усилителей, шумов и помех нелинейного происхождения, переходных влияний между физическими цепями и по другим причинам.

Мешающее действие шума оценивается величиной мощности или напряжения шума, отнесенной к точке с определенным значением относительного уровня сигнала, чаще всего к точке с относительным нулевым уровнем. Такой подход позволяет освободиться от необходимости учитывать изменения уровня полезного сигнала во времени.

Оценка шума и помех зависит от вида передаваемой информации. Для телефонной связи используется психофотметрическая мощность, или психофотметрическое напряжение.

Псофометрическое напряжение – это действующее напряжение шума на выходе канала с учетом чувствительности уха и телефона. Измеряется оно специальным прибором – псофометром, который представляет собой вольтметр с включенным на его входе специальным фильтром, учитывающим особенности человеческого слуха.

Интегральным уровнем шума называется действующее напряжение на выходе канала связи, измеренное строго в полосе частот этого канала. Напряжение измеряется вольтметром, на вход которого включается полосовой фильтр с полосой пропускания 0,3–3,4 кГц. Связь интегрального и псофометрического напряжения определяется по формуле

$$U_{\text{инт}} = \frac{U_{\text{псоф}}}{0,75}. \quad (5.14)$$

Шумы в канале зависят от структуры канала и его протяженности. Для реальной линии связи они определяются по формуле

$$P_{\text{ш}} = 3 \cdot L + 500 \cdot (n + 1) + 333 \cdot m \text{ (пВт} \cdot \text{О)}, \quad (5.15)$$

где n – число транзитов по ТЧ; m – число транзитов по групповому тракту; L – протяженность телефонного канала; 3 – значение мощности шумов линейного тракта протяженностью 1 км (пВт·О); 500 – шумы двух оконечных станций (пВт·О); 333 – значение мощности шумов на преобразовательном оборудовании при транзите на высокой частоте (пВт·О).

Основной параметр, определяющий качество связи по цифровым телефонным каналам, – вероятность ошибки, которая при передаче цифрового сигнала между двумя оконечными устройствами (абонентами) не должна превышать 10^{-6} .

2. Конкретное предназначение каждого канала заранее известно, но может изменяться, поэтому необходимо, чтобы во вторичных сетях канал обеспечивал любой из предусмотренных видов связи. Следовательно, перечень параметров канала и норм на каждый из них должен устанавливаться и обеспечиваться с учетом всех предусмотренных видов связи.

3. Первичные сети имеют иерархическую структуру, поэтому нормы на электрические параметры данной сети должны устанавливаться в соответствии с рангом сети, ее принадлежностью, структурой, со степенью совместимости со старшими и младшими сетями.

4. Каналы и тракты должны обеспечивать выход внутригосударственной первичной сети на международную сеть, для чего при разработке норм должны быть учтены рекомендации МСЭ-Т.

5. Каналы и тракты первичной сети должны быть оптимально загружены (см. гл. 1).

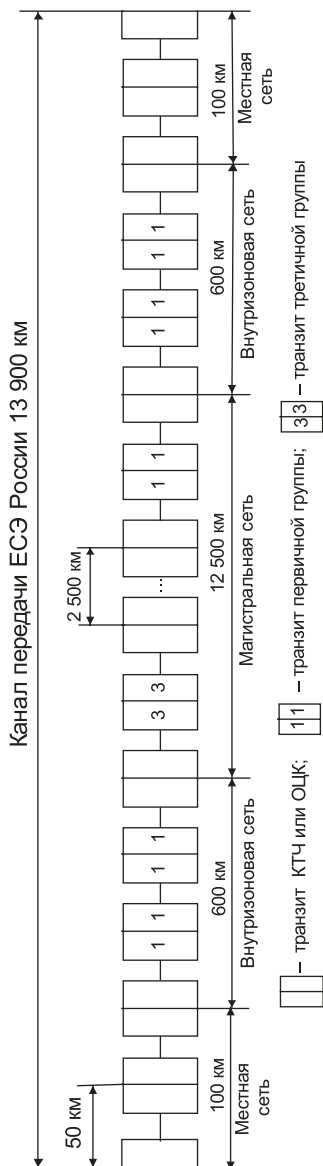


Рис. 5.19. Структура эталонного канала ТЧ (ОЦК) ЕСЭ России (номинальной цепи)

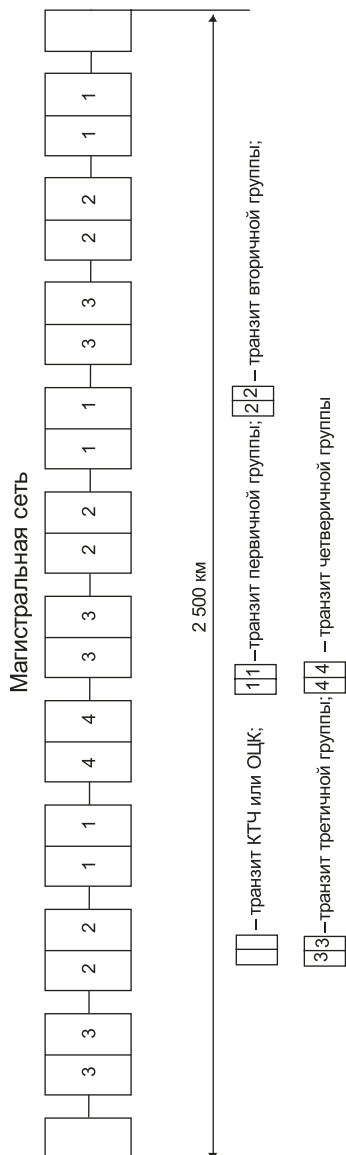


Рис. 5.20. Переприемный участок магистральной сети ЕСЭ России

6. Каналы первичной сети составляют в общем случае из нескольких простых каналов, поэтому нормы на параметры простых каналов должны устанавливаться в расчете на необходимость обеспечения требуемого качества передачи при предусмотренных максимальной дальности связи и максимальном числе транзитов по ТЧ. Кроме того, наряду с нормами на простые каналы необходимы нормы на составные каналы различной протяженности и структуры. Нормирование поэтому проводится для эталонных, или номинальных, цепей (рис. 5.19). Номинальной цепью канала (тракта) называется условная цепь определенной протяженности с заданным числом транзитов, применяемая в качестве исходной для определения электрических параметров, характеризующих качество системы передачи (тракта или канала).

Для конкретных реальных систем и линий передачи значения нормируемых параметров и характеристик получают путем пересчета норм, установленных для номинальных цепей.

В соответствии со структурой первичной сети ЕСЭ России протяженность номинальной цепи каналов передачи (аналоговых и цифровых) составляет 13 900 км, в том числе протяженность магистрального участка – 12 500 км, двух внутризоновых участков – 1 200 км и двух местных участков – 200 км. Структура эталонного канала ЕСЭ России – это количество и порядок размещения транзитных пунктов по ТЧ и групповым спектрам (рис. 5.19). Как показано на рис. 5.19, максимальное расстояние между транзитами по ТЧ и ОЦК на участке местной сети составляет 50 км, на участке внутризоновой сети – 600 км и на участке магистральной сети – 2 500 км. Такие участки называются переприемными. Детально переприемный участок магистральной сети показан на рис. 5.20.

5.2.3. Расчет необходимого количества каналов передачи при планировании телефонной сети

Большое значение для обслуживания абонентов с качеством не хуже заданного имеет расчет необходимого количества каналов передачи на направлениях связи между узлами (центрами коммутации).

Как известно, (см. гл. 4), каналы передачи образуются с помощью систем передачи, надежность которых определяется коэффициентом готовности, имеющим вид:

$$K_{\text{гкп}} = \frac{\bar{T}_o}{\bar{T}_o + \bar{T}_в}, \quad (5.16)$$

где $\bar{T}_o$ – среднее время наработки на отказ (между отказами); $\bar{T}_в$ – среднее время восстановления.

Для обеспечения обмена сообщениями между абонентами системы передачи предоставляют либо простой, либо составной типовой канал (разд. 5.2.1). Коэффициент готовности составного канала передачи зависит от коэффициентов готовности простых составляющих его каналов $K_{гпк}$ и коэффициентов готовности центров коммутации $K_{гцк}$ в соответствии с формулой

$$K_{гкп} = K_{гцк} \cdot K_{гпк} . \quad (5.17)$$

Каналы передачи, как правило, отличны друг от друга по протяженности. Для того чтобы провести сравнительную оценку их коэффициентов готовности, необходимо ввести понятие «готовность канала передачи», отнесенное к единице длины (для первичной сети ЕСЭ России – обычно к 100 км).

Тогда, используя выражение (5.16), коэффициент готовности простого канала длиной 100 км можно определить по формуле

$$K_{гпк} = \left(\frac{\overline{T}_{опк}}{\overline{T}_{опк} + \overline{T}_{впк}} \right)^{1/L_i} , \quad (5.18)$$

где L_i – длина простого канала передачи (за единицу измерения принято 100 км, т. е. при стокилометровой протяженности канала $L_i = 100$ км = 1).

Исходя из этого коэффициент готовности канала передачи любой длины:

$$K_{гкп} = K_{гцк} \cdot K_{гпк}^{L_i} . \quad (5.19)$$

Если для направления связи, на котором задействован один канал передачи, коэффициент готовности не соответствует предъявленным требованиям, то дополнительно используются резервные каналы передачи.

Общий коэффициент готовности канала передачи с учетом резерва в этом случае будет составлять:

$$K_{гкп \text{ рез}} = 1 - [(1 - K_{гкп1}) \cdot \dots \cdot (1 - K_{гкпn})] , \quad (5.20)$$

где n – количество резервных каналов передачи.

Если считать, что все каналы передачи первичной сети междугородной связи образованы однотипной аппаратурой и имеют одинаковые коэффициенты готовности, то выражение (5.20) упрощается:

$$K_{\text{гкп рез}} = 1 - (1 - K_{\text{гкп1}})^n. \quad (5.21)$$

Количество необходимых резервных каналов передачи n определяется в результате преобразования выражения (5.21):

$$(1 - K_{\text{гкп1}})^n = 1 - K_{\text{гкп рез}}. \quad (5.22)$$

Перемножив обе части выражения (4.22) на 10, прологарифмируем его:

$$n \cdot \lg(1 - K_{\text{гкп}}) = \lg(1 - K_{\text{гкп рез}}). \quad (5.23)$$

Отсюда следует, что требуемое количество каналов n :

$$n = \frac{\lg(1 - K_{\text{гкп рез}})}{\lg(1 - K_{\text{гкп}})}. \quad (5.24)$$

При этом n следует рассматривать как необходимое количество взаимонезависимых каналов передачи, которые должны соединять некоторый узел с остальными узлами в междугородной сети связи. Установлено, что n должно быть натуральным числом и результат, полученный из выражения (5.24), должен округляться до числа, превышающего десятичную дробь. Например, при полученном по формуле (5.24) значении $n = 2,3$ требуемое количество каналов, соединяющих два узла, должно быть не меньше трех ($n \geq 3$).

5.2.4. Предоставление групповых трактов и каналов передачи первичной сети потребителям

Потребителями первичной сети общего пользования являются:

- первичные сети ограниченного пользования (ведомственные, специальные);
- вторичные сети ОП.

Предоставление групповых трактов и каналов передачи первичной сети ОП (магистральной, внутризоновой, местной) потребителям первичной сети ОП (вторичной сети) осуществляется по соединительным линиям (рис. 5.21).

Соединительная линия – линия передачи или физическая цепь, развертываемая между сетевыми узлами (станциями) первичной сети ОП и сетевыми узлами (центрами коммутации) первичной сети ОП (вторичной сети). Как правило, она развертывается между узлами (станциями) одного уровня иерархии: магистральным (междугород-

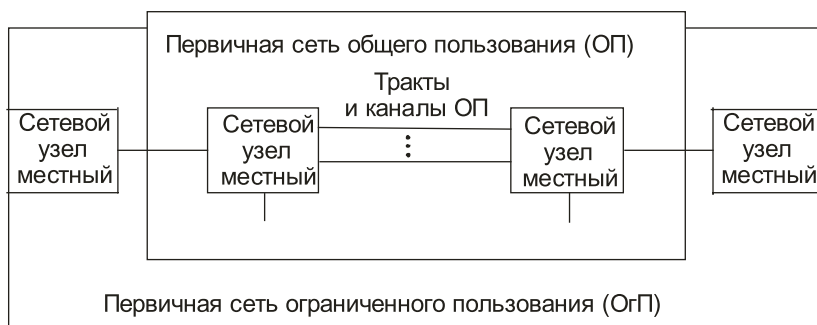


Рис. 5.21. Предоставление каналов и трактов первичной сети общего пользования потребителю (первичной сети ограниченного пользования)

ным), зонавым (внутризоновым) или местным (городским, сельским, комбинированным). Соединение организуется с использованием систем передачи, а при небольшой протяженности соединительной линии (6–8 км) предоставление одного или нескольких каналов передачи потребителю допускается по физическим цепям. При этом необходимо отметить, что затухание в физической цепи a_{γ} на частоте 800 Гц не должно быть более 4 дБ. Если $a_{\gamma} > 4$ дБ или количество каналов ТЧ более 12, то должна использоваться СП.

Соединительные линии от оконечных (узловых) радиорелейных станций первичных сетей ОгП к сетевым станциям магистральной первичной сети ОП создаются с использованием кабельных систем передачи, а к внутризоновым и местным сетевым станциям – с помощью кабельных и радиорелейных СП. Конкретный тип системы передачи определяется в зависимости от числа создаваемых трактов и каналов передачи, расстояния между соединяемыми узлами и длины секции дистанционного питания.

Строительство (развертывание) СП осуществляется на основе нормативных документов: ведомственные строительные нормы, Инструкция по проектированию линейно-кабельных сооружений связи ВСН 116–93, «Положение о порядке присоединения сетей электросвязи общего пользования и порядке регулирования пропускания телефонного трафика по сетям электросвязи общего пользования Российской Федерации» (одобрено Решением ГКЭС России № 107 от 25.01.95).

Предоставление групповых трактов и каналов передачи с СУ (станций) первичной сети ОП потребителям вторичных сетей осуществляется по линиям привязки с учетом следующих особенностей:

1. Сетевые узлы (станции) первичной сети ОП, как правило, объединяются с соответствующими узлами и станциями вторичных сетей, образуя:

- междугородные станции (МС) как объединения внутризональной сетевой станции (ВзСС) и АМТС;
- территориальные автоматизированные узлы коммутации (ТАУК) как объединения крупного территориального сетевого узла и узла автоматической коммутации;
- районные узлы электросвязи, которые в своем составе содержат оконечные сетевые станции местной первичной сети и РАТС;
- городские узлы связи (ГУС) как объединение ССМ и АТС;
- сельские узлы связи (СУС), включающие почтовые отделения и отделения связи.

Линии привязки, организованные между элементами первичной сети и узлами (станциями) вторичных сетей ЕСЭ России, являются внутристанционными (рис. 5.22).

2. Параметры физических цепей, каналов передачи и сетевых трактов должны соответствовать действующим нормам параметров каналов вторичных сетей. В случае повышения требований со стороны абонентов вторичной сети их реализация должна обеспечиваться непосредственно этой сетью.

3. Цифровая линия привязки, осуществляющая передачу сигналов со скоростью 64 или 2 048 кбит/с, должна отвечать требованиям Рекомендации G.703 МСЭ-T:

- при передаче сигнала со скоростью 64 кбит/с затухание в линии привязки должно быть в пределах от 0 до 3 дБ;
- при передаче сигнала со скоростью 2 048 кбит/с – от 0 до 6 дБ.

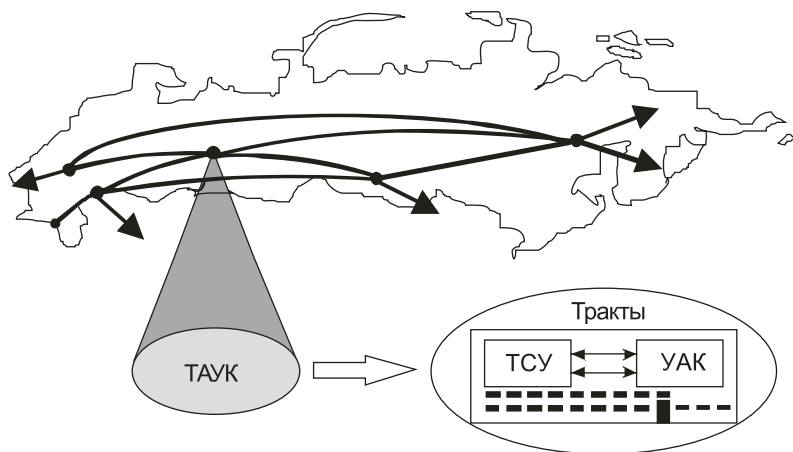


Рис. 5.22. Территориальный автоматизированный узел коммутации

4. При передаче аналоговых сигналов относительные уровни на входе и выходе каналов и трактов, образованных на линиях привязки, должны соответствовать установленным значениям (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Каналы и тракты, образованные на линии привязки	Номинальный относительный уровень сигнала линии привязки, дБ	
	На входе	На выходе
Канал тональной частоты	–3	+4
Первичный, вторичный, третичный, сетевой тракты (широкий канал)	–36	–23

5. Каналы ТЧ, предоставляемые вторичным сетям, должны иметь минимальное число транзитов по ТЧ:

- на магистральной первичной сети – не более четырех;
- внутризоновой первичной сети – не более двух;
- местной первичной сети – не более трех.

6. Предоставление групповых трактов и каналов передачи первичной сети ОП потребителю первичной сети ОП осуществляется при тесном взаимодействии систем управления этими сетями. С этой целью в соединительных линиях предусматриваются каналы служебной связи, телесигнализации и телеуправления.

Вопросы для самоконтроля

1. Назначение, состав сетей телефонной связи общего пользования.

2. Принципы построения внутризоновой телефонной сети.

3. Принципы построения междугородной телефонной сети.

4. Принципы построения городских телефонных сетей.

5. Принципы построения сельской телефонной сети.

6. Определить необходимое количество каналов между сетевыми узлами, обеспечивающее требуемый коэффициент готовности $K_r = 0,999$. Расстояние между сетевыми узлами – 500 км, коэффициент готовности коммутационных центров $K_{гкц} = 0,99$, среднее время наработки на отказ простого канала $T_{онк} = 3100$ ч, а среднее время его восстановления $T_{внк} = 47,2$ ч.

7. Определить какого типа телефонную сеть необходимо строить на территории города, если известны

- длина абонентских линий $l_{ал} = 25$ км ;
- стоимость одного метра абонентской линии $C_{ал} = 65$ руб ;
- количество ПАТС $n = 4$;
- емкость каждой ПАТС $m = 6000$ номеров;

– плотность распределения телефонных аппаратов на одном гектаре площади города $\delta = 120 \text{та}$.

8. Определить затраты на соединительные линии, если известны:

– емкость телефонной сети $N = 70\,000$ номеров;

– плотность распределения телефонных аппаратов на одном гектаре площади населенного пункта $\delta = 130 \text{та}$;

– стоимость одного метра абонентской линии $C_{\text{ал}} = 105 \text{руб}$;

9. Какие общие принципы построения присущи всем сетям связи?

10. Как оценить качество канала телефонной связи оператору связи?

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 21655–87. Каналы и тракты магистральной первичной сети Единой автоматизированной системы связи. Электрические параметры и методы измерения.

2. ГОСТ 22348–86. Сеть связи автоматизированная единая. Термины и определения.

3. **Иванова О.Н.** Автоматическая коммутация: учебник / О.Н. Иванова – М.: Радио и связь, 1988. – С. 332–351.

4. **Игнатов В.П.** Системы мобильной связи: учебное пособие / В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И. М. Самойлов и др.; под ред. В.П. Ипатова. – М.: Горячая линия; Телеком, 2003. – 272 с.

5. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года. – Справочное приложение 2: Словарь основных терминов и определений. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996.

Глава 6

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ ДОКУМЕНТАЛЬНОЙ СВЯЗИ

Успешное решение задач по управлению документальной связью требует развития и совершенствования всех видов электросвязи и в частности тех ее видов, которые обеспечивают передачу документальных сообщений.

Для передачи текстовых, графических и других сообщений используются следующие виды электросвязи: телеграфная связь, передача данных, факсимильная связь и электронная почта. Все они объединяются общим признаком – документальностью. Переданное и принятое сообщения в большинстве случаев фиксируются на бумаге в виде документов, имеющих юридическую силу, что обуславливает их широкое применение в сфере управления, информатизации, деловой и коммерческой деятельности. Зачастую документальность необходима и для информационного обеспечения населения. Перечисленные виды электросвязи в совокупности образуют общую систему документальной связи страны.

Сети документальной электросвязи являются составной частью ЕСЭ России. Они предназначены для передачи большей части нетелефонной информации и обеспечивают следующие службы электросвязи:

- телеграфные (службы передачи телеграмм общего пользования (ПТОП), службы абонентского телеграфирования (АТ) и службы телекса);
- передачи газет;
- передачи данных;
- телематические: телефакс, бюрофакс, комфакс, электронная почта (в том числе обработка сообщений), доступа к базам данных (в том числе справочная и видеотекст), мультимедиа (в том числе телеконференции). К телематическим службам относят также службу телекса (передачи справочной информации параллельно с телевизионной программой).

Телеграфная связь по форме оказываемых услуг, способу передачи информации, характеру технических средств занимает особое место. Она обеспечивает документальность и точность сообщений при высокой скорости их передачи. В этом ее основное преимущество перед почтовой (обеспечивающей документальность, но значительно уступающей в скорости передачи сообщений) и телефонной (имеющей высокую скорость передачи сообщений, но не обеспечивающей документальность) связью.

Телеграфная связь является общедоступным и массовым видом связи, широко используемым населением страны.



6.1. Принципы построения и структура сети телеграфной связи

6.1.1. Назначение, составные элементы сети телеграфной связи

В систему телеграфной связи входит телеграфная сеть общего пользования и телеграфная сеть ограниченного пользования, в состав которых включены сети телеграфной связи и сети абонентского телеграфирования (рис. 6.1).

Сеть телеграфной связи общего пользования ЕСЭ России предназначена для обеспечения потребности народного хозяйства и населения в обмене телеграфной информацией в форме текста, изображения

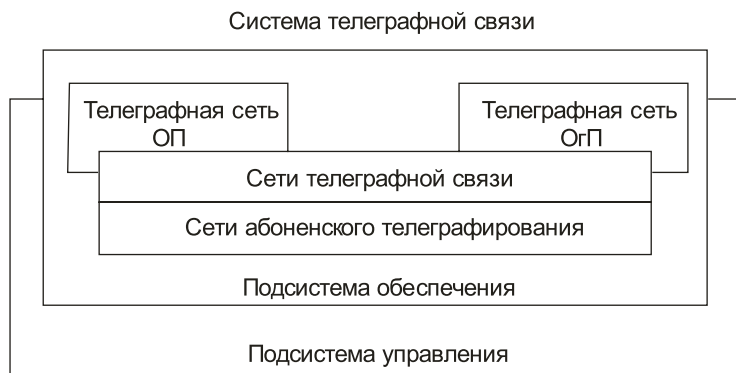


Рис. 6.1. Структура системы телеграфной связи РФ

(фото, чертежа), газетных полос, различных видов дискретной информации посредством электрических сигналов по проводам или радио.

В зависимости от размеров охватываемой территории сеть телеграфной связи общего пользования (ТГ ОП) включает:

- магистральную телеграфную сеть, предназначенную для организации связи Москвы с республиканскими и областными (краевыми) центрами и последних – между собой;
- зоновые ТГ сети, соединяющие областные центры со своими районными центрами и последние – между собой;
- местные сети, соединяющие сельские отделения связи со своими районными узлами связи, а также городские ТГ сети, соединяющие телеграфные городские отделения связи со своим центральным телеграфом.

Сеть телеграфной связи – это совокупность узлов и пунктов связи, соединенных между собой каналами телеграфной связи.

Основу сети телеграфной связи составляют главные узлы $У_1$, зоновые $У_2$, местные $У_3$, оконечные пункты, а также каналы, соединяющие их между собой и с оконечными пунктами.

$У_1$ являются главными узлами выделенных зон на территории страны и предназначены для обработки основной доли транзитной нагрузки, а также исходящей и входящей нагрузок оконечных пунктов своей зоны. При определении нагрузки приняты следующие показатели:

- телеграмма – применяется на таких участках узлов, где ее длина не имеет значения: на сортировке, доставке, контроле;

- слово телеграммы – используется при определении производительности телеграфистов;

- среднее число телеграфных знаков для передачи слова телеграммы – используется при расчете пропускной способности телеграфного аппарата или узла. Для телеграфного аппарата необходимо определять нагрузку по числу знаков в телеграмме и по средней длине телеграммы, а при расчете оборудования телеграфного узла следует учитывать неравномерность и колебание нагрузки. Неравномерность определяется сезонным колебанием по месяцам, дням недели и часам суток. Применяются следующие коэффициенты неравномерности: $N_{мес} = 1,1-1,2$; $N_{дн} = 1,05-1,2$.

Неравномерность по часам суток определяется с помощью коэффициента концентрации $C_{ср.сут.}$. Для магистральной связи в час наивысшей нагрузки (ЧНН) необходимо применять поправочный коэффициент $K_{чнн} = 0,08-0,1$.

Таким образом, телеграфную нагрузку узла можно определить по формуле

$$C_{расч} = C_{ср.сут.} \cdot K_{чнн} \cdot N_{дн} \cdot N_{мес}. \quad (6.1)$$

Узлы U_1 соединяются друг с другом в основном по принципу «каждый с каждым» по разным линиям передачи первичной сети ЕЭС России.

Узлы U_2 (зоновые узлы) размещаются в местах сосредоточения большого числа потребителей и предназначены для обработки местных исходящей, входящей и транзитной нагрузок.

Узлы U_3 (местные узлы) размещаются в районных центрах и городах областного подчинения. Назначение их то же, что и у зонавых узлов.

Оконечные пункты (отделения связи) предназначены для непосредственного приема информации от отправителей и доставки ее адресатам. Они соединены телеграфными каналами с местными и зонавыми узлами и включают в себя окончное телеграфное оборудование.

На телеграфной сети применяются следующие типы каналов:

- тонального телеграфирования, образуемые путем вторичного уплотнения типовых каналов передачи;
- радиосвязи, образуемые путем использования радиопередающих и радиоприемных устройств;
- надтонального телеграфирования;
- образованные по средним точкам телефонных цепей;
- получаемые по жилам телефонных кабелей ГТС;
- образованные на однопроводных цепях воздушных линий связи.

Сети абонентского телеграфирования организуются на основе телеграфных каналов, когда телеграфные аппараты устанавливаются непосредственно у абонентов. Они предназначены, как правило, для осуществления документального обмена с помощью телеграфных связей между предприятиями, ведомствами и другими звеньями народного хозяйства.

Сеть абонентского телеграфирования (АТ) построена по принципу коммутации каналов и дает возможность абонентам сети осуществлять двустороннюю связь непосредственно друг с другом. В состав сети АТ входят окончные абонентские пункты, узлы коммутации, каналы связи и местные соединительные линии (рис. 6.2).

Оконечный абонентский пункт оборудован стартстопным телеграфным аппаратом и вызывным прибором. Линейное питание цепи телеграфного аппарата осуществляется от коммутационного оборудования узлов коммутации, электродвигатель включается в сеть переменного напряжения. Для АТ используются рулонные или ленточные телеграфные аппараты, имеющие в своем составе автоответчики. Оконечные абонентские пункты включаются в узлы коммутации через соединительные линии. Передача сигналов осуществляется по соединительным линиям с помощью постоянного тока, при этом дальность телеграфирования по

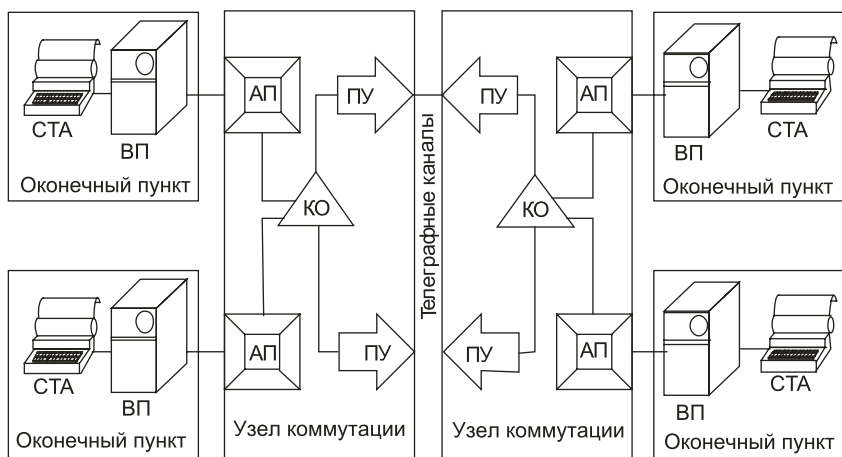


Рис. 6.2. Структурная схема абонентской телеграфной сети:
СТА – стартстопный телеграфный аппарат; ВП – вызывной прибор;
ОП – оконечный абонентский пункт; КО – коммутационное оборудование;
АП – абонентские панели; ПУ – переходные устройства

кабелю составляет 20–30 км, а по воздушным линиям – до 100–200 км. Узлы коммутации имеют в своем составе коммутационное оборудование, абонентские панели и переходные устройства, обеспечивающие подключение к УК магистральных каналов.

Таким образом, телеграфные сети и сети АТ базируются на технических средствах, которые включают в себя:

- станции и подстанции коммутации каналов;
- каналообразующую аппаратуру;
- оконечную телеграфную аппаратуру (терминалы);
- средства контроля, измерения и управления.

Особенностями совместной работы телеграфных сетей и сетей АТ, функционирующих в рамках единой ЕСЭ России, являются следующие:

1. Данные сети выполняют различные задачи и поэтому информация из одной сети ни в коем случае не должна попадать в другую. Этот принцип лежит в основе построения всех коммутационных устройств, обслуживающих одновременно обе сети.

2. Каналы телеграфной связи, получаемые путем уплотнения (частотного или временного) каналов ТЧ первичной сети, не закрепляются за определенной сетью, а предоставляются той или иной сети в зависимости от потребности. В настоящее время в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т на базе канала ТЧ могут быть созданы 24 канала те-

леграфной связи со скоростью передачи 50 Бод или 12 каналов ТГ со скоростью 100 Бод, или 6 каналов ТГ со скоростью передачи 200 Бод. На телеграфной сети, как правило, применяются каналы ТГ со скоростью передачи 50 и 100 Бод, которые по мере развития сети будут сведены к единому каналу со скоростью 100 Бод.

3. Сеть телеграфной связи отличается от сети АТ тем, что последняя, как правило, работает в режиме реального времени, тогда как сеть общего пользования допускает задержку в передаче сообщений (в пределах контрольных сроков передачи телеграмм).

В каждой из рассматриваемых сетей для организации связи допустимо использование коммутации каналов. Коммутация сообщений прежде всего применяется в сети телеграфной связи.

В настоящее время все большее признание получает разделение сети телеграфной связи на две части (два уровня): транспортную сеть и сеть доступа.

Транспортная сеть представляет собой совокупность коммутационных узлов, соединенных между собой линиями (каналами) передачи, обеспечивающими передачу информации между территориально распределенными местными сетями связи.

Транспортная сеть включает международную, междугородную и внутризоновые (региональные) телеграфные сети связи. Центральными элементами транспортной сети являются высокоскоростные линии, образованные в основном на базе волоконно-оптических линий (скорости от 64 кбит/с до десятков и сотен мегабит в секунду). Транспортная сеть предназначена для того, чтобы обеспечивать передачу высокоскоростных потоков информации без промежуточного накопления.

Сеть доступа представляет собой местную сеть, предназначенную для пропуска местного трафика и подключения разнообразных абонентских терминалов к транспортной сети. Она состоит из абонентских линий связи, оконечных коммутационных станций, а также каналов, соединяющих местные станции между собой и с транспортной сетью.

6.1.2. Принципы построения и основные качественные показатели сетей телеграфной связи

В основу построения сети телеграфной связи положен принцип территориального деления, учитывающий административное деление территории, а также технико-экономические показатели.

Исходя из этого наиболее эффективным является радиально-узловой принцип построения сети, на основе которого сеть ТгОП делит-

ся на 8 телеграфных территорий и зоны, границы которых, как правило, совпадают с административными границами республик, краев и областей.

На каждой телеграфной территории организуются узлы телеграфной связи Y_1 , Y_2 , Y_3 и пучки телеграфных каналов, связывающих их между собой и с окончательными пунктами.

Эффективность радиально-узлового принципа обусловлена тем, что он сочетает преимущества каждого из ранее рассмотренных принципов построения сетей связи (см. гл. 2).

Источником информации является окончательный пункт (городское отделение связи, районный узел связи, аппарат абонента) (рис 6.3). Телеграфное сообщение от ОП попадает на зональный узел Y_2 либо непосредственно, либо через местный узел Y_3 . Y_2 устанавливаются во всех центрах телеграфной нагрузки – областных, краевых, республиканских – и обеспечивают распределение информации в пределах территории, на которой они действуют.

Для выхода на другие области (края) Y_2 соединяются с двумя главными узлами коммутации Y_1 . Для отдельных ОП допускается выход непосредственно на Y_1 .

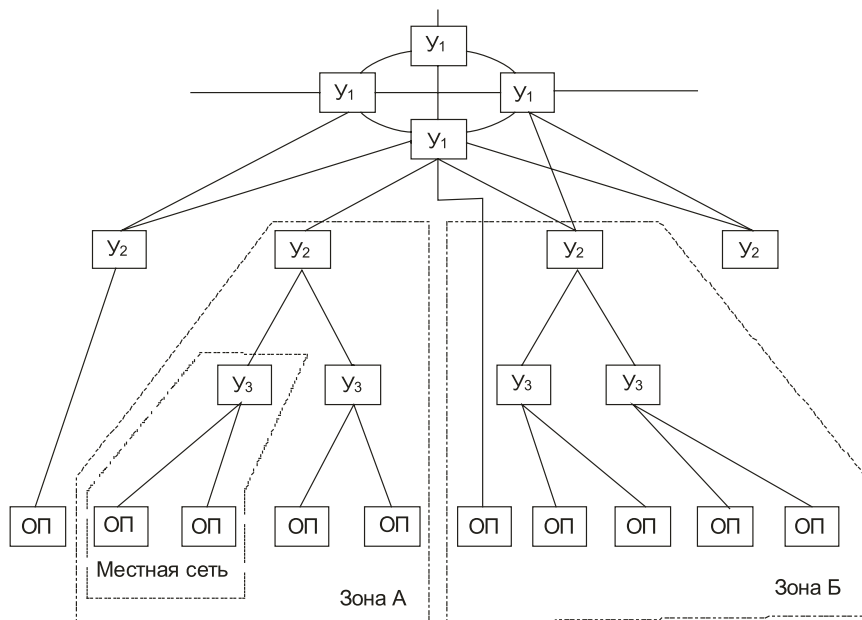


Рис. 6.3. Схема организации вторичной сети телеграфной связи:
 Y_1 – узел телеграфной связи; ОП – окончательный пункт

Связь между телеграфными территориями (главными узлами $У_1$) организуется по принципу «каждый с каждым», а внутри телеграфной территории – по радиально-узловому принципу.

Радиально-узловой принцип организации сети телеграфной связи на телеграфной территории является наиболее рациональным. Он не только обеспечивает требуемую скорость, устойчивость и надежность передачи телеграфных сообщений, но и отвечает требованиям экономичности сети, т. е. затраты на строительство и эксплуатацию являются минимальными по сравнению с затратами при реализации других принципов построения сети.

Возможности рассмотренных сетей телеграфной связи характеризуются набором определенных стандартизированных показателей. Их условно можно подразделить на две группы: количественные и качественные.

1. К количественным характеристикам относятся скорость передачи элементов сигнала (техническая скорость), скорость передачи символов (информационная скорость) и пропускная способность.

Скорость передачи элементов сигнала – это количество единичных элементов сигнала, передаваемых в секунду:

$$V = 1/T_0, \quad (6.2)$$

где T_0 – длительность значащей позиции единичного элемента сигнала в секундах.

Единица скорости V имеет размерность c^{-1} и называется Бод. 1 Бод – скорость, соответствующая передаче единичного элемента в секунду.

Все разрешенные к применению скорости передачи телеграфных сообщений стандартизованы следующим образом: малые скорости – 50, 100 и 200 Бод; средние скорости – 600, 1 200, 2 400, 4 800 и 9 600 Бод; большие скорости – более 9 600 Бод.

Группа малых скоростей используется в телеграфной связи, т. е. там, где в передаче и приеме сообщений участвует оператор. Значения этих скоростей выбраны с учетом возможности человека работать на клавиатуре при передаче или читать текст при приеме. Средние и большие скорости применяются при передаче данных между ЭВМ и другими автоматическими устройствами.

Широкое практическое применение находит еще одна количественная характеристика – скорость передачи символов (информационная скорость), под которой понимается количество символов, передаваемых в единицу времени. Она обычно измеряется числом двоичных символов (бит) в секунду.

Можно установить связь между двумя указанными скоростями, если считать, что символ кода отображается элементом сигнала длительностью T_0 . Если символы кода двоичные (основание кода $m = 2$), то элемент сигнала «несет» один двоичный символ (один бит). Тогда скорость передачи в Бодах численно равна скорости в битах. Если символы кода принимают m значений, то и элемент сигнала должен принимать m дискретных состояний. Теперь каждый элемент сигнала будет «нести» $\log_2 m$ бит ($\log_2 2 = 1$ бит при $m = 2$). Таким образом, если скорость передачи элементов сигнала, принимающего m состояний, составляет V Бод, то скорость передачи символов будет определяться формулой

$$R_6 = V \cdot \log_2 m. \quad (6.3)$$

Техническая скорость передачи учитывает все передаваемые элементы – как информационные, так и служебные. Для оценки только информационных возможностей передачи вводят характеристику, называемую пропускной способностью системы передачи дискретных сообщений.

Пропускной способностью называется максимально возможное количество информационных единичных элементов, передаваемых в сети за секунду.

Численно пропускная способность C всегда меньше или равна скорости передачи V в зависимости от того, какое количество служебных элементов приходится передавать наряду с информационными. Так, для стартстопного метода передачи, использующего пятиэлементный код (МТК-2) и стандартную скорость передачи V , равную 50 Бод, пропускная способность составит:

$$C = V \cdot (m/n_k) = 50(5/7,5) = 33,3, \quad (6.4)$$

где m – число информационных элементов комбинации; n_k – общее количество элементов в комбинации, включая стартовый и стоповый.

2. К качественным показателям относятся верность, краевые искажения передатчика, исправляющая способность приемника и надежность канала.

Верность передачи определяет степень соответствия принятого сообщения переданному, т. е. характеризуется наличием ошибок в принимаемой информации. Обратной характеристикой верности является вероятность ошибок:

$$P_{\text{ош}} = \frac{n_{\text{ош}}}{n_{\text{пер}}} = \frac{N_{\text{ош}}}{N_{\text{пер}}}, \quad (6.5)$$

где $n_{\text{ош}}$, $N_{\text{ош}}$ – соответственно количество ошибок по элементам и комбинациям на приеме;

$n_{\text{пер}}$, $N_{\text{пер}}$ – общее количество переданных элементов и комбинаций соответственно.

Нормируемая вероятность искажения знака при передаче телеграмм в телеграфной сети общего пользования составляет:

- в телеграфном канале связи $(0,5\text{--}5,0) \cdot 10^{-4}$ (в зависимости от протяженности составных каналов);
- на двух оконечных телеграфных аппаратах $2 \cdot 10^{-5}$;
- на четырех станциях коммутации сообщений $5 \cdot 10^{-7}$.

Норма вероятности искажения по знакам телеграммы средней длины составляет $2,5 \cdot 10^{-2}$, вероятность искажения по смыслу телеграммы – 10^{-2} [3].

В реальных условиях эксплуатации, когда выполнить вероятностные требования сложно, верность выражают коэффициентом ошибок по элементам $k_{\text{ош}}$ или по комбинациям $K_{\text{ош}}$ за конечный интервал времени.

Коэффициент ошибок нормируется, причем норма определяется степенью важности передаваемой информации. Так, при передаче телеграфных сообщений МСЭ-Т рекомендуется использовать коэффициент ошибок по знакам $K_{\text{ош}} = 3 \cdot 10^{-5}$, т. е. допускается не более трех ошибок на 100 тыс. переданных знаков [4].

Нормы для сети АТ аналогичны нормам сети телеграфной связи ОП. Однако в отличие от пользователей сети телеграфной связи ОП, операторы терминалов АТ при подозрении на ошибку текста могут это сообщение повторить, не разрушая установленного соединения.

Краевые искажения – это нормированная величина искажений передаваемых элементов. Она измеряется непосредственно на выходе телеграфного аппарата. Краевые искажения измеряют в процентах длительности единичного интервала T_0 .

Существуют нормы степени краевых стартстопных и синхронных искажений для телеграфной сети (табл. 6.1) [3].

Таблица 6.1

Степень краевых искажений для телеграфных каналов

Число простых каналов в составном канале	Степень краевых стартстопных искажений, %	Степень краевых синхронных искажений, %
1	7	9
2	11	15
8	30	38

Исправляющая способность характеризует качество работы оконечных приемников с точки зрения их способности противостоять

влиянию искажений двоичных сигналов. Различают исправляющую способность по краевым искажениям и по дроблению. Численно исправляющая способность выражается максимальной допустимой величиной краевых искажений $\delta_{\text{ки}}$ или максимальным коэффициентом дробления $\delta_{\text{др}}$ (%), при которых принимаемые элементы комбинации регистрируются приемником безошибочно:

$$\mu_{\text{ки}} = \max^{\text{доп}} \delta_{\text{ки}}, \quad \mu_{\text{др}} = \max^{\text{доп}} \delta_{\text{др}}. \quad (6.6)$$

Современные оконечные приемники имеют исправляющую способность в пределах 25–50 % длительности интервала T_0 [4].

Надежность канала телеграфной связи характеризует способность этого канала передавать информацию с заданными показателями верности, объема и срока.

Невыполнение вышеперечисленных требований ведет к отказу или сбою. Отказ – это невозможность вести передачу, так как аппаратура канала выходит из строя. Сохранение работоспособности при частичном ухудшении показателей работы называют сбоем.

Для оценки и нормирования надежности канала используют следующие характеристики.

Интенсивность отказов λ элемента или системы из N элементов – это среднее число отказов за один час – $1/\text{ч}$ или ч^{-1} .

Среднее время наработки на отказ $\bar{T}_0$ – это усредненное время нормальной работы канала между двумя смежными отказами. Величина $\bar{T}_0$ обратно пропорциональна интенсивности отказов: $\bar{T}_0 = 1/\lambda$. Среднее время наработки на отказ можно определить на основе экспериментальных данных:

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i, \quad (6.7)$$

где T_i – время исправной работы между двумя смежными отказами; n – общее число отказов за период наблюдений.

Коэффициент готовности K_r канала вычисляется по формуле:

$$K_r = \frac{\bar{T}_0}{\bar{T}_0 + \bar{T}_B}, \quad (6.8)$$

где $\bar{T}_B$ – среднее время восстановления канала, зависящее от квалификации обслуживающего персонала и ремонтпригодности аппаратуры.

Вероятность отказа в установлении соединения на сети АТ нормируется величиной $3 \cdot 10^{-1}$. За счет занятости приборов на станциях она не превышает $5 \cdot 10^{-3}$, из-за занятости магистральных каналов – $1 \cdot 10^{-2}$, а вследствие отказа внутризоновых каналов – $3 \cdot 10^{-2}$. Указанные ве-

роятности отказа приведены для часов наибольшей нагрузки. В другое время они существенно меньше.

Следует иметь в виду, что все перечисленные характеристики надежности являются усредненными, т. е. позволяют лишь приблизительно оценить качество работы.

В заключение необходимо отметить, что для успешной передачи сообщения по сети телеграфной связи следует обеспечить выполнение перечисленных требований. Причем кроме технологических способов их выполнения существуют и организационно-технические. Например, наиболее распространенным способом повышения надежности каналов, узлов и сети в целом является резервирование.

6.1.3. Система управления телеграфными сетями

Обобщенная структура действующей системы управления телеграфными сетями и структура системы управления оператора связи регионального значения АОТ «Центральный телеграф» представлены на рис. 6.4. Организационно система управления имеет два уровня управления: службу оперативного управления тонального телеграфа

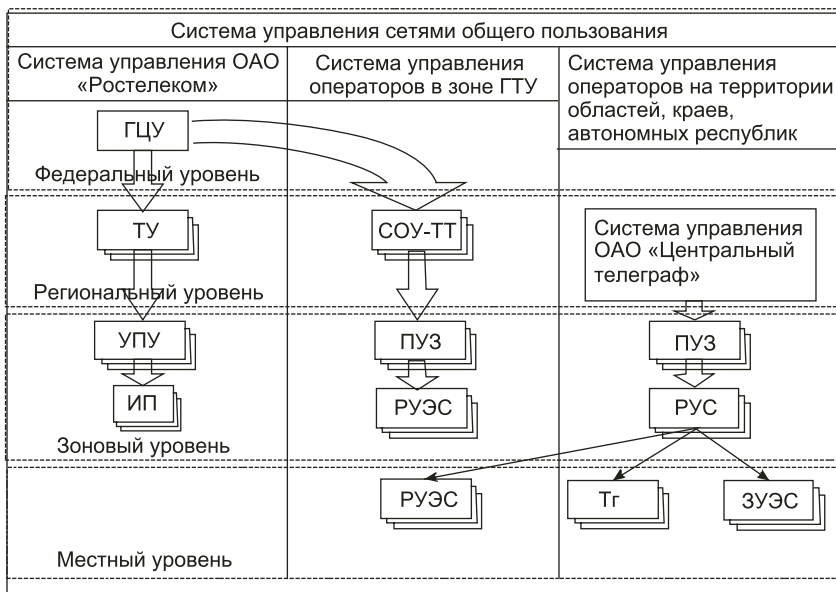


Рис. 6.4. Структура действующей системы управления телеграфными сетями

(СОУ-ТТ) и пункт управления зоной (ПУЗ). Эти уровни связаны с элементами системы управления первичной сетью ОАО «Ростелеком».

Основные задачи службы оперативного управления тонального телеграфа:

- обеспечение бесперебойной и качественной работы телеграфных сетей на основе технического перевооружения;
- осуществление круглосуточного оперативно-технического контроля и управления телеграфными техническими средствами и потоками информации с целью своевременной и качественной ее передачи по телеграфным сетям;
- оперативное управление перестройкой телеграфных сетей зоны при работе в различных аварийных и чрезвычайных ситуациях;
- обеспечение и контроль за своевременной и качественной обработкой особо важных телеграмм;
- переоснащение технических средств сетей: общего пользования, абонентского телеграфирования, телекса, передачи газетных полос, аренды каналов;
- совершенствование процессов управления телеграфными сетями с применением средств вычислительной техники и современных методов управления;
- разработка предложений по созданию сетей передачи данных, систем обработки сообщений и служб для предоставления новых услуг документальной связи.

Региональный расчетный центр осуществляет взаиморасчеты в зоне, выполняя при этом следующие функции:

- получение сведений (данных) о взаиморасчетах в областных расчетных центрах (1 раз в месяц), их согласование и сверка. Обмен производится по сети АТ, почте, факсу;
- составление данных по взаиморасчетам со всеми областными расчетными центрами;
- методическая помощь областным расчетным центрам и совместное решение спорных вопросов;
- взаимодействие с СОУ-ТТ по вопросам, касающимся получения исходных данных для коррекции базы данных в системе взаиморасчетов (точки подключения, новые каналы АТ, новые транзиты и др.);
- предоставление СОУ-ТТ сведений об экономической целесообразности образования новых каналов или закрытия имеющихся;
- взаиморасчеты с абонентами ГТУ.

Эксплуатационно-технический отдел выполняет следующие задачи:

- организация, анализ и совершенствование технической эксплуатации как составной части процесса оперативно-технического управления телеграфными сетями;

- координация и контроль решения вопросов по технической эксплуатации во взаимодействии с СОУ-ТТ;
- организация испытаний и внедрения новой техники;
- планирование развития технических средств в телеграфных сетях;
- повышение квалификации эксплуатационного персонала и организация его обучения.

К основным техническим средствам, используемым сменно-оперативным персоналом СОУ-ТТ при управлении телеграфными сетями в зоне ГТУ, относятся:

- 1) контрольное устройство (дисплей) для отображения текущего состояния телеграфных связей и нагрузки сети;
- 2) табло отображения текущего состояния сетей телеграфной связи и абонентского телеграфирования в зоне действия ГТУ;
- 3) пульт оперативного управления, который позволяет осуществлять взаимодействие:

- по телефонной информационной сети с персоналом МТС, цехов и радиобюро объекта через концентраторы телефонной связи (*Col-30M*),
- информационной сети с внешними объектами (пунктами управления ГЦУ, СОУ-ТТ зон других ГТУ, телеграфами зоны),

- каналам телеграфной сети, сети АТ, телефонной сети, факсу;

- 4) устройство (телеграфный аппарат) для циркулярной передачи особо важных телеграмм предприятиям связи закрепленной территории.

Группа контроля и управления СОУ-ТТ при взаимодействии с пунктом управления ГЦУ использует телефонную связь. При получении данных о планах ремонтно-настроечных работ и графиках обходов и замен от пункта управления ГЦУ используются технические средства сменно-оперативного персонала СОУ-ТТ (телефонные аппараты и терминалы абонентского телеграфирования) [1].



6.2. Особенности построения и составные элементы сетей передачи данных

6.2.1. Назначение и основные принципы построения сети передачи данных

Сеть передачи данных – это совокупность узлов и каналов электросвязи, специально предназначенная для организации связи между определенными точками с целью обеспечения передачи данных между ними [4].

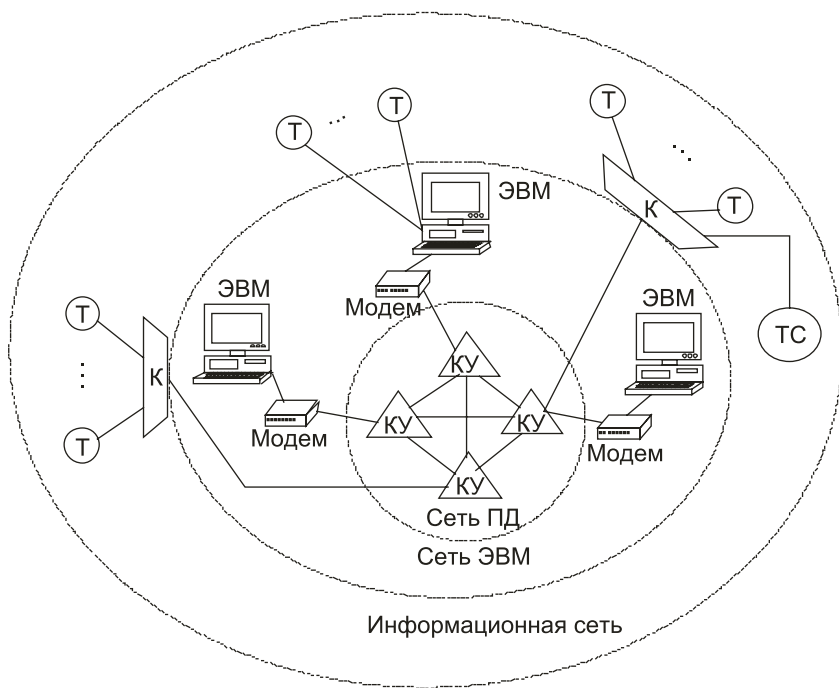


Рис. 6.5. Принцип построения информационной сети:

Т – терминал; КУ – коммутационный узел;

К – концентратор; ТС – терминальная сеть;

ПД – передача данных; ЭВМ – электронная вычислительная машина

Сеть передачи данных является транспортной основой информационной сети, рассмотренной в гл. 4 (рис. 6.5).

Сети передачи данных (СПД) делятся по степени доступности пользователей к сети на сети передачи данных общего и ограниченного пользования, а территориально – на общероссийские (глобальные) и региональные. Последние состоят из городских и локальных сетей передачи данных.

Общероссийские СПД предназначены для предоставления услуг передаче данных на территории всей России, региональные – для передачи данных в пределах территории одного или нескольких субъектов Российской Федерации. Назначение других сетей описано в разделе 4.2.

Исходя из определения сети передачи данных, она состоит из центров коммутации (узлов коммутации) и каналов передачи данных, соединяющих их.

Узлы коммутации сообщений предназначены для распределения сообщений и управления их передачей внутри сети передачи данных.

Канал передачи данных представляет собой аналоговый или цифровой канал связи, выделенный из первичной сети и оснащенный аппаратурой передачи данных (рис. 6.6).

Последняя состоит из устройства защиты от ошибок и устройства преобразования сигнала (модема). При подключении к ней со стороны абонента устройств сопряжения и обслуживания, терминалов передачи данных и закрепления ее за каналом передачи на устройстве кроссовой коммутации образуется комплекс средств трактов передачи данных.

Сеть передачи данных имеет иерархический принцип построения (рис. 6.7).

Первый уровень структуры СПД представлен общероссийской сетью ПД, узлы коммутации которой соединены по принципу «каждый с каждым». Второй уровень составляют региональные сети, в которых реализован радиально-узловой принцип построения, аналогичный принципу построения сетей телеграфной связи.

Пользователи сети ПД (ЭВМ) подключаются к узлам коммутации либо непосредственно, либо через концентраторы нагрузки.

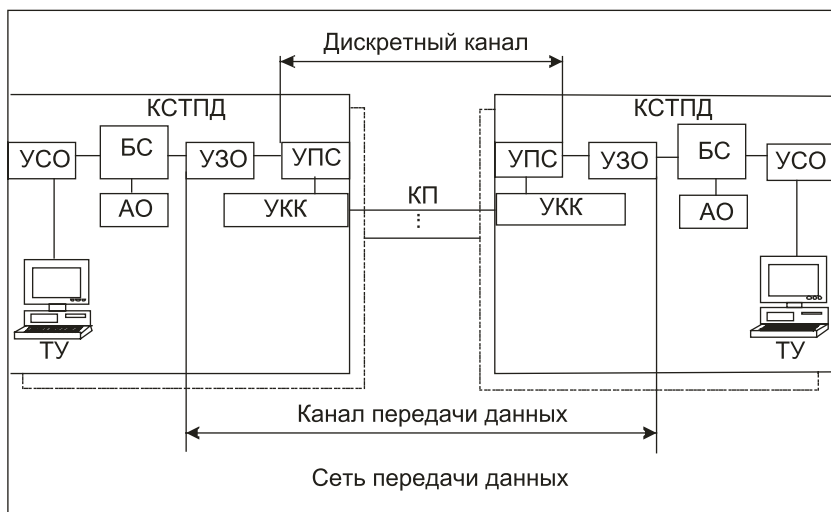


Рис. 6.6. Канал передачи данных:

УКК – устройство кроссовой коммутации; УПС – устройство преобразования сигналов;
 БС – блок сопряжения; АО – аппаратура обслуживания; КСТПД – комплекс средств трактов передачи данных; УСО – устройство сопряжения и обмeна;
 ТУ – терминальное устройство; КП – канал передачи

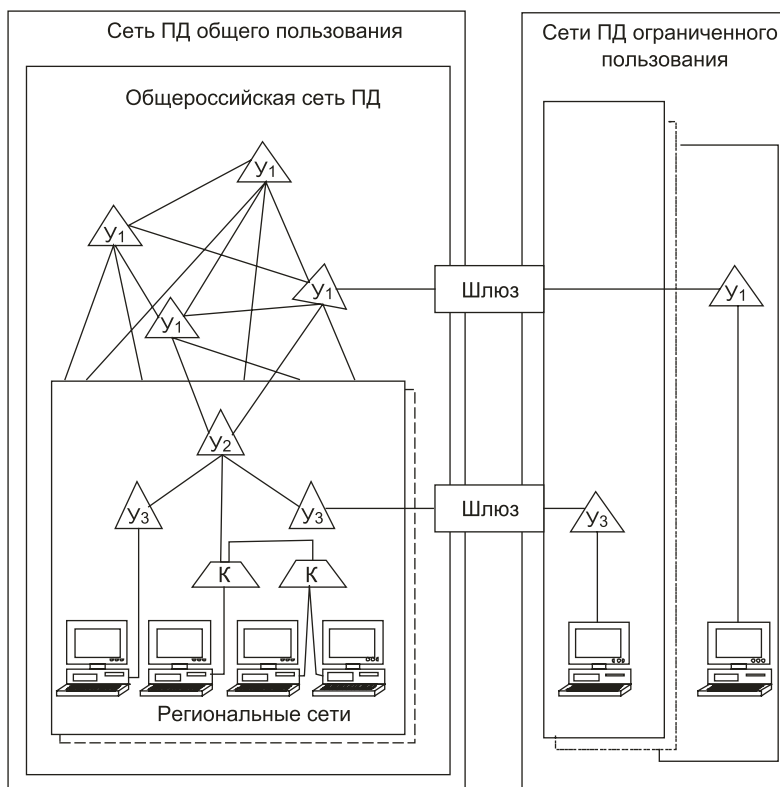


Рис. 6.7. Структурная схема сети передачи данных

Концентратор нагрузки – это устройство, предназначенное для сбора данных от нескольких пользователей (терминалов) и введения их в высокоскоростную линию для передачи на узел коммутации.

Взаимодействие между различными сетями ПД организуется через шлюзы – устройства, посредством которых соединяются сети разных архитектур.

6.2.2. Показатели эффективности сетей передачи данных

Качество сети ПД является обобщенной характеристикой, показывающей степень ее пригодности к решению поставленных задач в конкретных условиях работы. Показатель эффективности сетей ПД – количественная мера качества сети.

При оценке качества сети определяют:

- максимальный или средний объем информации, передаваемой в сети за единицу времени (производительность сети);
- достоверность передаваемых сообщений;
- среднее количество сообщений, потерянных при передаче в сети ПД;
- время доставки сообщений различных категорий срочности;
- надежность связи между любой парой «отправитель–получатель»;
- устойчивость к случайным или преднамеренным нарушениям структуры сети ПД;
- стоимость эксплуатации в зависимости от объема передаваемых сообщений, задержек в их передаче, достоверности и т. д.

Для характеристики качества сети ПД целесообразно пользоваться совокупностью частных показателей эффективности, отражающих различные стороны функционирования сети ПД. Вместе с тем эти показатели должны частично или косвенно характеризовать качество выполнения сетью ПД ее основной цели (целевой функции).

Для оценки качества функционирования сети ПД в целом нельзя ограничиться отдельными показателями, так как в силу их противоречивого характера может оказаться, что оптимальность каждого из них не обеспечит оптимального решения сетью ПД ее основной задачи. Вследствие этого из множества возможных соотношений между частными показателями эффективности сети ПД необходимо выбрать такое, которое обеспечит оптимальное решение сетью ее основной задачи.

Показатели эффективности (параметры), т. е. величины, являющиеся количественными характеристиками свойств сети передачи данных в целом, а также отдельных ее элементов (канала, тракта ПД и др.), объединяются в группы, выделенные по времени, достоверности и скорости передачи. Кроме того, могут использоваться показатели, отражающие надежность аппаратуры, ее сложность, массу, габариты, стоимость и т. д. Однако для их оценки применяются величины, общие для любой аппаратуры связи. Рассмотрим показатели эффективности только первых трех групп, которые специфичны для сетей передачи данных.

I. Временные показатели эффективности характеризуют своевременность доведения сообщений, поступивших на вход СПД от отправителя, до получателя данных. Используются они для оценки времени передачи сообщений, пакетов или блоков данных по отдельным элементам сети. Временные показатели зависят от способов коммутации, алгоритмов повышения достоверности, интенсивности потоков сообщений, качества каналов и других факторов.

Время доведения $t_{\text{дов}}$ – интервал времени от момента поступления сообщения (пакета, блока) данных заданного объема на вход СПД до момента выдачи его на выход. Этот показатель – определенный, детерминированный и основной, а в большинстве случаев и единственный. Как правило, $t_{\text{дов}}$ – величина случайная, поэтому для ее оценки на практике используют следующие показатели.

1. Вероятность доведения сообщения за время, меньшее требуемого, т. е. значение $P\{t_{\text{дов}} \leq t_{\text{тр}}\}$ – функции распределения случайной величины $t_{\text{дов}}$. Критерием по этому показателю является неравенство

$$P\{t_{\text{дов}} \leq t_{\text{тр}}\} \geq P_{\text{доп}}, \quad (6.9)$$

т. е. определяется граничное время доведения сообщения и допустимая вероятность задержки сообщения $P_{\text{доп}}$. При выборе требуемого значения времени доведения сообщения целесообразно исходить из оценки степени потери его ценности при задержке передачи. В современных сетях требования к $t_{\text{дов}}$ могут задаваться в пределах от нескольких секунд до минут, а пределы вероятности $P_{\text{доп}}$ составляют от 0,9 до 0,999.

2. Вероятность задержки сообщения на время, большее или равное $t_{\text{тр}}$:

$$P\{t_{\text{дов}} \geq t_{\text{тр}}\} = 1 - P\{t_{\text{дов}} < t_{\text{тр}}\}. \quad (6.10)$$

3. Среднее время доведения – $M[t_{\text{дов}}]$.

4. Дисперсия времени доведения – $D[t_{\text{дов}}]$.

II. Показатели достоверности характеризуют степень соответствия сообщений, поступивших на вход СПД и полученных на ее выходе. В сети ПД основными показателями достоверности являются:

$P_{\text{пр}}$ – вероятность правильного приема комбинации – вероятность события, заключающегося в том, что на выход СПД выдана комбинация, полностью совпадающая с комбинацией, поступившей на ее вход;

$P_{\text{ош}}$ – вероятность ошибочного приема комбинации – вероятность события, заключающегося в выдаче на выход СПД комбинации, отличной от исходной;

$P_{\text{ст}}$ – вероятность стирания комбинации – вероятность выдачи на вход СПД специального сигнала стирания, обозначающего ненадежный прием комбинации при невозможности ее уверенного кодирования;

$P_{\text{вып}}$ – вероятность выпадения комбинации – вероятность события, при котором комбинация, поступившая на вход СПД, не выдается на выходе;

$P_{\text{вст}}$ – вероятность вставки – вероятность получения с выхода СПД комбинации, не поступившей на ее вход.

Эти параметры применимы для оценки достоверности передачи как кодовых комбинаций, так и единичных элементов, пакетов или сообщений.

Рассмотренные показатели эффективности позволяют наиболее полно оценить достоверность сети. При оценке сети часто ограничиваются лишь вероятностью ошибочного приема комбинации первичного кода. Значения требований задаются к коэффициенту ошибок по кодовым комбинациям в пределах 10^{-6} – 10^{-9} [2].

3. Показатели, характеризующие скорость передачи данных, являются важными и необходимыми для оценки отдельных элементов СПД, таких как дискретный канал, тракт и канал передачи данных, устройства ввода и вывода данных (см. рис. 6.6).

Так как данные передаются в виде дискретной последовательности, состоящей из бит, которые объединяются в комбинации первичного кода, слова, пакета и сообщения, то вводится группа взаимосвязанных параметров, называемых соответственно скоростью передачи бит, комбинаций, слов, пакетов и сообщений.

Скорость передачи бит R_6 определяется как среднее число бит, переданных в единицу времени. Соответственно скорость передачи комбинаций, равная числу комбинаций, переданных в единицу времени, составляет

$$R_k = R_6 / L, \quad (6.11)$$

где L – число бит в комбинации.

Аналогично можно определить скорости передачи слов, пакетов, сообщений, причем для сообщений в качестве единицы времени чаще всего используют минуты и часы.

В различных элементах СПД преобразования данных могут сопровождаться введением избыточности, необходимой для повышения достоверности и других целей. Например, в канале передачи скорость передачи бит на входе передатчика УЗО, называемая эффективной скоростью передачи бит R_6^3 , меньше скорости передачи R_6 на его выходе (см. рис. 6.5).

Для оценки эффективности преобразований данных в УЗО или других элементах СПД вводится понятие «коэффициент эффективности», или «относительная скорость передачи», определяемая как отношение соответствующих скоростей передачи:

$$R = R_6^3 / R_6. \quad (6.12)$$

Наряду с передачей данных осуществляется переключение каналообразующей аппаратуры из режима передачи в режим приема и

обратно. Помимо этого производится установление соединений, а также выполняются другие подготовительные операции. Исходя из этого коэффициент эффективности определяется как отношение времени $t_{\text{нд}}$, затрачиваемого на передачу данных, к общему времени $t_{\text{общ}}$ функционирования канала передачи данных или другого элемента СПД:

$$R = t_{\text{нд}} / t_{\text{общ}}. \quad (6.13)$$

Нетрудно убедиться, что выражение (6.12) является частным случаем выражения (6.13), так как при непрерывной передаче время передачи данных таково:

$$t_{\text{нд}} = \frac{R_6^3}{R_6 \cdot t_{\text{общ}}}. \quad (6.14)$$

Следовательно,

$$R = \frac{t_{\text{нд}}}{t_{\text{общ}}} = \frac{R_6^3}{R_6}. \quad (6.15)$$

Передача сигналов по каналам связи характеризуется технической скоростью передачи единичных элементов цифрового сигнала данных V , которая измеряется числом единичных элементов цифрового сигнала данных, переданных в единицу времени:

$$V = T_0^{-1}, \quad (6.16)$$

где T_0 – длительность единичного элемента сигнала данных.

При передаче используют различные способы модуляции (кодирования сигналов), причем каждый единичный элемент цифрового сигнала данных может соответствовать одному или нескольким битам данных.

В общем случае R_6 и V связаны соотношением

$$V = R_6 / \log_2 m, \quad (6.17)$$

где m – число возможных значений значащей позиции цифрового сигнала данных.

Пример. Аппаратура передачи данных включает в себя устройство преобразования сигналов с двойной относительной фазовой модуляцией; скорость передачи единичных элементов цифрового сигнала данных

$$V = 1\,200 \frac{1}{\text{с}}. \quad (6.18)$$

Относительная скорость передачи $R = 0,75$. Каждая кодовая комбинация содержит 8 бит, в пакет входит 50 комбинаций, а сообщение содержит 10 пакетов. Необходимо определить эффективные скорости передачи бит, комбинаций, пакетов и сообщений.

Скорость передачи бит данных в канале:

$$R_6 = 1\,200 \cdot \log_2 m. \quad (6.19)$$

Для двукратной относительной фазовой манипуляции (ДОФМ) число значащих позиций кода $m = 4$. Следовательно,

$$R_6 = 1\,200 \cdot 2 = 2\,400 \text{ бит/с.} \quad (6.20)$$

Эффективные скорости передачи бит, комбинаций, пакетов и сообщений соответственно составляют:

$$R_6^3 = R \cdot R_6 = 1\,800 \text{ бит/с,} \quad (6.21)$$

$$R_k^3 = \frac{1}{8} R_6^3 = 225 \text{ бит/с,} \quad (6.22)$$

$$R_n^3 = \frac{1}{50} R_k^3 = 4,5 \text{ пак/с} = 270 \text{ пак/мин,} \quad (6.23)$$

$$R_c^3 = \frac{1}{10} R_n^3 = 27 \text{ сообщ/мин} = 1\,620 \text{ сообщ/ч.} \quad (6.24)$$

Таким образом, рассмотренные параметры при известных конкретных условиях и цели функционирования СПД могут определять эффективность, т. е. характеризовать степень соответствия СПД поставленным целям и решаемым задачам.

В особую группу можно выделить показатели эффективности, характеризующие экономическую сторону создания сети ПД. Стоимость сети зависит от всех технических характеристик сети, а через них – от частных и обобщенных показателей эффективности сети. В связи с этим различные варианты построения сети ПД должны рассматриваться в отношении оптимизации не только технических показателей эффективности сети ПД, но и их стоимости.

На этапе проектирования сетей ПД обычно ограничиваются только затратами на создание технических средств и математического обеспечения. Именно они в явном виде связаны с техническими показателями эффективности.

6.2.3. Применение показателей эффективности документальной связи при оптимизации маршрутов передачи сообщений

Особенность сети документальной связи заключается в автоматизации процессов управления потоками данных. Показатели эффективности, выраженные в параметрах, играют существенную роль в определении конфигурации сети, ее изменении, а также лежат в основе автоматизированной маршрутизации сообщений или пакетов.

Современные сети документальной связи функционируют без вмешательства человека на основе алгоритмов, позволяющих оперативно адаптироваться к изменяющейся обстановке с целью предоставления возможности обмена информацией между пользователями в любых условиях. Многие сети обладают свойством синергетичности – способностью к структурной и функциональной самоорганизации. В основе данного свойства лежат алгоритмы, учитывающие постоянно меняющиеся показатели эффективности сети документальной связи, выраженные в вероятностных либо детерминированных параметрах.

Рассмотрим пример применения показателей эффективности при оптимизации маршрутов передачи сообщений.

Как известно, маршрут перемещения сообщения (пакета) содержит совокупность последовательно включенных центров коммутации и каналов передачи, через которые проходит сообщение в процессе передачи его от абонента к корреспонденту. Обозначим через U центры коммутации сообщений (ЦКС). При необходимости доставки сообщения из центра U_s (рис. 6.8) в центр U_f возможна его передача по каналам 1, 2, ..., x , h , где h – общее число каналов передачи, смежных с центром U_s и соединяющих его с другими центрами коммутации сети. Выбор конкретного канала осуществляется в соответствии с используемым критерием эффективности по величине показателя эффективности Q_x ($x = 1, 2, \dots, z$), соответствующего маршруту, в который входит канал от центра U_s с номером x . В качестве Q_x могут выбираться такие показатели, как время доведения, вероятность своевременного доведения и т. п.

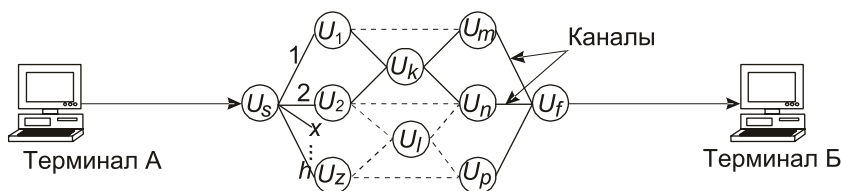


Рис. 6.8. Вариант сети передачи данных

Каналы между центрами i и j будем характеризовать весами γ_{ij} , зависящими от их параметров: скорости передачи, времени передачи сообщений по каналу, надежности и т. д.

В качестве показателя эффективности некоторого маршрута $m_x(s, f)$ передачи сообщения от центра V_s к центру V_f по каналу с номером x выберем величину

$$Q_x(s, f) = \sum_{\gamma_{ij} \in m_x(s, f)} \gamma_{ij}. \quad (6.25)$$

Маршрут считается допустимым, если выполняется условие

$$Q_x(s, f) \leq Q_{\text{гр}}, \quad (6.26)$$

где $Q_{\text{гр}}$ – некоторое граничное значение показателя, превышение которого по величине делает невозможным использование данного маршрута. Оптимальным считается такой маршрут, для которого величина $Q_x(s, f)$ минимальна.

Рассмотрим задачу по выбору оптимального маршрута от центра V_s к центру V_f для произвольной сети передачи данных, где в качестве показателя эффективности выберем время доставки сообщения между смежными центрами коммутации. Для примера выбора оптимального маршрута рассмотрим структуру сети, состоящую из семи узлов, взвешенный граф которой представлен на рис. 6.9.

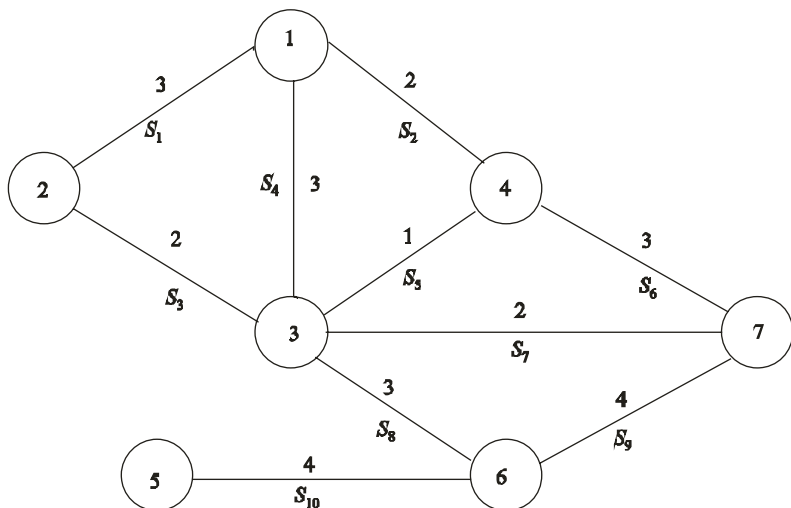


Рис. 6.9. Граф сети передачи данных

Пример. Структура сети представлена в виде графа с вершинами U_m и путями S_n . Наличие пути соответствует наличию канала между смежными ЦКС и характеризуется временем доставки от одного к другому сообщения определенного формата. Очевидно, что задача составления таблицы маршрутизации заключается в определении оптимальных путей, обеспечивающих обмен сообщениями между любыми ЦКС в данной сети. Оптимальным путем будем считать ту последовательность каналов и ЦКС, по которой сообщение передано за минимальное время.

Для формирования маршрутных таблиц, позволяющих оптимизировать выбор исходящих каналов в ЦКС по критерию минимума величины времени доведения $t_{\text{довх}}(s, f)$, необходимо решить задачу по оценке степени связности ЦКС в сети. С этой целью составим матрицу весов $\|A\| = \|a_{ij}\|$ данной сети:

$$\|A\| = \begin{pmatrix} 0 & 3 & 3 & 2 & \infty & \infty & \infty \\ 3 & 0 & 2 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 3 & 2 & 0 & 1 & \infty & 3 & 2 \\ 2 & \infty & 1 & 0 & \infty & \infty & 3 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 0 & 4 & \infty \\ \infty & \infty & 3 & \infty & 4 & 0 & 4 \\ \infty & \infty & 2 & 3 & \infty & 4 & 0 \end{pmatrix}, \quad (6.27)$$

где элементами являются значения времени передачи фиксированного объема сообщения между узлами, причем $a_{ij=i} = 0$, а при отсутствии канала между U_i и U_j – время доведения $a_{ij} = \infty$.

Матрица $\|A\|$ характеризует маршруты, содержащие один канал, непосредственно соединяющий центры коммутации сообщений. Для получения матрицы, характеризующей маршруты всех кратчайших путей между всеми центрами коммутации сети, используем операцию последовательного возведения матрицы $\|A\|$ во вторую степень, третью и т. д. В результате получаем матрицы $\|A\|^2, \dots, \|A\|^n$, каждый элемент которых определяется как минимум из сумм соответствующих элементов i -й строки и j -го столбца исходной матрицы:

$$Y_{ij}^n = \min(Y_{i1} + Y_{1j}, Y_{i2} + Y_{2j}, Y_{i3} + Y_{3j}, \dots, Y_{im} + Y_{mj}), \quad (6.28)$$

где m – число строк и столбцов в матрице, т. е. число ЦКС в сети.

Примеры нахождения значений элементов матрицы $\|A\|^2$:

$$\begin{aligned} y_{13}^2 &= \min (y_{11}+y_{13}, y_{12}+y_{23}, y_{13}+y_{33}, \dots, y_{17}+y_{73}) = \\ &= \min (3, 5, 3, 3, \infty, \infty, \infty) = 3, \end{aligned} \quad (6.29)$$

$$\begin{aligned} y_{17}^2 &= \min (y_{11}+y_{17}, y_{12}+y_{27}, y_{13}+y_{37}, \dots, y_{17}+y_{77}) = \\ &= \min (\infty, \infty, 5, 5, \infty, \infty, \infty) = 5. \end{aligned} \quad (6.30)$$

После выполнения указанных операций получаем

$$\|A\|^2 = \begin{vmatrix} 0 & 3 & 3 & 2 & \infty & 6 & 5 \\ 3 & 0 & 2 & 3 & \infty & 5 & 4 \\ 3 & 2 & 0 & 1 & 7 & 3 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & \infty & 4 & 3 \\ \infty & \infty & 7 & \infty & 0 & 4 & 8 \\ 6 & 5 & 3 & 4 & 4 & 0 & 4 \\ 5 & 4 & 2 & 3 & 8 & 4 & 0 \end{vmatrix}. \quad (6.31)$$

Операция последовательного возведения в степень n повторяется до тех пор, пока матрица не перестанет изменяться, т. е. не станет характеристической. Следует отметить, что степень n соответствует максимально возможному количеству последовательно соединенных каналов, связывающих между собой центры коммутации сообщения. Так, матрица $\|A\|^3$ характеризует кратчайшие маршруты между U_i и U_j , включающие три канала или менее, а весовые значения a_{ij} показывают минимальное время для передачи сообщения между данными узлами:

$$\|A\|^3 = \begin{vmatrix} 0 & 3 & 3 & 2 & 10 & 6 & 5 \\ 3 & 0 & 2 & 3 & 9 & 5 & 4 \\ 3 & 2 & 0 & 1 & 7 & 3 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 8 & 4 & 3 \\ 10 & 9 & 7 & 8 & 0 & 4 & 8 \\ 6 & 5 & 3 & 4 & 4 & 0 & 4 \\ 5 & 4 & 2 & 3 & 8 & 4 & 0 \end{vmatrix}. \quad (6.32)$$

При попытке возвести матрицу $\|A\|^3$ в четвертую степень выясняется, что она не претерпевает изменений, следовательно, является характеристической. Можно сделать вывод: в предложенном варианте

сети оптимальные по времени маршруты, связывающие любые ЦКС в данной сети, содержат как максимум три последовательно соединенных канала. Это означает, что матрица $\|A\|^3$ является матрицей оптимальных путей ($\|A\|^{\text{опт}}$), которую можно использовать для определения оптимального направления передачи из U_s в U_f , т. е. для нахождения канала x , смежного с узлом U_s , через который пройдет оптимальный маршрут от U_s к U_f .

Для того чтобы составить таблицу маршрутизации, нужно учесть время, необходимое для передачи сообщения из исходящего ЦКС U_s к смежному U_x , а затем определить время прохождения сообщения по оптимальному маршруту между U_x и U_f . Для этого в исходной матрице $\|A\|$ определяются t_{sx} -веса, соответствующие каналам, соединяющим центры U_s и U_x . Далее по матрице $\|A\|^{\text{опт}}$ находят значения $t_{xf}^{\text{опт}}$ весов оптимальных путей из узлов U_x , смежных с узлом U_s , через который пройдет оптимальный маршрут от U_s к U_f , а затем определяют

$$t_x(s, f) = t_{sx} + t_{xf}^{\text{опт}}. \quad (6.33)$$

Сумма этих элементов и будет являться временем оптимальной передачи сообщения из U_s в U_f через U_x данной сети.

Для определения времени передачи сообщения из U_7 в U_1 в исходной матрице выделим

$$t_{73} = 2 \text{ с}; \quad t_{74} = 3 \text{ с}; \quad t_{76} = 4 \text{ с}. \quad (6.34)$$

По характеристической матрице находим время передачи сообщения из третьего, четвертого и шестого ЦКС (соответствующие строки) в первый (столбец):

$$t_{31}^{\text{опт}} = 3 \text{ с}; \quad t_{41}^{\text{опт}} = 2 \text{ с}; \quad t_{61}^{\text{опт}} = 6 \text{ с}. \quad (6.35)$$

Далее по формуле (6.33) определим общее время, необходимое для передачи сообщения из седьмого ЦКС в первый по оптимальным маршрутам (через третий, четвертый и шестой узлы):

$$t_3(7, 1) = t_{73} + t_{31}^{\text{опт}} = 2 + 3 = 5 \text{ с}; \quad (6.36)$$

$$t_4(7, 1) = t_{74} + t_{41}^{\text{опт}} = 3 + 2 = 5 \text{ с}; \quad (6.37)$$

$$t_6(7, 1) = t_{76} + t_{61}^{\text{опт}} = 4 + 6 = 10 \text{ с}. \quad (6.38)$$

И, наконец, все показатели объединим в таблицу маршрутизации (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Номер центра отправителя U_s	Номер транзитного центра коммутации, смежного с $U_s \cdot U_x$	Время доведения сообщения, с						
		Номер центра получателя сообщения U_f						
		1	2	3	4	5	6	7
1	2	–	3	5	6	12	8	7
	3	–	5	3	4	10	6	5
	4	–	5	3	2	10	6	5
2	1	3	–	6	5	13	9	8
	3	5	–	2	3	9	5	4
3	1	3	6	–	5	13	9	8
	2	5	2	–	5	11	7	6
	4	3	4	–	1	9	5	4
	6	9	8	–	7	7	3	7
	7	7	6	–	5	10	6	2
4	1	2	5	5	–	12	8	7
	3	4	3	1	–	8	4	3
	7	8	7	5	–	11	7	3
5	6	10	9	7	8	–	4	8
6	3	6	3	5	6	12	–	7
	5	14	13	11	12	4	–	12
	7	9	8	6	7	12	–	4
7	3	5	4	2	4	9	5	–
	4	5	6	6	3	11	3	–
	6	10	9	7	8	8	4	–



6.3. Назначение и краткая характеристика телематических служб

Одним из последних достижений в области развития связи стало появление и развитие новых служб передачи информации, получивших название телематических.

Телематические службы определены МСЭ-Т как службы электро-связи, которые не являются ни телефонными, ни телеграфными, ни службами передачи данных. Это определение имеет «открытый» характер, так как ограничено только со стороны трех традиционных видов связи. Простор оставлен для дальнейшего развития телематических служб, число которых действительно непрерывно растет. С начала 80-х гг.,

когда появилась первая служба телекса, их стало более 30: телетекс, телефакс, бюрофакс, телерукопись, видеотекс, обработка сообщений, телетекст, справочная, телеконференция, телебиржа, телемагазин, телеаукцион и др. Данные и характеристики многих телематических служб регламентированы МСЭ (протоколы всех уровней, интерфейсы, наборы кодовых символов, форматы и т. д.).

Рассмотрим, что представляют собой основные телематические службы.

1. *Телетекс* – буквенно-цифровая система передачи деловой корреспонденции, предназначенная для обслуживания учреждений и предприятий. Основная идея телетекса – объединение всех возможностей современной пишущей машинки с возможностями сети электросвязи при передаче сообщений с сохранением не только содержания, но и формы текста. Эта система несколько напоминает систему телекса (абонентский телеграф – АТ), но отличается от нее сохранением формы текста, значительно большим набором знаков, большей скоростью передачи, высокой достоверностью (одна ошибка на 400 страниц печатного текста), возможностью редактировать подготавливаемую к передаче документацию.

Принципиальное преимущество телетекса перед телексом – отсутствие необходимости работать на клавиатуре дважды: при подготовке письма и при его передаче. Это достигается благодаря тому, что подготовленный текст запоминается оперативным запоминающим устройством (ОЗУ) абонентского терминала, откуда сообщение автоматически передается по сети связи.

Абонентский терминал телетекса функционирует с использованием персональной ЭВМ (ПЭВМ), модема, работающего по телефонной сети со скоростью 1 200–2 400 бит/с, и специального математического обеспечения. Некоторые типы терминалов телетекса предназначены для работы по сетям данных с коммутацией пакетов.

2. *Телефакс* – факсимильная служба общего пользования, предназначенная для передачи сообщений между абонентскими факсимильными аппаратами, установленными, как правило, в учреждениях и на предприятиях.

Сущность факсимильной передачи заключается в том, что подлежащее передаче изображение (оригинал) делится на большое число элементарных участков, отличающихся друг от друга яркостью отражаемых световых лучей. От каждого участка исходит пропорциональный его яркости электрический сигнал. Сигналы передаются последовательно по каналу связи в приемник, где осуществляется их обратное преобразование. Из элементарных участков складывается принятое изоб-

ражение – репродукция. Оригинал может быть отпечатан или написан вручную, может содержать текст, формулы, чертежи, рисунки, подписи, оттиски печатей, фотографии, быть черно-белым, полутонным (т. е. иметь больше двух градаций яркости) или многоцветным.

Возможность передачи практически любых изображений – основное достоинство факсимильной связи, к другим ее преимуществам можно отнести практически полное соответствие репродукции оригиналу и высокую помехоустойчивость.

Основным недостатком телефакса является большая избыточность передаваемых сообщений: объем передаваемой информации по сравнению с буквенно-цифровой передачей (например в службе телетекс) больше в 100–150 раз. Вследствие этого в современных факсимильных аппаратах предусматриваются средства сокращения избыточности (сжатия данных). Различают четыре группы факсимильных служб.

Факсимильная служба группы № 1 осуществляет аналоговую передачу без сжатия данных и передачу факсимильных сообщений по автоматически коммутируемой телефонной сети общего пользования (АКТС ОП). Страница текста передается примерно за 10 мин.

Факсимильная служба группы № 2 имеет ограниченные возможности для сжатия данных, страница текста передается по АКТС ОП за 3 мин.

Факсимильная служба группы № 3 позволяет передавать сигналы в цифровой форме при реализации сложного алгоритма сжатия данных. Страница текста передается по АКТС ОП за время, меньшее 1 мин.

Факсимильная служба группы № 4 также предусматривает передачу сигналов в цифровой форме и сложный алгоритм сжатия данных. Информация может передаваться по цифровой сети (например по цифровой сети с интеграцией служб), причем страница текста передается за время, меньшее 1 с.

Терминалы факсимильных служб автоматически выполняют следующие функции:

- установление соединений;
- передачу, прием и регистрацию сообщений;
- идентификацию абонентского устройства корреспондента;
- проставление оттиска штампа на оригинале и копии документа;
- регистрацию служебной информации на контрольной ленте (операционный журнал);
- накопление в запоминающем устройстве некоторого объема передаваемых и принятых сообщений.

В последние годы в качестве факсимильных аппаратов часто используют ПЭВМ. Для этого их оснащают двумя дополнительными устройствами – сканером, служащим для считывания информации с

оригинала и ввода ее в ПЭВМ, и факсимильной платой, осуществляющей сопряжение ПЭВМ с сетью связи, установление, разъединение соединений и управление факсимильной передачей.

Факсимильный терминал на базе ПЭВМ по сравнению с факсимильным аппаратом имеет ряд дополнительных возможностей:

- подготовка документов с помощью клавиатуры и передача их из постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) (тем самым исключается процедура сканирования, снижающая качество копии);
- предварительный просмотр принимаемых сообщений на дисплее;
- введение с помощью текстовых и графических редакторов в текстовые документы графических изображений и формирование графических изображений с клавиатуры;
- оказание многочисленных дополнительных сервисных услуг (в качестве справочников, шаблонов, архивов, календарей, записных книжек, калькуляторов);
- использование для получения твердых копий обыкновенной бумаги вместо применяемой в факсимильных аппаратах термографической, более дорогой и не подлежащей длительному хранению.

Применение персональных ЭВМ в качестве факсимильных терминалов не только не исключает возможности их использования по основному назначению, но и позволяет работать в фоновом режиме, т. е. принимать и передавать факсимильные сообщения во время выполнения прикладных программ.

К недостаткам факсимильного терминала на базе ПЭВМ следует отнести большую сложность работы абонента и использование части оперативного запоминающего устройства.

3. *Бюрофакс* – служба общего пользования для передачи документов между факсимильными аппаратами, расположенными в отделениях связи, в которые клиенты сдают подлежащие передаче оригиналы.

Доставка клиентам сообщений, принятых по службе бюрофакса в отделениях связи, осуществляется так же, как и доставка телеграмм. Сообщения передаются по телефонной сети и сетям ПД. Многие документы являются совокупностью текстовых частей, которые эффективнее передавать кодовым методом, и графических изображений (подписи, рисунки, фирменные знаки и пр.), передаваемых факсимильным методом. Вследствие этого появился смешанный способ работы, когда попеременно используются кодовый и факсимильный методы передачи документа. Такой способ реализуется с помощью аппаратуры группы № 4, где текстовая часть передается кодовым методом, а те части, которые из-за невозможности передать кодовыми символами или по иным при-

чинам требуют сохранения полной идентичности формы, – факсимильным методом.

4. *Телерукопись* – служба передачи графической информации, отображаемая на принимающем конце движением «пера», пишущего на передающем конце канала. Сообщения, которые могут представлять собой рукописный текст, рисунки, чертежи и тому подобное, наносятся отправителем на бумагу, лежащую на специальном планшете. На приемном конце канала связи сообщения воспроизводятся на бумаге или, чаще всего, на экране дисплея. Во многих случаях телерукопись дополняет телефонную службу. При этом письменные сообщения передаются по телефонному каналу в узком диапазоне частот со скоростью 300 бит/с. Эта служба представляет особенно большой интерес для глухих и немых пользователей.

5. *Видеотекс* – информационно-справочная служба, дающая пользователям возможность с помощью оконечных терминалов и стандартных процедур доступа получать информацию из банков данных (БД) по сетям электросвязи. Служба видеотекса предоставляет следующие услуги:

- информационный поиск – получение абонентами информации путем диалога с банком данных;
- транзакции – ввод или модификация абонентами информации, хранящейся в банке данных. Для пользования этой услугой требуется выполнять специальные функции и процедуры подтверждения права доступа к ней;
- управление сообщениями – связь абонентов друг с другом путем накопления сообщений в общедоступном банке данных. Накопленные сообщения могут быть получены по запросу абонента или предоставляться автоматически;
- обмен сообщениями между оконечными установками – обмен информацией между абонентами в диалоговом режиме;
- обработка данных – использование памяти банка данных для обработки информации или программ в соответствующем оконечном оборудовании службы видеотекса;
- взаимодействие с другими телематическими службами – доступ абонентов к услугам и (или) абонентам других телематических служб.

При необходимости получать информацию из БД пользователь с помощью стандартного телефонного аппарата (ТА) набирает номер БД и в ответ получает сигнал определенной частоты (2 100 Гц), после чего нажатием на кнопку на терминале отключает ТА и переводит терминал в режим диалога с БД. В подтверждение установления логического

соединения терминала с БД на дисплее терминала пользователя появляется кадр приветствия. Далее БД с помощью вводимого пользователем пароля идентифицирует абонента. При положительном решении пользователю предоставляется возможность получения интересующей информации с помощью специально разработанной системы меню. С этого момента абонент может работать с банком данных по правилу запрос – ответ.

Запрос производится с клавиатуры терминала путем набора цифр от 0 до 9 и специальных знаков # и *. По запросу БД выдает интересующую абонента информацию. Доступ к информации, хранящейся в банке данных древовидной структуры, может осуществляться двумя путями. Если пользователь знает, на какой странице находится нужная ему информация, то он должен набрать только необходимый номер, если же не знает – произвести поиск с помощью меню.

Получив интересующую информацию, пользователь может запросить счет (данные о начисленной плате за услуги) и затем выйти из соединения с БД.

В службе видеотекса используются абонентские терминалы трех типов: специализированные, на базе ПЭВМ и бытового телевизора. Специализированные терминалы представляют собой изделия, объединяющие в одном корпусе мини-ЭВМ, дисплей, клавиатуру, модем. Терминал второго типа состоит из ПЭВМ, модема и дискеты с программным обеспечением видеотекса. Терминал третьего типа, рассчитанный в основном на использование в быту, представляет собой приставку к телевизору и состоит из логического устройства, простейшей клавиатуры (тастатуры) и модема.

Терминалы службы видеотекса могут устанавливаться не только в квартирах, офисах, учреждениях, на предприятиях, но и в местах общего пользования – в почтовых отделениях, на вокзалах и т. д.

Банки данных службы видеотекса рассчитаны на хранение не менее 300 тыс. страниц; вероятность отказа в обслуживании пользователей не более 0,01.

Видеотекс, как правило, дает возможность передавать цветные изображения. В дальнейшем намечается дополнить его визуальную информацию звуковым сопровождением.

Одной из модификаций службы видеотекса является электронная товарная посредническая служба (ЭТПС). Ее абоненты с помощью терминалов устанавливают соединения со специализированным на однородную группу товаров (например стройматериалов или комплектующих радиоэлектроники) банком данных, выставляют товар (сообщают его характеристики) на продажу или производят его поиск с целью покупки.

Абонент ЭТПС при выставлении товара на продажу сообщает о нем необходимые сведения, товарный индекс, а также свои реквизиты (номера телефона, телекса, телефакса, адрес). При поиске товара абонент по переданному в БД цифровому коду, который указан в каталоге товарных индексов, получает информацию о наличии предложений о продаже необходимого товара и его основных характеристиках (размере партии, цене, реквизитах продавца и т. п.).

6. *Служба обработки сообщений (СОС)* предоставляет пользователям возможность передачи сообщений через промежуточные накопители методом коммутации сообщений. Ее также называют электронной почтой. В СОС абонентские терминалы отправителя и получателя могут различаться. Например, у отправителя может быть телеграфный аппарат, а у получателя – факсимильный группы № 3. Служба обработки сообщений обеспечивает необходимые преобразования сообщений и рассчитана на передачу не только текстовой и графической информации, но и звуковых сообщений (запись в промежуточный накопитель с последующим воспроизведением – так называемая телефонная почта).

В СОС предусмотрено взаимодействие (обмен сообщениями) с другими телематическими службами, телексом и службами физической доставки сообщений (традиционной почтой).

Для СОС характерно весьма полное удовлетворение потребностей пользователей в различных услугах и высокое качество передачи. Служба предоставляет абоненту удобные средства для подготовки (шаблоны) и редактирования текстов, сортировки и хранения принятых сообщений и копий отправленных писем. Математическое обеспечение терминалов позволяет пользоваться ими абонентам, мало сведущим в программировании, для чего имеется возможность работы с терминалом в режиме диалога и получения справочной информации, применяется доступное меню.

Сообщения принимаются и передаются автоматически. При выключенном или не готовом к приему сообщений терминале пользователь ставится в известность (световым или звуковым сигналом) о том, что для него получено сообщение. Передача сообщений по мере готовности терминала производится также автоматически (независимо от пользователя). При необходимости служба обеспечивает конфиденциальность передаваемых сообщений.

Служба обработки сообщений представляет собой важнейший элемент электронной (бесбумажной) канцелярии, с помощью которого выполняются функции помощника и секретаря абонента; осуществляется просмотр очередных подготовленных к отправке сообщений, сортировка принятых сообщений с выдачей абонентам информации типа

«Только что поступило», «Получено уведомление о доставке адресату», «Сообщение еще не прочитано», «Сообщение еще не отослано», «Сообщение переадресовано» и т. д.

Наряду с текстовыми документами, графической информацией в качестве сообщений могут передаваться файлы данных, полутоновые изображения, тексты программ ЭВМ, формы – таблицы, бланки, счета и др. При передаче заполненных форм нет необходимости каждый раз передавать их структуру. Она может храниться в памяти получателя, так что достаточно знать только номер формы.

Служба гарантирует доставку корреспонденции по назначению благодаря контролю за прохождением сообщения по всему маршруту – от отправителя до получателя. При этом пользователь имеет возможность получить уведомление о доставке или недоставке сообщения (с указанием причины). В случае многоадресных сообщений уведомление о недоставке может относиться к любому из получающих сообщение абонентов или ко всем абонентам, не получившим его.

Для удобства пользователей служба может передавать отправителю и получателю дату и время подачи сообщений, доставлять сообщения получателю в установленное отправителем время, а отправителю отменять эту услугу, если сообщение уже доставлено. Отправитель может сделать запрос на возвращение поданного сообщения, а также выяснить, может ли система доставить какое-либо сообщение указанным получателям.

В числе новых важных услуг СОС – защита сообщений от несанкционированного доступа, т. е. обеспечение целостности информации, сохранение ее конфиденциальности, аутентификация пользователей (установление подлинности источника и приемника сообщения).

Для СОС обычно используется сеть данных с коммутацией пакетов, а также телефонные сети и некоммутируемые (арендованные) каналы. Она может явиться ядром недиалоговых служб связи, обеспечивая обмен сообщениями между ними.

7. Телетекст в отличие от всех указанных служб является циркулярной, симплексной и неинтерактивной. Информация хранится в виде блоков (страниц) в БД, аналогичных БД службы видеотекста, но меньших по объему. Информация передается по телевизионной сети с циклическим повторением страниц.

Передача сообщений телетекста может идти вместо телевизионной программы или одновременно с ней. Терминалом служит телевизор, снабженный специальной приставкой. В телевизоры пятого поколения такие приставки встроены. Абонент с помощью кнопочной тастатуры, имеющейся в телевизоре или приставке, выбирает нужные ему страницы.

8. *Справочная служба (СС)* – единая для всех служба электро-связи. Основные ее функции – нахождение адреса (номера) по имени пользователя (например, номера телефона фирмы по ее названию), а также выдача сведений о порядке пользования службами, их характеристиках, тарифах и т. п. Справочная служба может также использоваться для аутентификации абонентов.

Основой СС является распределенная база данных, с которой абоненты работают в интерактивном режиме (запрос–ответ). При этом желательно, чтобы время доступа абонента в СС составляло не более 15 с, а время от запроса до ответа – не более 5 с.

9. *Служба телеконференции* позволяет проводить в реальном масштабе времени конференции между пользователями, расположенными в разных местах, с помощью терминалов и сетей электросвязи. Различают варианты услуг, предоставляемых данной службой: аудио-графические и видеоконференции. Первые передают звуковые сигналы и неподвижные изображения, вторые – звуковые сигналы и подвижные изображения.

Сочетание визуального и слухового восприятия сообщений пользователем очень важно. По результатам массового обследования, проведенного фирмой «Дженерал Электрик», человек надолго запоминает 10 % прочитанного, 20 % услышанного, 30 % увиденного и 50 % из того, что он увидел и услышал одновременно.

При вводе сообщения с терминала участника конференции оно воспроизводится на дисплеях всех других участников, терминалы которых включены в тот же канал. Распорядок работы конференции устанавливает ее ведущий, который предоставляет слово для выступления и имеет право лишить любого из участников возможности выступить. Участники конференции могут ознакомиться с присутствующими на ней, пригласить к обмену информацией абонента сети, обсудить назначение ведущего, переслать другим участникам частные сообщения.

Телеконференции бывают постоянно действующими и ограниченными по времени проведения. Первые образуют неформальные коллективы и группы по определенным интересам. Они предоставляют возможность обмена актуальной информацией (по мере надобности) и накопления распределенной базы данных по какой-либо тематике. Служба телеконференций, работающая в реальном масштабе времени, выгодно отличается от компьютерных конференций, основанных на принципе промежуточного накопления информации.

10. *Телебиржа* – автоматизированная система, подобная традиционной бирже и обеспечивающая все ее функции: регистрацию брокеров, товаров, заявок на покупку-продажу, изменение сумм кредитов

на счетах брокеров и т. д. Одновременно работают несколько представителей биржевого комитета (трейдеров) и брокеров; осуществляется защита баз данных и паролей доступа к системе.

Подача заявок брокеров и клиентов производится с их терминалов. Участники торгов, которые заявили о покупке-продаже каких-либо товаров, автоматически оповещаются об имеющихся предложениях по ним. При наличии встречных предложений с подходящими ценами сделки осуществляются автоматически.

11. *Телемагазин* представляет собой службу, предназначенную для проведения торговых операций между покупателями и поставщиками товаров с помощью сетей электросвязи. По сути, это расширение возможностей службы видеотекста, добавление к его услугам справочного характера услуг по заказу выбранного продукта, товара.

В службе телемагазина все данные об имеющихся в продаже товарах построены по иерархической системе: тип товара, перечень магазинов, торгующих товарами этого типа (типов), ассортимент и цены товаров в данном магазине, подробные характеристики товаров, способ оплаты, стоимость покупки. Выбрав по меню желаемый товар, пользователь делает заказ, сообщая свои платежные реквизиты. После этого телемагазин отправляет накладную поставщику товаров для доставки их покупателю.

12. *Телеаукцион* отличается от традиционного аукциона тем, что его участники могут находиться в разных местах, соединенных каналами связи с центром службы, и имеют дело сразу со всеми лотами (товарами, выставленными на продажу). Для участия в аукционе пользователи службы подают ведущему аукциона платные заявки на включение в списки участников, в которых указываются организация, ее адрес, должность, фамилия и инициалы ответственного лица, контактный телефон, финансовые реквизиты. После этого каждый участник получает личный пароль, дающий право доступа к информации о лотах.

В процессе торгов участники телеаукциона сообщают цены на нужные им лоты. По истечении определенного времени после объявления последней цены (это время определяет ведущий аукциона) лот считается проданным.

Перспективы развития телематических служб

За последние десятилетия телематические службы созданы во многих развитых в экономическом отношении странах. Наибольшее число абонентских терминалов – у факсимильных служб. В 2006 г. их число в мире превысило 20 млн. Этому способствовало наличие в эксплуатации (особенно в Японии и США) большого числа факсимильных

аппаратов и то, что факсимильная связь органично вписывается в существующую технологию документооборота. Первая служба телефакса была создана в ФРГ в 1979 г. В Западной Европе заметный рост числа факсимильных терминалов начался со второй половины 80-х гг.

Вслед за факсимильными службами по числу терминалов идет служба видеотекса. В 2006 г. их число в мире превысило 14 млн, из которых около 8,5 млн было во Франции, 3 млн – в США, 500 тыс. – в Германии.

Массовое внедрение службы видеотекса во Франции, получившее название *Teletel*, началось в 1982 г. с нескольких десятков тысяч абонентов. К 1985 г. число их возросло до 530 тыс., а к 1990 г. превысило 5 млн. Большая доля (90 %) терминалов во Франции была установлена бесплатно, а 10 % – за умеренную плату; с 1989 г. ввели символическую плату – 1 дол. США в месяц. Только с 1991 г. были введены постоянные тарифы. Количество пользователей службы *Teletel* к 1989 г. составило 8,5 млн человек и делилось поровну между квартирными и профессиональными пользователями, хотя последние составляли примерно 30 % от общего числа абонентов. Число поставщиков информации составляло около 11 тыс. Годовой доход превысил 5 млрд франков.

Возросли темпы развития службы видеотекса в США (в 1993 г. более 8 млн абонентов), Канаде, Англии, Италии, Испании, Бельгии, Японии, Германии.

В Германии существует более 500 тыс. абонентов службы видеотекса, которые осуществляют в месяц более 9 млн соединений при среднем времени занятия канала 350 мин. в месяц. Темп прироста числа абонентов составляет несколько тысяч в месяц.

Трудности на пути развития службы видеотекса связаны с тем, что на начальном этапе ее внедрения возникает проблема: из-за небольшого объема баз данных трудно привлечь широкий круг пользователей, а при незначительном количестве пользователей нет средств для развития баз данных. Международный опыт (в первую очередь, во Франции) показал, что внедрение службы видеотекса требует формирования некоторой «критической массы» пользователей, которая обеспечивает самокупаемость и экономическую эффективность служб.

Проведенные в Московском техническом университете связи и информатики (МТУСИ) исследования показали, что использование службы видеотекса в домашних условиях экономит нерабочее время в результате быстрого получения справок и услуг, сокращает время ожидания в очередях, число поездок, а также потери рабочего времени на наведение справок личного характера в служебное время. Экономия нерабочего времени составляет в среднем на один терминал видеотекса 270 час. в год, а рабочего – 100 час. Не менее важен социаль-

ный эффект, который проявляется в повышении информированности общества, культурного, образовательного, профессионального уровня, создании жизненных удобств, меньшей усталости людей при пользовании транспортом.

Следует отметить, что наряду с регламентированной МСЭ службой видеотекса в зарубежных странах широко распространены другие службы диалогового доступа по сетям связи с абонентских терминалов к БД.

Со второй половины 80-х гг. все более широкое распространение в мире получила служба обработки сообщений. В США и большинстве западноевропейских стран такие службы были введены в 1988–1989 гг.

Телематические службы России базируются как на телефонной сети, так и на сетях данных. В ЦНИИС Министерства связи и массовых коммуникаций РФ создана универсальная телематическая служба (УТМС) на базе телефонной сети, которая объединяет телетекс, телефакс, бюрофакс и видеотекс.

На УТМС в качестве терминалов устанавливают ПЭВМ, которые имеются у абонентов и большую часть времени используются ими по основному назначению (заметим, что в 1993 г. к выводу о нецелесообразности использования специализированных терминалов в службе видеотекса пришли и в ведомстве электросвязи ФРГ).

Имеющиеся в России сети данных с коммутацией пакетов предоставляют пользователям услуги телетекса, телефакса, службы обработки сообщений, видеоконференции. По числу абонентов телематических служб Россия сильно отстает от США, стран Европы, Японии.

В зарубежных странах широко распространены службы телеконференции, телемагазинов и в несколько меньшей степени – справочные службы, телебиржи, телеаукционы.

Таким образом, телематические службы весьма разнообразны и различаются видом передаваемой информации (текст, речь, неподвижные и подвижные изображения или сочетание нескольких видов – службы мультимедиа), характером передаваемой информации – непрерывная и прерывистая, скоростями передачи – от нескольких сотен и тысяч бит в секунду до 40 Мбит/с.

Развитие телематических служб идет в направлении создания новых, более совершенных услуг, что соответствует тенденциям максимального удовлетворения возрастающих потребностей пользователей сетей связи.

Проявляется и другая тенденция – стремление к объединению всех пользователей связи в единое сообщество, в котором каждый может связаться с каждым независимо от того, по какой сети он работает и услугами какой службы пользуется.

Наконец, третья тенденция: переход от монослужб к службам мультимедиа, т. е. службам с несколькими носителями информации (звук, документ, подвижное изображение).

Вопросы для самоконтроля

1. Принципы построения телеграфной связи.
2. Принципы построения сети передачи данных.
3. Основные качественные показатели сетей телеграфной связи и передачи данных. В чем сходство и различие?
4. Аппаратура передачи данных использует модем с восьмифазовой относительно фазовой модуляцией ($m = 8$) и имеет скорость передачи единичных элементов цифрового сигнала данных $N = 1800$ 1/с. Относительная скорость передачи $R = 0,75$. Каждая кодовая комбинация содержит 8 бит, в пакет входит 98 комбинаций, а сообщение содержит 10 пакетов. Необходимо определить эффективные скорости передачи битов, комбинаций, пакетов и сообщений.
5. Составить таблицу маршрутизации для пяти узлов соединенных по принципу «каждый с каждым».
6. Назначение и краткая характеристика телематических служб.
7. В чем преимущество сети телеграфной связи перед сетью телефонной связи?
8. Какая вероятностная характеристика является определяющей для сети передачи данных?
9. Какие коды применяются в телеграфных сетях и сетях передачи данных? Их достоинства и недостатки.
10. От чего зависит скорость передачи сообщений в телеграфной сети?

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Булгак В.Б.** Основы управления связью Российской Федерации / В.Б. Булгак, Л.Е. Варакин, А.Е. Крупнов и др; под ред. А.Е. Крупнова и Л.Е. Варакина. – М.: Радио и связь, 1998. – 184 с.
2. **Деревянко Л.В.** Военная техника передачи данных и телеграфия. – Л.: ВАС, 1980.
3. **Копничев Л.Н.** Телеграфия и оконечное оборудование документальной электросвязи / Л.Н. Копничев, С.И. Сахарчук. – М.: Радио и связь, 1990.
4. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года: руководящий документ. – Книга 4: Основные положения развития сетей и служб документальной электросвязи. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996.

Глава 7

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ И СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ МАССОВЫХ СООБЩЕНИЙ

Процесс становления радиосвязи с подвижными объектами как самостоятельной подотрасли во всех странах мира растянулся на долгие годы. От начала коммерческого использования в 1946 г. в течение последующих 35 лет наблюдался практически полный застой и только спустя 40 лет, т. е. в 1986 г., уровень насыщения рынка достиг 0,4 %.

Для объяснения такой ситуации существует много факторов, включая высокую стоимость оборудования, дефицит частотного спектра, несовершенство законодательного регулирования, недостаточно высокий потребительский спрос, неадекватность технологического уровня производства условиям эксплуатации, – все они внесли свой посильный вклад в торможение процесса массового развертывания подвижной связи.

Тем не менее в начале 90-х гг. начался и в настоящее время активно развивается процесс внедрения в инфраструктуру связи России телекоммуникационных радиотехнических средств и комплексов, в полной мере отвечающих требованиям передовых современных технологий в этой области. Среди таких средств и комплексов значительное место занимают развивающиеся высокими темпами сети радиосвязи с подвижными объектами, в том числе сотовые, транкинговые, персонального радиовызова, абонентского радиодоступа, радиопакетной документальной электросвязи.



7.1. Сети радиосвязи с подвижными объектами

Рассмотрим принципы построения таких сетей, их взаимодействие между собой и с телефонной сетью общего пользования.

7.1.1. Назначение сетей радиосвязи с подвижными объектами и их классификация

Радиосвязь является составной частью электросвязи и предназначена для передачи или приема информации в виде знаков, сигналов, письменного текста и изображений с помощью радиоволн. Она организуется с помощью сетей фиксированной радиосвязи и сетей радиосвязи с подвижными объектами (СРПО).

Сеть фиксированной радиосвязи – сеть радиосвязи между определенными фиксированными пунктами, т. е. между пунктами, географическое положение которых постоянно и не меняется в процессе ведения радиосвязи [8].

Сеть радиосвязи с подвижными объектами – это совокупность технических средств (радиооборудование, коммутационное оборудование, соединительные линии и сооружения), с помощью которых подвижным абонентам можно предоставлять связь между ними и с абонентами телефонной сети [8]. Она предназначена для обслуживания абонентов при международном, национальном и региональном передвижениях (роуминг) и позволяет обеспечивать связь между ними при пересечении ими границ разных географических зон.

Роуминг – это процесс обслуживания блуждающего абонента.

Системы передачи в СРПО работают, как правило, в КВ- и УКВ-диапазонах, которые поделены на 10 полос частот: I (1,6–30 МГц); II (33–48,5 МГц); III (57–57,25 МГц); IV (74–74,6 МГц); V (75,4–76 МГц); VI (146–174 МГц); VII (300–308 МГц); VIII (336–344 МГц); IX (451–466 МГц) и X (890–960 МГц). Указанные полосы между видами подвижной связи разделены ориентировочно:

IX–X используются в СРПО общего пользования;

I–VIII применяются в технологических диспетчерских сетях;

I–VI задействуются в сетях персонального вызова.

Сети радиосвязи с подвижными объектами классифицируют по нескольким признакам [8].

1. По степени доступности абонентов к сети – на СРПО общего пользования и технологические сети (рис. 7.1).

Технологические СРПО принадлежат определенным ведомствам и службам (газовой промышленности, железнодорожному транспорту, скорой помощи, сельскохозяйственным предприятиям и др.) и предназначены для предоставления услуг радиосвязи ограниченному контингенту физических и юридических лиц.

Технологические СРПО подразделяются на диспетчерские, транкинговые и радиосети передачи данных. Диспетчерские предназначены

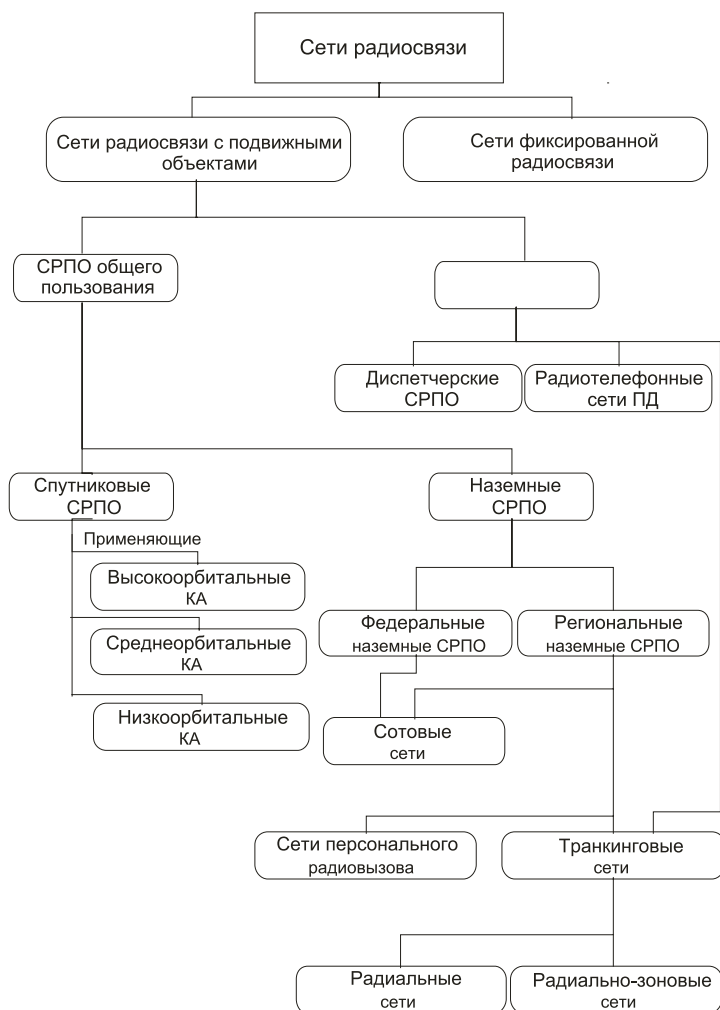


Рис. 7.1. Классификация сетей радиосвязи с подвижными объектами

для радиотелефонной связи должностных лиц органов управления с подчиненными подвижными объектами (ПО), а также для связи между абонентами. Примерами таких сетей могут быть сети на базе радиостанций «Колос», «Лен», «Гранит», «Вилия» и др.

Выделение радиосети передачи данных в отдельную группу объясняется все возрастающей ролью различных автоматизированных систем управления производством, его материально-технического

обеспечения, в которых значительный объем информации должен передаваться с большой скоростью непосредственно между подвижными объектами.

Сеть радиосвязи с подвижными объектами общего пользования предназначена для предоставления услуг радиосвязи всем физическим и юридическим лицам, в услугах которой этим лицам не может быть отказано. Данная сеть включает наземные и спутниковые СРПО.

Спутниковые СРПО России предназначены преимущественно для предоставления услуг связи подвижным пользователям, находящимся в регионах, не обеспеченных услугами наземных СРПО, а также стационарным пользователям регионов, недостаточно обеспеченным услугами связи. Они должны предоставлять услуги главным образом междугородной, а также зонавой и местной связи. В данных сетях используются ретрансляторы связи, находящиеся на низкоорбитальных космических аппаратах (500–1 500 км), но может быть задействован ресурс ретрансляторов связи на средне- (до 16 000 км) и высокоорбитальных космических аппаратах (до 40 000 км) [10].

Наземные СРПО функционируют на территориях крупных городов, населенных пунктов и пригородов, аэропортов, развитых экономических зон, а также оживленных сухопутных (шоссе́йных) и прибрежных водных (речных, озерных, морских) трассах.

В регионах России, частично или полностью охваченных СРПО (как наземными, так и спутниковыми), вводится режим попеременного использования сетей с применением универсального оконечного оборудования абонентов. Абонент, находясь в зоне обслуживания (действия) наземной сети, работает через нее, а при выходе из зоны действия наземной сети пользуется услугами спутниковой СРПО.

2. В зависимости от обслуживаемой территории СРПО подразделяются на федеральные и региональные.

Федеральная СРПО представляет собой сеть единого стандарта, которая охватывает всю территорию РФ и обеспечивает междугородную связь подвижного абонента. Федеральные сети радиосвязи с подвижными объектами подразделяются на сотовые, сети персонального радиовызова и транкинговые.

В России организуются две федеральные сотовые сети общего пользования: СРПО-900 и СРПО-450. Сеть радиосвязи СРПО-900 построена по стандарту *GSM* (который предназначен для цифровых сетей), а СРПО-450 действует на основе стандарта *NMT* (для аналоговых сетей).

Взаимодействие между абонентами федеральных сетей стандартов *GSM* и *NMT* осуществляется через телефонную сеть общего пользования (либо через специально созданную транзитную СРПО).

Имеющая статус федеральной, СРПО общего пользования предоставляет широкому кругу абонентов услуги местной, междугородной и международной телефонной связи, других служб электросвязи, а также автоматический национальный и международный роуминг, т. е. обслуживание блуждающего абонента, приписанного к другому центру коммутации СРПО общего пользования этого же стандарта.

Региональные СРПО предназначены для организации радиотелефонной связи на территориях с замкнутыми административно-хозяйственными связями, в пределах небольших областей, в городах, районах, а также на прилегающих непосредственно к ним территориях. Каждая региональная сеть обслуживает пользователей, являющихся абонентами только этой сети.

Региональные сети могут работать в традиционных для Российской Федерации диапазонах 140–170 (сеть стандарта *E-Trunk* АОЗТ «Радио Лизинг»), 330 (сети «РусАлтай», «Волемот») и 800 МГц. Кроме того, в перспективе возможно использование диапазона 1 700–2 100 МГц.

Целесообразность создания региональных СРПО, их число в конкретном регионе и условия функционирования определяются Министерством транспорта и связи Российской Федерации с учетом состояния федеральных СРПО общего пользования, применяемого для них отечественного оборудования и пожеланий администраций (на уровне субъектов Федерации).

Федеральные и региональные СРПО в своем составе имеют сотовые сети, предназначенные для увеличения числа абонентов при ограниченной полосе частот.

Сотовые СРПО относятся к общедоступным сетям наземной радиосвязи с подвижными объектами, которые предоставляют абонентам все виды услуг обычной телефонной связи. Они построены в виде совокупности сот, покрывающих обслуживаемую территорию, в которых для обеспечения эффективного использования выделенного частотного ресурса и высокой емкости сети применяется повторное использование частот.

Транкинговые (радиальные и радиально-зоновые) сети предназначены для предоставления услуг связи в основном абонентам ведомственных сетей на базе реализации многостанционного доступа к небольшому числу радиоканалов с ограниченным выходом или без выхода на сеть ТФОП (она используется в интересах органов охраны правопорядка, «скорой помощи», службы спасения и т. д.). Транкинговые сети позволяют заменить сети радиосвязи с фиксированным распределением частот и осуществить интеграцию в рамках одной сети связи различных групп пользователей с целью повышения эффективности использования радиочастотного спектра.

Сети персонального радиовызова (пейджинговые и твейджинговые) предназначены для обеспечения оперативной передачи различного рода информации абонентам, которые оснащены индивидуальными портативными радиоприемниками (пейджерами) и могут свободно перемещаться в пределах обслуживаемой сетью территории.

Таким образом, в рассмотренной классификации основой построения наземных СРПО являются радиальные, радиально-зоновые и сотовые сети.

7.1.2. Принципы построения транкинговых и сотовых сетей радиосвязи с подвижными объектами, их основные качественные показатели

Принципы построения сотовой сети связи

Развитие наземных сетей радиосвязи с подвижными объектами началось с 20-х гг. XX в., когда радиостанции начали устанавливать на автомобилях полиции, пожарной и медицинской служб. Эти радиостанции работали в режиме выделенного канала. Это значит, что абоненту выделяют определенную полосу частот для передачи радиосигналов. В сетях связи специального назначения данный способ организации связи получил название *радионаправление*. В настоящее время радионаправления организуются в сетях связи управления и специальной радиосвязи. Очевидно, что при таком способе организации связи частотный ресурс используется нерационально, так как абонент занимает канал связи для передачи телефонии или данных ограниченное время, а паузы между сеансами связи превышают время передач. В связи с этим в послевоенный период в радиосвязи с подвижными объектами получили развитие сети с предоставлением каналов по требованию. В этом случае абонент на время сеанса связи получает один из свободных в данный момент каналов из группы каналов, выделенных сети. Таким образом, использование канального ресурса происходит в зависимости от трафика, т. е. объема передаваемой информации. Вероятность одновременной работы всех абонентов или их большей части достаточно низка, поэтому число абонентов, которых может обслужить такая сеть, значительно превосходит число предоставленных сети каналов. Задача обслуживания ограниченным частотным ресурсом большого числа абонентов является статистической. Несомненно, есть некоторая вероятность, что при запросе абонента все каналы окажутся занятыми, но эта вероятность не должна превышать единицы процентов.

В начале 80-х гг. XX в. в наземных сетях радиосвязи произошли качественные изменения, связанные с появлением нового принципа организации связи – повторного использования частот, положенного в основу сотовой связи.

Под сотовой технологией будем понимать не только сам принцип сотовой (ячеечной) организации связи, но и совокупность прогрессивных технических и программных решений (стандартов, процедур, протоколов, интерфейсов и т. д.), разработанных в последние годы международными организациями и принятых для реализации архитектуры и интеллектуального обеспечения сотовых сетей радиосвязи с подвижными объектами.

Сотовые технологии нашли свое применение в макросотовых СРПО общего пользования (*cell*), микросотовых сетях персональной радиосвязи (*M-cell*), транкинговых сетях связи и сетях персонального радиовызова (*paging*).

С топологической точки зрения сеть сотовой связи строится в виде совокупности ячеек, или сот, покрывающих обслуживаемую территорию, например территорию города с пригородами. Общая структура сети сотовой радиосвязи с подвижными объектами показана на рис. 7.2.

Основными элементами технической структуры сотовой системы подвижной радиосвязи являются:

- центр коммутации (*Mobile Switches Center – MSC*);

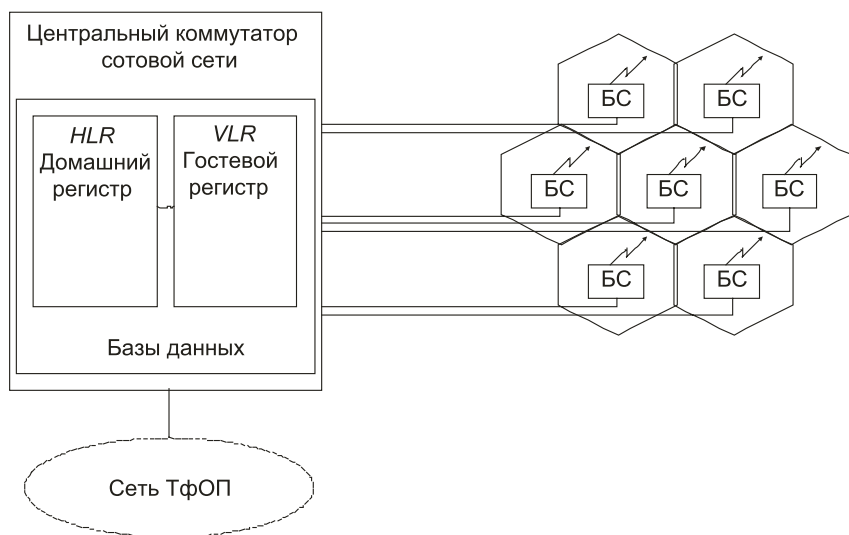


Рис. 7.2. Структура сотовой сети радиосвязи

- базовые станции (*Base Station – BS*);
- подвижные станции или абонентские радиотелефонные аппараты (*Mobile Terminal – MT*).

Базовая станция сотовой сети связи обслуживает все подвижные станции (абонентские радиотелефонные аппараты) в пределах своей ячейки, при этом ресурс для установления соединения базовая станция предоставляет по требованию подвижных абонентов, как правило, на равноправной основе (метод транкинга).

При перемещении абонента из одной ячейки в другую происходит передача его обслуживания от одной базовой станции к другой. Все базовые станции сети замыкаются на центр коммутации, с которого имеется выход в Единую сеть электросвязи Российской Федерации, например в обычную городскую сеть телефонной связи общего пользования.

В результате исследований, направленных на изучение принципов построения цифровых СРПО, начатых в 80-х гг. в Европе, Северной Америке и Японии, были разработаны три стандарта второго поколения, появившиеся на рынке телекоммуникаций в 1991 г.:

1. Общеевропейский *GSM-900*, принятый Европейским институтом стандартов в области связи (*ETSI*).
2. Американский *IS-136 (D-AMPS)*, разработанный Промышленной ассоциацией в области связи (*TIA*).
3. Японский *JDC*, принятый министерством почты и связи Японии (во многом похожий на стандарт *IS-136*).

Общеевропейский стандарт GSM – стандарт на цифровые СРПО в диапазоне 900 МГц. Дальнейшим его развитием является стандарт СРПО *DCS 1800* (диапазон 1 800 МГц) с микросотовой структурой, принятый для реализации концепции персональной связи (*PCN*) в Европе.

Указанные стандарты по цифровым СРПО различаются своими характеристиками, хотя в их основе и лежат единые принципы использования цифровой обработки сигналов, отвечающие требованиям современных информационных технологий (табл. 7.1). В июне 1992 г. стандарт *GSM* был принят в России в качестве федерального стандарта на цифровые СРПО, а *AMPS(D-AMPS)* – в качестве регионального.

Рассмотрим общие характеристики стандарта *GSM*.

Стандарт *GSM* цифровой сотовую сети наземной подвижной радиосвязи предусматривает работу передатчиков подвижных станций в диапазоне частот 890–915 МГц, передатчиков базовых станций в диапазоне 935–960 МГц. Таким образом, между диапазонами приема и передачи предусмотрен постоянный разнос в 45 МГц. Каждый из указанных поддиапазонов разбит на 124 частотных канала с шагом 200 кГц.

Таблица 7.1

Характеристика стандартов второго поколения

Характеристика стандарта \ Стандарт	GSM	D-AMPS	JDC
Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA
Разнос частот, кГц	200	30	25
Количество речевых каналов на несущую	8 (16)	3	3 (6)
Скорость преобразования речи, кбит/с	13	8	11,2 (5,6)
Алгоритм преобразования речи	RPE-LTR	VSELP	VSELP
Общая скорость передачи	270 кбит/с	48 кбит/с	42 кбит/с
Метод разнесения	Перемежение, скачки по частоте	Перемежение	Перемежение, разнесение
Эквивалентная полоса на речевой канал, кГц	25	10	8,3 (4,15)
Вид модуляции	0,3 GMSK	p	p
Требуемое соотношение несущая / интерференция (C/I), дБ	9	16	13
Рабочий диапазон частот, МГц	935–965 890–915	824–840 869–894	810–826 940–956 1 429–1 441 1 447–1 489 1 453–1 465 1 501–1 513
Радиус сота, км	0,5–35	0,5–20	0,5–20

В стандарте *GSM* используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов (*NB TDMA*). В структуре *TDMA*-кадра содержится 8 временных позиций для передачи физических (информационных) каналов. С учетом наличия 124 несущих общее число каналов стандарта составляет 992.

Для защиты от ошибок в радиоканалах при передаче информационных сообщений применяется блочное и сверхточное кодирование с перемежением.

Для борьбы с явлением многолучевости распространения радиоволн в условиях города в процессе сеанса связи применяются медленная программная перестройка рабочих частот (*SFH*) со скоростью 217 скачков в секунду, а также эквалайзеры, реализующие выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратическим отклонением времени задержки до 16 мкс. Система синхронизации обеспечивает компенса-

цию абсолютного времени задержки сигналов до 233 мкс, что соответствует максимальной дальности связи (радиусу ячейки) 35 км.

Увеличение дальности связи приводит к необходимости увеличения защитных промежутков между временными окнами в *TDMA*-кадре и как следствие – к уменьшению их числа при сохранении общей скорости передачи по частотному каналу.

В стандарте *GSM* обеспечивается высокая степень безопасности передачи сообщений за счет их шифрования по алгоритму шифрования с открытым ключом (*RSA*). Сеть связи, действующая в стандарте *GSM*, предоставляет пользователям широкий диапазон услуг и возможность применения разнообразного оборудования для передачи речевых сообщений и данных, вызывных и аварийных сигналов, подключения к телефонным сетям общего пользования (*PSTN*), сетям передачи данных (*PDN*) и цифровым сетям с интеграцией служб (*ISDN*).

Стандарт *GSM* включает: *MSC* (*Mobile Switching Centre*) – центр коммутации подвижной связи; *BSS* (*Base Station System*) – оборудование базовой станции; *OMC* (*Operations and Maintenance Centre*) – центр управления и обслуживания; *MS* (*Mobile Stations*) – подвижные станции. Функциональное сопряжение элементов системы осуществляется рядом интерфейсов. Все сетевые функциональные компоненты в стандарте *GSM* взаимодействуют в соответствии с системой сигнализации МСЭ № 7 (*SS* № 7).

Центр коммутации подвижной связи обслуживает группу сотов и обеспечивает все виды соединений между подвижными и стационарными пользователями. *MSC* аналогичен коммутационной станции *ISDN*, но включает дополнительный интерфейс между фиксированными сетями (*PSTN*, *PDN*, *ISDN* и т. д.) и сетью радиосвязи с подвижными объектами. Он обеспечивает:

- маршрутизацию вызовов и функции управления ими (функция обычной *ISDN*-коммутационной станции);
- функции коммутации радиоканалов, к которым относятся «эстафетная передача» для достижения непрерывности связи при перемещении подвижной станции из одного сота в другой, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностях;
- постоянное слежение за подвижными станциями путем использования регистров положения (*HLR*) и перемещения (*VLR*).

Американский стандарт D-AMPS (*ADC*) разрабатывался для условий совместной работы с аналоговым предшественником *AMPS* в одном диапазоне частот – 800 МГц. Для этого в цифровой СРПО необходимо было сохранить частотный разнос каналов 30 кГц, используемый в *AMPS*, и обеспечить одновременную работу абонентских радиостан-

ций как в аналоговом, так и в цифровом режимах. Применение специально разработанного речевого кодека (*VSELP*), имеющего скорость преобразования речевого сигнала 8 кбит/с с цифровой дифференциальной квадратурой фазовой (со сдвигом $\pi/4$) манипуляцией, позволило в режиме *TDMA* организовать три речевых канала на одну несущую с разнесом канальных частот 30 кГц (табл. 7.1).

Японский стандарт JDC во многом совпадает с американским. Основные отличия заключаются в использовании другого частотного диапазона, дуплексного разнеса полос частот приема и передачи 55 МГц при разнесе каналов 25 кГц. Стандарт *JDC* адаптирован также к диапазону 1 500 МГц (табл. 7.1).

Все стандарты цифровых СРПО обеспечивают взаимодействие с *ISDN* и *PDN*. Принятые технические решения гарантируют высокое качество передаваемых сообщений в режимах открытой или закрытой (засекреченной) передачи.

В своем развитии сотовые СРПО прошли три этапа (рис. 7.3).

Первый этап представлен аналоговыми стандартами первого поколения:

– *AMPS* – *Advanced Mobile Phone System*, стандарт США, наиболее распространенный среди аналоговых стандартов в мире;

– *TACS* – *Total Access Communications System*, стандарт, принятый в Великобритании, ряде стран Европы и Британского содружества;

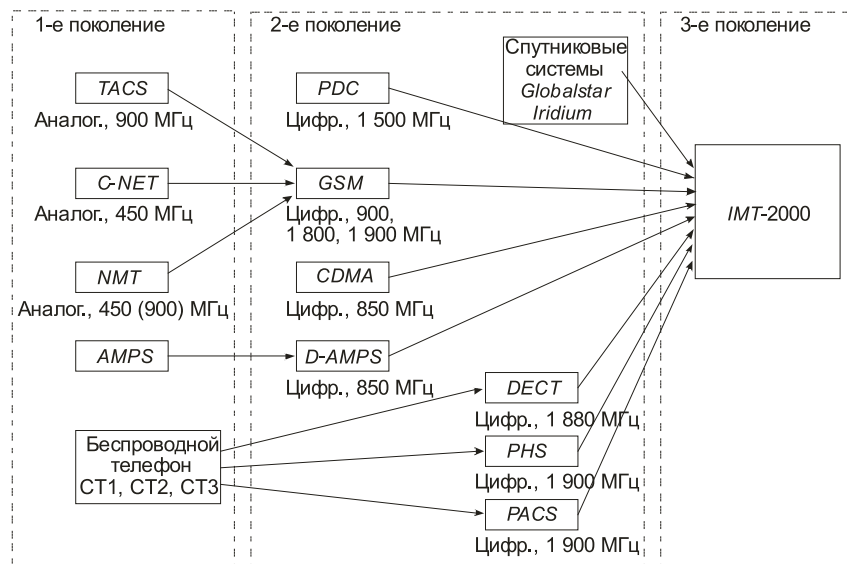


Рис. 7.3. Этапы развития сетей сотовой связи

- *C-NET* – *Cellular Network*, аналоговый стандарт ФРГ;
- *NMT* – *Nordic Mobile Telephone System*, аналоговый стандарт, разработанный скандинавскими странами и Финляндией.

Аналоговые стандарты сотовой связи, благодаря удобству в пользовании услугами связи, до 1991 г. определили развитие коммерческой радиотелефонии. Однако очень скоро проявились недостатки стандартов первого поколения:

- несовместимость протоколов различных стандартов, что ограничивало свободу передвижения абонентов национальными границами;
- отсутствие специальных каналов передачи данных, что делало невозможным подключение аналоговых СРПО к сетям передачи данных.

Сети стандарта *NMT-450* в 2005 г. прекратили свое существование в Москве и Санкт-Петербурге. Операторы сотовой связи, работавшие в диапазоне 450 МГц, перешли на стандарт *CDMA 2000 (IMT2000-MC)* с кодовым разделением каналов. Следует отметить, что использование диапазона 450 МГц для сотовой связи позволяет почти в два раза увеличивать дальность связи в сравнении с сетями, работающими в диапазоне 900 МГц (*GSM*). В условиях нашей страны, с ее большими пространствами и низкой плотностью трафика, это важное преимущество.

Срок действия сетей сотовой связи, работающих в России по стандарту *AMPS* в диапазоне 800 МГц, был ограничен 2007 годом. Фактически операторы этих сетей перешли на стандарт *GSM* в диапазоне 1 800 МГц (*TELE 2*).

Ко второму этапу относятся цифровые сети (*GSM*, *D-AMPS*, *PDS* и др.).

Наиболее совершенными в техническом плане можно считать сети сотовой связи второго поколения, использующие кодовый доступ (*CDMA*). В отличие от других цифровых сетей, которые делят отведенный диапазон на узкие каналы по частотному (*FDMA*) или временному (*TDMA*) признаку, в стандарте *CDMA IS-95* передаваемую информацию кодируют и код превращают в шумоподобный широкополосный сигнал так, что его можно выделить снова, только располагая кодом на приемной стороне. Одновременно в широкой полосе частот можно передавать и принимать множество сигналов, которые не мешают друг другу. Центральными вопросами, касающимися метода многостанционного доступа с кодовым разделением каналов в реализации компании *Qualcomm*, являются расширение спектра методом прямой последовательности, кодирование по Уолшу и управление мощностью.

В настоящее время завершается переход к стандартам третьего поколения. Эти сети обеспечивают передачу высокоскоростных потоков

данных, что необходимо для предоставления абонентам таких услуг, как передача мультимедийных сообщений и потоковое видео. Из четырех стандартов третьего поколения программы *IMT-2000* (*International Mobile Telecommunications 2000*) два появились как результат эволюции стандартов второго поколения GSM и CDMA2000. Два других разработаны в рамках европейской программы развития радиосвязи с подвижными объектами *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunications System*).

Переход к стандартам третьего поколения происходит по нескольким направлениям:

- совершенствование методов кодирования речи;
- внедрение новых услуг по передаче многосредней информации;
- обеспечение глобального роуминга и роуминга между спутниковыми и наземными сетями радиосвязи с подвижными объектами.

Таким образом, из вышесказанного следует:

1. История развития СРПО занимает относительно короткий, но очень динамичный отрезок времени. Особенно большой всплеск научной и инженерной мысли в области СРПО приходится на конец 80-х – начало 90-х гг. XX в., т. е. на период становления рыночных отношений в России.

2. Наиболее перспективным для сетей специальной радиосвязи с подвижными объектами являются сети, работающие по стандарту GSM.

Технологии построения сетей транкинговой связи

Понятие «транкинг» означает метод равного доступа абонентов к общему выделенному пучку каналов, при котором конкретный канал закрепляется для каждого сеанса связи индивидуально, в зависимости от распределения нагрузки в системе (само слово «транк» происходит от английского *trunk* – пучок, ствол, в телефонии этот термин означает «магистраль»). Этот метод применяется практически во всех современных сетях радиотелефонной связи, в том числе и в сотовых, и позволяет при равном частотном ресурсе обеспечивать более высокую емкость таких сетей по сравнению с сетями (системами), использующими фиксированные каналы.

Таким образом, важным принципом, определяющим построение транкинговых сетей (систем), является то, что трафик нагрузки замыкается в основном внутри этих сетей, а выход абонентов на сеть общего пользования весьма ограничен.

В настоящее время применяются три типа транкинговых сетей: радиальные, радиально-зоновые, квазисотовые [10].

Транкинговая сеть при радиальном и радиально-зоновом способах построения включает:

- базовую станцию, состоящую из антеннофидерного устройства, модулей приемопередатчиков (по числу выделенных сети частотных каналов), контроллеров для каждого модуля приемопередатчика и базового контроллера;
- зонное оборудование (станцию), состоящее из автономных ретрансляторов, соединительных линий с сетью общего пользования (физические линии или каналы ТЧ), контроллеров соединительных линий с сетью общего пользования;
- оборудование управления, состоящее из системного терминала «менеджер системы», пультов диспетчеров.

В транкинговых сетях (системах), построенных по однозоновому (радиальному) принципу, весь канальный ресурс закрепляется за одной центральной базовой станцией. Антенна такой станции обычно располагается по принципу маяка – в наиболее высокой точке предполагаемой зоны обслуживания (рис. 7.4). Классической является отечественная сеть радиосвязи с подвижными объектами «Алтай», созданная еще в начале 60-х гг. XX в. Среди зарубежных можно назвать сети Smart Trunk II, получившие сейчас большую популярность в нашей стране, и MPT 1327.

Несмотря на сравнительную простоту таких сетей как при установке, так и в эксплуатации, они имеют ряд существенных недостатков:

- единственным способом увеличения числа обслуживаемых абонентов является возрастание числа рабочих каналов, а любой экстенсивный путь имеет свои разумные границы;

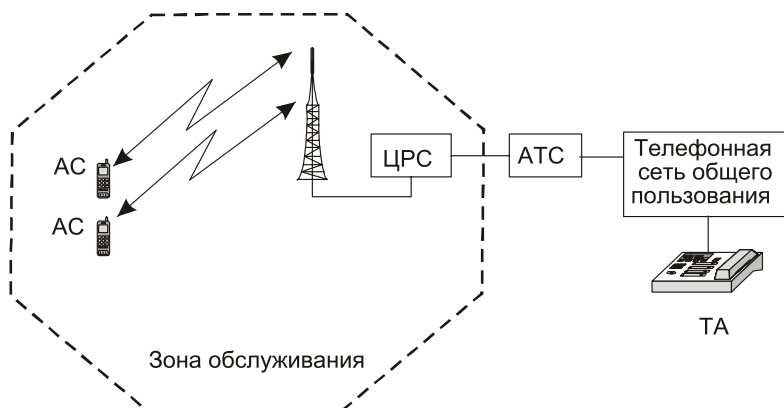


Рис. 7.4. Структура транкинговой сети, построенной по радиальному принципу

– для увеличения зоны обслуживания необходимо увеличивать мощность абонентских станций, что соответственно повышает общий уровень помех.

При небольшом количестве абонентов увеличения зоны обслуживания можно добиться, используя радиально-зонавый принцип (формируется так называемая односотовая сеть с несколькими точками размещения антенн и с вещанием на общей волне). В данном случае наряду с главным пунктом размещения антенны имеется ряд вспомогательных пунктов, соединенных линиями связи с главным (рис. 7.5).

Следует отметить, что на разных базовых станциях могут использоваться одновременно только разные частотные каналы, что снижает эффективность использования частотного спектра и производительность сети. Для решения этих проблем при построении квазисотовых систем транкинговой связи было предложено использовать сотовый принцип. Уточним, что в данном случае речь идет об обеспечении возможности повторения частот в транкинговых системах, как это делается в системах сотовой связи. В отличие от сотовых сетей радиосвязи с подвижными объектами, в которых повторение частот в перекрывающихся сотах недопустимо, в ряде квазисотовых транкинговых сетей возможно использование одних и тех же радиочастот в перекрывающихся сотах. Доступ к таким частотам разделен во времени: когда частота используется в одном соте (одним сайтом), доступ к ней со стороны дру-

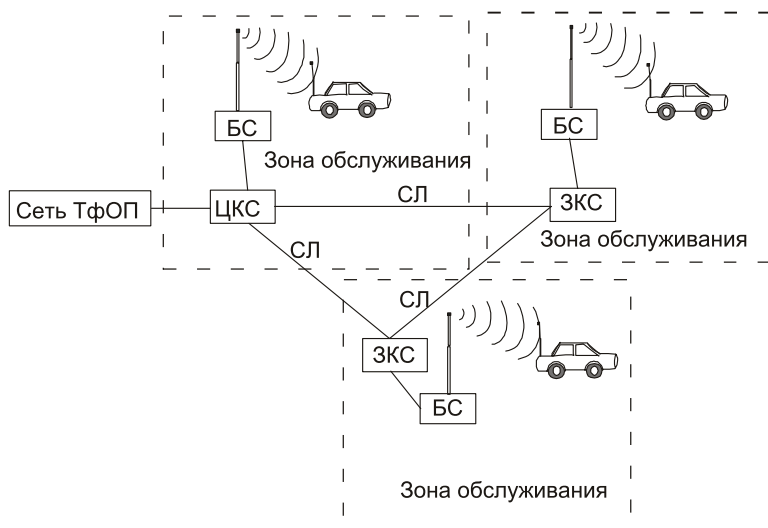


Рис. 7.5. Структура транкинговой сети, построенной по радиально-зонавому принципу

гих перекрывающихся с ней сотов закрыт. Естественно, оборудование квазисотовой транкинговой сети существенно сложнее и дороже.

При квазисотовом построении транкинговой сети (системы) применяется централизованное и децентрализованное управление.

При централизованном управлении главную роль играет основной контроллер системы (*MSC – Main System Controller*), который соединен с контроллерами базовых станций. В основном контроллере сосредоточены все сетевые функции системы: управления радиоканалами, сигнализации и установления соединения, обеспечение интерфейсов для стыковки с сетью общего пользования или учрежденческой АТС (УАТС).

При децентрализованном управлении сетевые функции системы распределены по трем уровням:

- на первом каждый ретранслятор (приемопередатчик) имеет контроллер управления радиоканалом, что позволяет ретранслятору работать автономно;

- на втором все контроллеры управления радиоканалами многоканального ретранслятора подключены к базовому контроллеру, обеспечивающему управление зоной (сотом). На этом уровне реализуются такие функции, как постановка в очередь, проверка абонентов на принадлежность к данной сети связи, подключение к телефонной сети общего пользования;

- на третьем региональный контроллер и НЧ-коммутатор размещены на региональном транкинговом узле. К региональному контроллеру подключены базовые станции данного региона. Для объединения отдельных региональных сетей используются межрегиональный контроллер и соответствующий НЧ-коммутатор.

Технология построения транкинговых сетей (*SMR-сетей*) предусматривает следующее:

- во-первых, использование метода свободного выбора незанятого канала радиодоступа из выделенного в каждой зоне обслуживания пучка каналов. Это достигается за счет образования общего для всех пользователей в каждой зоне служебного (сигнального) канала, по которому в соответствующую базовую станцию поступают сигналы вызова, включая идентификацию (номер) вызываемого абонента или вызываемой группы, а также номер вызывающего абонента;

- во-вторых, в отличие от сотовых сетей, они, как правило, не обеспечивают непрерывности связи при пересечении абонентами границ зон радиоприкрытия базовых станций. «Эстафетная» передача (*handover*) заменена операцией повторного вхождения в сеть при ухудшении качества связи, обусловленного переходом пользователя из одной зоны в другую. Это позволяет существенно упростить программное

обеспечение системы маршрутизации, уменьшить стоимость системного коммутатора (*SX*), исключить необходимость проключения через коммутатор (*SX*) всех разговорных трактов, в том числе в телефонную сеть общего пользования (*PSTN*), уменьшить количество каналов линии связи между системным коммутатором и базовой станцией (*SX-BS*);

- в-третьих, наделение базовых станций (*BS*) функциями локального управления зонами (сотами). Это осуществляется путем непосредственного соединения абонентов, находящихся в зоне обеспечения (*MS-MS*), через локальный коммутатор (*MX*), а также подключения подвижных пользователей к местной (учрежденческой) АТС (*PABX*), имеющей прямые выходы на локальный коммутатор базовой станции или через диспетчерский пункт.

Реализация технологии позволяет:

- защитить систему подвижной радиосвязи от перегрузок при высокой концентрации пользователей в локальных зонах;

- обеспечить эффективное использование радиочастотного спектра;

- применить гибкую и простую систему управления соединениями, разделив ее на уровень базовых станций с локальными коммутаторами *MX* и уровень системных коммутаторов.

В настоящее время число транкинговых стандартов достаточно велико (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Сравнительная характеристика транкинговых сетей связи различных стандартов

Предоставляемые услуги \ Стандарт	<i>Super trunk</i>	<i>LRT</i>	<i>MPT 1327</i>	<i>EDACS</i>
Телефонные переговоры	+	+	+	+
Передача данных	–	–	+	+
Электронная почта	–	–	+	+
Перегруппировка абонентов	–	+	+	+
Сопровождение абонентов по зонам	–	–	+	+
Возможность абонентов работать вне сети	+	+	+	+
Организация очереди вызовов	–	–	+	+
Шифрование сообщений	–	–	+	+
Предоставление каналов	Сканирование	<i>ARK</i>	<i>ARK</i>	<i>ARK</i>
Максимальное количество каналов	16	20	24 в зоне	640
Пространственный охват системы, км	60–80	60–80	> 500	> 500
Максимальное количество абонентов	1100	48 000	50 000	640 000

В основу их классификации можно положить следующие признаки:

- тип канала управления;
- способ формирования и разделения разговорных каналов;
- протокол управления и алгоритм установления соединения.

Из табл. 7.2 видно, что технические характеристики и состав транкинговых сетей связи зависят в первую очередь от назначения сети связи. Транкинговые сети, предназначенные для организации диспетчерско-технологических (локальных) сетей, имеют от одной до трех зон обслуживания, региональные (оперативные) – 10 и более, межрегиональные – до 160. Максимальное количество абонентов в локальных сетях достигает 1 000 абонентов, в региональных – до 50 000, а в межрегиональных – более миллиона.

Первые цифровые транкинговые стандарты позволили обеспечить:

- повышение эффективности использования радиоспектра;
- увеличение обслуживаемого трафика систем;
- шифрование переговоров с гарантированной стойкостью;
- увеличение набора предоставляемых пользователям услуг.

Для удовлетворения потребностей спецслужб в Европейских странах предполагается использовать единый цифровой транкинговый стандарт *TETRA*. Как показал опыт эксплуатации, сети, основанные на данном стандарте, не просто эффективны в технологической сфере, но и могут принести доход при коммерческой эксплуатации. По аналогии с сотовыми сетями общего пользования в транкинговых сетях предусмотрена проверка каждой радиостанции на право пользования связью при каждом вызове, что обеспечивает достаточно эффективную защиту информации. Опыт эксплуатации *SMR*-сетей показывает, что они являются весьма экономичной альтернативой *PCS*-сетей с классической сотовой технологией и представляют несомненный интерес при создании СПР.

Технология построения пейджинговых сетей

Основное назначение пейджинговой сети связи заключается в обеспечении передачи абонентам коротких сообщений с минимальными затратами.

Техническая реализация послылки персональных сообщений в сетях пейджинговой связи довольно проста. Каждая передача базовой станции представляет собой две послылки различной частоты, т. е. несущая модулируется двумя низкочастотными сигналами фиксированной длины. В зависимости от комбинации частот этих посылок сообщение принимает лишь один из пейджеров системы, находящийся

ся у адресата. Структурная схема пейджинговой сети представлена на рис. 7.6.

Наибольшее распространение получили протоколы: разработанный фирмой *Motorola GSC (Goby Sequential Code)*, более известный как *GOLAY*, и разработанный Британским почтовым ведомством *POCSAG*.

Протокол *POCSAG* поддерживает до 2 000 000 пейджеров и позволяет передавать не только тональные, но и цифровые и алфавитно-цифровые сообщения, имеет стандартные скорости передачи по эфиру 512, 1 200 и 2 400 бит/с и алгоритм коррекции ошибок приема. Кроме того, особенности построения протокола позволяют снизить энергопотребление пейджеров *POCSAG* в 4–8 раз.

Особо следует отметить протокол *RDS (Radio Data System)* – единственный, позволяющий организовывать системы персонального радиовызова на поднесущей частоте вещательного диапазона, т. е. использовать для передачи персональных сообщений национальные сети радиовещания и телевидения.

Пейджинговый терминал – это устройство, получающее адрес абонента и сообщение с устройства ввода (например, с клавиатуры компьютера) и выдающее сформированный сигнал в определенном формате непосредственно на передачу. Пейджинговый терминал является главной частью системы персонального радиовызова и определяет ее основные параметры.

Основные характеристики терминала:

- большое количество поддерживаемых системой абонентов;
- пейджинговые протоколы передачи;
- возможность управления одним или несколькими передатчиками;



Рис. 7.6. Схема построения пейджинговой сети связи:
АТС – автоматическая телефонная станция; БС – базовая станция

- подключение вынесенного места оператора;
- возможность осуществления роуминга сообщений данной конкретной системы в федеральную пейджинговую систему и др.

При построении крупных пейджинговых систем оказалось, что максимальная скорость передачи *POCSAG* – 2 400 бит/с – уже становится недостаточной, так как при использовании алфавитно-цифровых пейджеров даже на скорости 2 400 бит/с число абонентов не превышает 15 000 на частотный канал. Указанное ограничение емкости канала привело к разработке фирмами-производителями новых, более скоростных протоколов. Из наиболее известных можно назвать *FLEX* (*Flexible wide-area protocol*) фирмы *Motorola*, *APOC* фирмы *Philips*, *ERMES* (*European Radio Message System*), утвержденные в 1992 г. Европейским институтом стандартизации в области телекоммуникаций. Общим в этих протоколах является четырехуровневая модуляция *FSK*, позволяющая без потери качества достигнуть скорости в эфире до 6 400 бит/с (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Характеристики основных протоколов пейджинговой связи

Протокол	Рабочая частота, МГц	Скорость передачи, бит/с	Полоса канала, кГц		Вид связи
			в прямом направлении	в обратном направлении	
<i>POCSAG</i>	Любая пейджинговая частота	512, 1 200, 2 400	25	–	Односторонний пейджинг: цифровой и буквенно-цифровой
<i>ERMES</i>	169,425–169,800	6 250	25	–	Односторонний пейджинг: цифровой и буквенно-цифровой
<i>FLEX™</i>	Любая пейджинговая частота	1 600, 3 200, 6 400	25	–	Односторонний пейджинг: цифровой и буквенно-цифровой
<i>ReFLEX 25</i> Двусторонние сообщения	Прямой канал: 930–932, 940–941. Обратный канал: 901–902	1 600, 3 200, 6 400	25	12,5	Двусторонний пейджинг: короткие сообщения
<i>InFLEXion VOICE</i> 7 подканалов	Прямой канал: 930–931, 940–941. Обратный канал: 901–902	Компрессионная цифровая речь	50	12,5	Двусторонний речевой пейджинг с подтверждением
<i>InFLEXion™ DATA</i> 7 подканалов	Прямой канал: 930–931, 940–941. Обратный канал: 901–902	4; 8; 12; 16 кбит/с в одном подканале	50	12,5	Двусторонний пейджинг: передача данных

В соответствии с концепцией развития систем персонального радиовызова в России решением ГКРЧ в 1995 г. протокол *ERMES* рекомендован в качестве единого на всей территории страны. Но выделение частот 169,4–169,8 МГц, используемых *ERMES* в Европе, в России имеет определенные административные трудности. Этот протокол позволяет осуществлять роуминг (возможность приема сообщения на один и тот же пейджер) с любой системой, использующей *ERMES* в пределах Европейского сообщества.

ReFLEX – первый протокол двусторонней передачи цифрового потока данных со скоростями 12 800 и 25 600 бит/с. Для протокола *ReFLEX* используется пейджер *Tango*, работающий в режиме двусторонней асимметричной передачи сообщений. Главное новшество – возможность приема информации довольно больших объемов (память *Tango* – 100 кбайт) и отправления короткого сообщения.

Низкоорбитальные системы спутниковой связи

Стремительный прогресс в развитии спутниковой связи впервые на практике позволил реализовать идею поистине глобального информационного обмена в масштабе всей Земли. Несомненные преимущества систем спутниковой связи (ССС) – большая пропускная способность, глобальность действия и высокое качество связи – обусловили интенсивное развитие спутниковой связи. Дальнейшее развитие информатизации общества без спутниковой связи просто немыслимо.

Одним из новшеств развития спутниковой связи с начала 90-х гг. стали системы связи на базе низкоорбитальных космических аппаратов (КА). Эти системы связи открывают огромные возможности для включения в мировое информационное пространство многомиллионного контингента пользователей, нуждающихся в портативных индивидуальных средствах связи, особенно в удаленных и труднодоступных районах со слабо развитыми наземными средствами связи. Интерес к системам на основе низколетящих спутников вызван актуальностью персональной связи, реализация которой – задача предстоящего десятилетия.

К низкоорбитальным спутниковым системам с круговыми орбитами (системы *LEO*) относят такие, для которых высота орбиты составляет 700–1 500 км, масса космического аппарата – до 500 кг, орбитальная группировка – от единиц до десятков спутников. Для охвата связью большой территории Земли используют несколько плоскостей орбит. В системе обычно имеется одна или несколько станций для интерфейса с сетями телефонии общего пользования.

Работа по созданию низкоорбитальных систем (НОС) ведется очень интенсивно. В США (с участием европейских фирм) наиболее ак-

тивно реализуются системы *Iridium* и *Globalstar*. Первая из них в силу ошибок в бизнес-проекте относительно потенциальной нагрузки и стоимости услуг прекратила свое существование в России, а вторая стремительно завоевывает рынок услуг. В России также интенсивно ведутся теоретические работы по созданию собственных НОС: «Гонец», «Сигнал», «Эликон-Стир» и др.

НОС обеспечивают следующие основные телекоммуникационные услуги: электронную почту (пакеты цифровой информации передаются через ретранслятор искусственного спутника земли (ИСЗ) непосредственно или с задержкой на время доставки информации по трассе полета), непрерывную телефонную и телекодovou связь.

Общая характеристика технологии построения системы глобальной спутниковой подвижной связи *Globalstar*

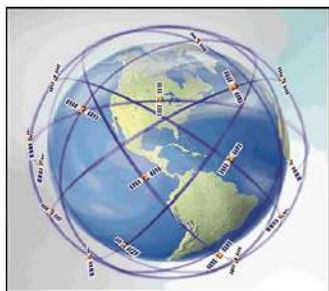
Сеть персональной спутниковой связи *Globalstar* предназначена для обеспечения цифровой телефонной связи и передачи данных (до 9,6 кбит/с), определения координат объекта с глобальным охватом земной поверхности (70° с. ш...70° ю. ш.). Оператор – международный консорциум *Globalstar LP* (Сан Хосе, штат Калифорния, США), в состав которого входят 12 компаний [8].

В августе 2000 г. была начата опытно-коммерческая эксплуатация сети *Globalstar* в 33 странах мира, в том числе в России. Космический сегмент сети имеет 52 КА, из которых 48 рабочих и 4 резервных. ИСЗ размещены в восьми плоскостях на круговых орбитах высотой 1 414 км с наклоном 52,5°.

Единственный оператор сети персональной спутниковой связи *Globalstar* на территории России – компания «ГлобалТел», предоставляющая свои услуги пользователям напрямую или через сеть компаний провайдеров. Учредителями ЗАО «ГлобалТел» являются ОАО «Ростелеком» (49 %) и *Globalstar LP* (51 %).

Наземный сегмент включает до 50 станций сопряжения, расположенных по всему миру. Пользовательский сегмент распространен в 60 странах мира. Российский наземный сегмент включает три станции сопряжения, расположенные в пригородах Москвы (г. Павловский Посад), Новосибирска (пос. Коченево) и Хабаровска (пос. Князе-Волконское). На каждой станции сопряжения установлено по четыре антенны диаметром 5,5 м. Стоимость одной шлюзовой станции составляет 7–10 млн. дол. США. Орбитальная группировка и земная станция сопряжения показаны на рис. 7.7.

Спутники массой 460 кг стабилизированы в полете по трем осям. Межспутниковая связь не применяется. Бортовая антенна формирует



а



б



в

Рис. 7.7. Элементы сети персональной спутниковой связи *Globalstar*:
а – орбитальная группировка КА *Globalstar*; б – земная станция сопряжения;
в – антенный пост станции сопряжения

16 лучей. Многостанционный доступ на спутник основан на кодовом разделении каналов (*CDMA – Code Division Multiple Access*), т. е. в общей полосе передается сразу много сигналов (до 50 в одном канале одного луча одного спутника). Для этого каждый сигнал преобразуется в широкополосный (в полосе частот шириной 1,25 МГц) путем умножения на псевдослучайную последовательность. Благодаря этому система способна перераспределять ресурс своей емкости между различными регионами, используя максимум емкости всех спутников, находящихся в районах, в которых возникла перегрузка. Пропускная способность каждого спутника 64 000 телефонных соединений. На борту КА установлена система активных фазированных антенных решеток (АФАР).

В абонентской линии на участке Земля–ИСЗ АФАР состоит из 61 элемента, работает в *L*-диапазоне частот (1 610–1 626,5 МГц) и создает 16 веерных лучей.

На участке ИСЗ–Земля АФАР включает в себя 92 элемента и работает в *S*-диапазоне частот (2 483,5–2 500 МГц).

В каждом луче передается 13 парциальных частотных каналов с полосой 1,25 МГц (общая полоса частот 16,5 МГц).

Фидерная линия работает в *C*-диапазоне частот и имеет два луча, развязанных по поляризации с общей точкой прицеливания.

Диапазон рабочих частот станции сопряжения:

- на участке Земля–ИСЗ – 6,876–7,053 ГГц;
- на участке ИСЗ–Земля – 5,091–5,250 ГГц.

Спутник может отдавать максимальную мощность (400 Вт в S-диапазоне) только короткое время из-за ограниченной емкости аккумуляторных батарей и необходимости их довольно длительного подзаряда от солнечных батарей. Стоимость одного спутника составляет 14–15 млн. дол. США.

Принцип структурного построения сети персональной спутниковой связи *Globalstar* показан на рис. 7.8. Сигнал с пользовательского абонентского спутникового терминала поступает на БРК ИСЗ, а затем ретранслируется на ближайшую станцию сопряжения, где после обработки по телефонной сети общего пользования поступает на телефонный аппарат, номер которого был набран на абонентском терминале.

Абонентские спутниковые терминалы являются многофункциональными (двух- или трехрежимными), т. е. имеют возможность работы либо через ИСЗ, либо через базовые станции операторов сотовой связи. Они переключаются в режим спутниковой связи автоматически, если сигнал базовой станции сотового оператора становится меньше некоторого установленного уровня.

Высокое качество связи достигается за счет использования вокодера с переменной скоростью и шумоподавления, а также автоматической регулировки мощности передатчика в зависимости от условий распространения радиоволн и величины наклонной дальности до КА. В абонентских терминалах предусмотрена возможность засекречивания переговоров с помощью модуля шифрования *DSC-120*. В модуле могут применяться алгоритмы шифрования стандартов *AES*, *DES* и алгоритм *CITADELTM CCX* компании *Harris*. Абонентские терминалы с модулем *DSC-120* обеспечивают передачу зашифрованной речевой информации и данных в асинхронном режиме со скоростью до 9,6 кбит/с по каналам спутниковых и сотовых сетей связи. Типы абонентских терминалов, используемых в сети *Globalstar*, представлены на рис. 7.9.

Следует учитывать, что применение широкополосных сигналов резко увеличивает время первоначального вхождения в связь (до 1,0–1,5 мин для подвижного объекта), а также усложняет оборудование земных терминалов. Стоимость двухрежимного абонентского терминала составляет 700–900, а трехрежимного – 1 100–1 600 дол. США.

При движении КА по орбите его рабочая зона обслуживания перемещается по поверхности Земли, в результате чего абонент находится в зоне распространения одного луча не более двух минут. Алгоритм

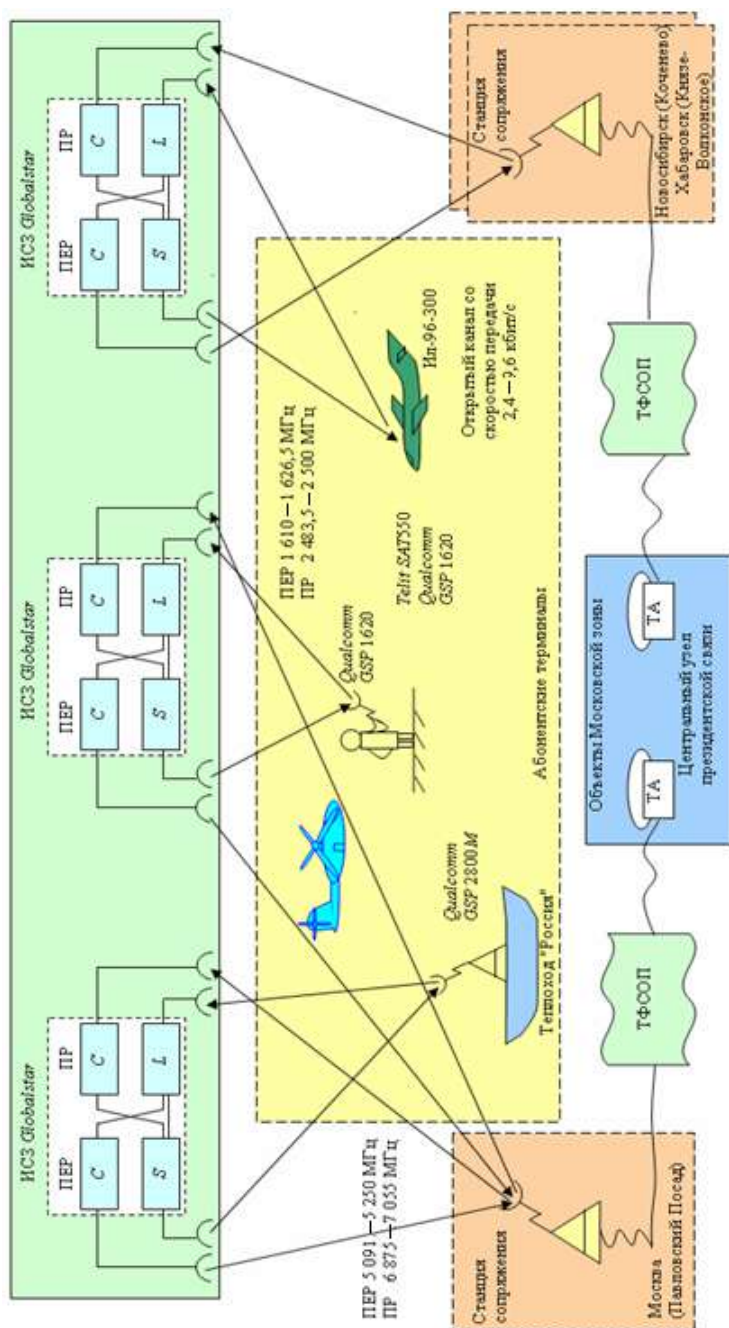


Рис. 7.8. Принцип структурного построения сети Globalstar для обеспечения персональной спутниковой подвижной связи в интересах структурных подразделений



а



б



в



г



д



е

Рис. 7.9. Абонентские терминалы, используемые для работы в сети Globalstar:

а – GSP 1 600; б – Telit SAT 550; в – Telit SAT 600;

г – Ericsson R 290; д – GSP 1 620 × 1; е – Telit SAT 600 × 1

«мягкого» перехода абонента из одного луча в другой, от одного спутника к другому осуществляется с помощью пилот-сигнала, который передается в каждом луче от центральной станции сопряжения, имеющей четыре полноповоротные антенны. Три из них обеспечивают слежение за КА, оказывающимися в зоне видимости, четвертая находится в режиме ожидания входящего в зону видимости КА. Центральная станция работает под управлением центра управления сетью.

Сеть персональной подвижной спутниковой связи *Inmarsat*

Сеть персональной подвижной спутниковой связи *Inmarsat* предназначена для обеспечения связи между подвижными абонентами морского, речного, воздушного и наземного базирования в интересах безопасности мореплавания, глобального оповещения о бедствиях, определения координат подвижных объектов и организации телефонной, телеграфной связи и передачи данных [8].

Сеть спутниковой связи *Inmarsat* (*International Maritime Satellite System*) была создана в 1979 г. по инициативе Международной морской организации.

С апреля 1999 г. она приобрела статус частной коммерческой компании с ограниченной ответственностью, зарегистрированной в Великобритании. Компания имеет лицензию на эксплуатацию сети в 171 государстве.

Разработчики сети *Inmarsat* – компания *Lockheed Martin* (спутники третьего поколения «*Inmarsat-F3*») и консорциум *ASTRIUM* (КА четвертого поколения «*Inmarsat-4*»).

Сеть *Inmarsat* начала функционировать 1 февраля 1982 г. В России *Inmarsat* представляет ГУП «Морсвязьспутник». Центр управления российского сегмента находится в Москве, а его филиал – в Санкт-Петербурге. Земные станции сопряжения на территории России размещены в Московской области (н. п. Нудоль) и в г. Находке (рис. 7.10).

Число абонентов сети превышает 350 тыс. (морские – 58 %, наземные – 41 %, воздушные – 1 %). Стоимость абонентского терминала в зависимости от уровня предоставляемых услуг составляет 4,5–6 тыс. дол. США, цена трафика – 3–4 дол. США за одну минуту.

Сеть спутниковой связи *Inmarsat* включает:

- наземный сегмент земных станций сопряжения (ЗСС);
- мобильные абонентские терминалы, устанавливаемые на подвижных объектах или носимых;
- систему управления техническими средствами (центр эксплуатации сети и центры управления КА);
- космический сегмент в составе действующих и резервных КА.



Рис. 7.10. Земная станция сопряжения сети подвижной спутниковой связи *Inmarsat*

Космический сегмент сети *Inmarsat* включает девять КА (табл. 7.4) на ГСО, пять из которых обслуживают территорию Земли (за исключением приполярных регионов), а четыре находятся в резерве или в аренде. Высота размещения КА на ГСО 35 786 км. Зона покрытия сети подразделяется на четыре региона:

- Восточная часть Атлантического региона (АОР-В) – код региона 871;
- Западная часть Атлантического региона (АОР-З) – код региона 874;
- Регион Индийского океана (ИОР) – код региона 873;
- Тихоокеанский регион (ТОР) – код региона 872.

Таблица 7.4

Перечень и расположение КА *Inmarsat* на начало 2004 г.

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
Inmarsat-2F1*	143,5° в. д.	2,24	30.10.90	10
Inmarsat-2F2*	98° з. д.	1,73	08.03.91	10
Inmarsat-2F3*	141,9° з. д.	1,87	16.12.91	10
Inmarsat-2F4*	109,1° в. д.	2,26	15.04.92	10
Inmarsat-3F1	64° в. д.	0,069	03.04.96	13
Inmarsat-3F2	15,5° з. д.	0,062	06.09.96	13
Inmarsat-3F3	178,1° в. д.	0,051	18.12.96	13
Inmarsat-3F4	54° з. д.	0,056	03.06.97	13
Inmarsat-3F5	25,1° в. д.	0,448	03.02.98	13

* – ИСЗ обеспечивают системный резерв

Наземный сегмент сети *Inmarsat* состоит из абонентских терминалов и земных станций сопряжения, которые являются промежуточным звеном между КА и наземными национальными и международными сетями связи. Земная станция сопряжения обеспечивает выход абонентов сети на наземные коммутированные и арендованные линии связи в режимах передачи данных, речевых и факсимильных сообщений.

В системе управления сетью осуществляется сбор информации о состоянии КА с помощью четырех телеметрических станций, размещенных в Италии, Китае, Канаде, Норвегии. Распределением трафика в сети и обслуживанием вызовов руководят координирующие земные станции (КЗС), развернутые в каждом океанском регионе для каждого стандарта.

В семейство стандартов радиоинтерфейсов сети *Inmarsat* входят *Inmarsat-A*, *Inmarsat-B*, *Inmarsat-C*, *Inmarsat-M*, *Inmarsat-mini-M*, *Inmarsat-Aero*, *Inmarsat-D/D+*, *Inmarsat-E*, а также перспективные модификации стандарта *Inmarsat* – *CBGN* (432 кбит/с) и *R-BGAN* (144 кбит/с) (табл. 7.5.).

Таблица 7.5

Краткая характеристика стандартов

Виды связи	Стандарт и год его внедрения							
	A 1982	B 1994	C 1991	M, mini-M 1993	Aero 1990	D 1993	M4 1999	E 1993
Телефон	+	+	–	+	+	–	+	–
Телекс	+	+	+	–	+	–	–	–
ПД	+	+	+	+	+	+	+	+
ФАКС	+	+	–	+	+	–	+	–

Стандарт *Inmarsat-A* был введен в эксплуатацию в 1982 г. Абонентские терминалы в большинстве случаев одноканальные и подразделяются на три класса (табл. 7.6).

Таблица 7.6

Классы абонентских терминалов

Виды связи	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Дуплексная телеграфная связь	+	–	+
Симплексная телеграфная передача на АТ	+	+	+
Дуплексная телефонная связь	+	+	–
Симплексная телефонная передача на АТ	+	+	–

В абонентских терминалах используется параболическая ориентированная антенна диаметром 1,2 м с ЭИИМ 36 дБВт, *G/T* –4 дБ/К (усиление антенны *G* = 20 дБ). Телефонные каналы передаются методом частотной модуляции несущей с шагом сетки частот 25 кГц.

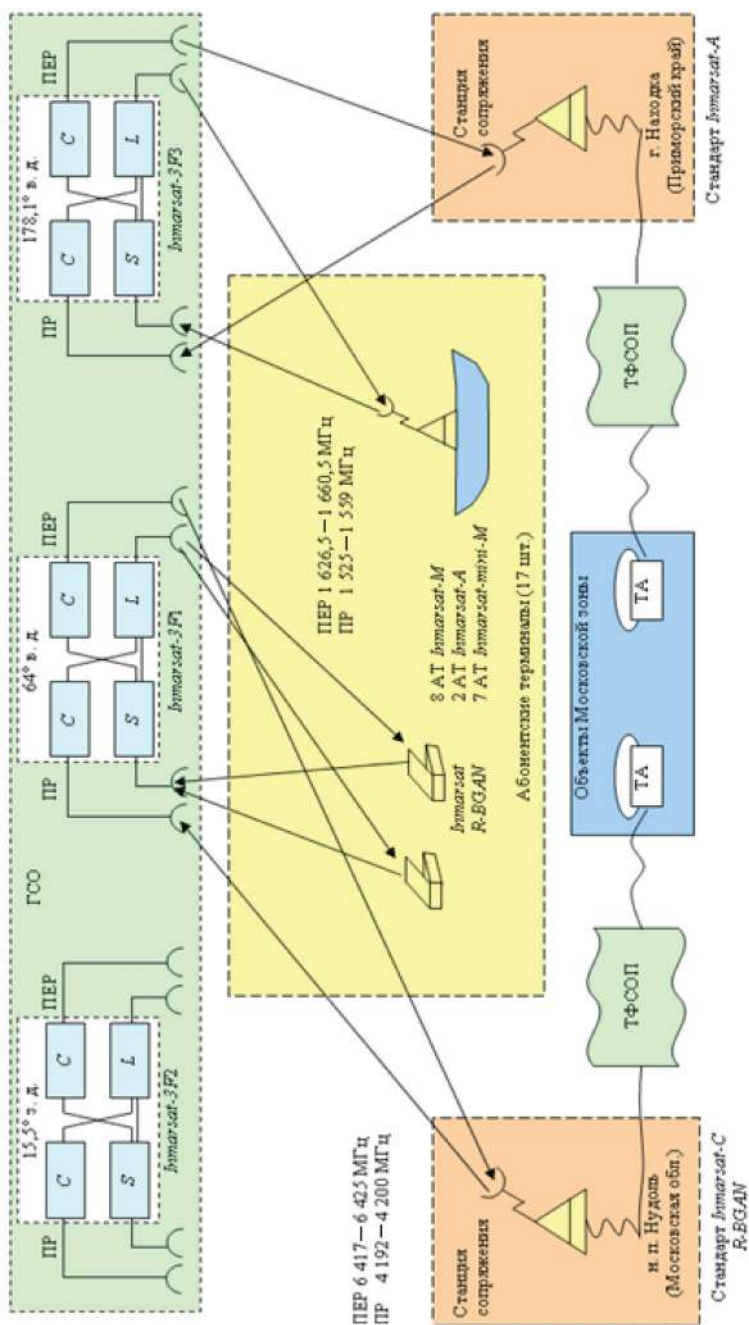


Рис. 7.11. Принцип структурного построения сети Inmarsat для обеспечения спутниковой подвижной связи

Канал сигнализации обеспечивает доступ по алгоритму *ALOHA* с посылкой коротких сообщений длительностью 35,8 мс со скоростью 4,8 кбит/с при использовании ФМ. Стандарт *Inmarsat-A* использует следующие полосы частот:

- АТ-КА – 1 636,5–1 645 МГц;
- КА-АТ – 1 535–1 643,5 МГц;
- ЗСС-КА – 6 417,5–6 425 МГц;
- КА-ЗСС – 4 192,5–4 200,5 МГц.

В процессе функционирования могут использоваться 339 частот с шагом 25 кГц. Абонентские терминалы стандарта *Inmarsat-A* имеют шестизначные номера, начинающиеся с единицы.

Стандарт *Inmarsat-M* был введен в эксплуатацию в 1993 г. (рис. 7.11). Абонентский терминал использует технологию цифрового кодирования речи. Он выполнен в виде саквояжа весом 9–12 кг и обеспечивает скорость передачи до 2,4 кбит/с. Для работы в стандарте *Inmarsat-M* используются полосы частот:

- АТ-КА – 1 626,5–1 660,5 МГц;
- КА-АТ – 1 525–1 659 МГц

с шагом сетки рабочих частот 10 кГц.

Абонентские терминалы стандарта *Inmarsat-M* имеют девятизначные номера, начинающиеся с шестерки.

Стандарт *Inmarsat-mini-M* использует портативные абонентские терминалы весом менее 2 кг. Разработаны версии АТ для установки в автомобилях, железнодорожных вагонах, стационарных помещениях, на судах.

АТ имеет слабонаправленную антенну с усилением 3–6 дБ, мощность передатчика $P_{\text{АТ}} = 2\text{--}5$ Вт (3–7 дБВт), меньшее значение ЭИИМ (6–10 дБВт) и меньшую добротность приемного тракта ($G/T = -16$ дБ/К). Соответственно качество (энергетика и добротность) тракта передачи БРК КА должно быть улучшено не менее чем на 6–10 дБ за счет применения многолучевой антенны (МЛА) с узкими лучами. Основные различия стандартов *Inmarsat-M* и *Inmarsat-mini-M* состоят в массогабаритных показателях АТ.

Для улучшения помехоустойчивости радиолинии *L*-диапазона канальная скорость передачи снижена до 5,6 кбит/с (в *Inmarsat-M* – 8 кбит/с), соответственно скорость речевого кодера – 4,8 кбит/с (в *Inmarsat-M* – 6,4 кбит/с).

Разнос несущих между каналами в режиме МДЧР составляет 5 кГц.

Модуляция несущей осуществляется методом офсетной ФМ-4 с огибающей, сглаженной по закону косинуса.

Время установления соединения от 0,5 (экстренный вызов) до 1–3 мин. (для телефонии).

Образцы абонентских терминалов, используемых в сети *Inmarsat*, показаны на рис. 7.12.



Рис. 7.12. Абонентские терминалы для работы в сети *Inmarsat*:
 а – *Thrane & Thran TT-3060A*; б – *NERA World Phone*

В настоящее время абонентские терминалы *Inmarsat* используются для организации служебной связи при обеспечении зарубежных визитов руководства страны. Ранее они применялись в качестве резервных для обеспечения «горячей» линии между СССР и США.

Перспективы создания универсальных сетей радиосвязи с подвижными объектами

В настоящее время назрела необходимость построения универсальных сетей персональной связи (*PCN*). Каждый пользователь *PCN* в любой момент времени должен получать доступ к глобальным телекоммуникационным ресурсам, используя легкий ручной многофункциональный абонентский терминал. Дальнейшее развитие сетей подвижной связи, по мнению большинства экспертов, пойдет по пути использования технологии широкополосного кодового множественного доступа (*W-CDMA*). Выбор этой технологии для будущих систем представляет уникальную возможность для создания международного стандарта с глобальным роумингом для служб мобильной связи следующего поколения. В Европе практическое внедрение технологий *W-CDMA* в рамках программы *RACE* началось в 1989 г. Европейские экспериментальные системы введены в строй уже в 2002 г.

Для построения *PCN* в Европе реально могут быть использованы три технологии, имеющие статус Европейских стандартов: *CT2-CAI*, *DECT* (цифровой европейский беспроводный телефон) и *DCS-1800* (высокоемкий вариант европейской цифровой сотовой системы).



7.2. Сети передачи массовых сообщений

7.2.1. Назначение, составные элементы, принципы построения сети телевизионного вещания и перспективы ее развития

Вещанием называют передачу различного рода сообщений широким слоям населения с помощью технических средств электронной связи. В зависимости от вида передаваемых сообщений вещание подразделяется на телевизионное и звуковое: телевизионное предназначено для передачи изображений движущихся или неподвижных объектов со звуковым сопровождением, а звуковое предполагает передачу звуковых программ, предназначенных для непосредственного приема населением [2]. По способу доведения сообщений до слушателей звуковое вещание разделяют на радио- и проводное вещание. В радиовещании сообщения принимаются слушателями с помощью радиоприемного устройства, в проводном – с помощью абонентского устройства – громкоговорителя, подключенного к проводной линии.

Организация телевизионного и звукового вещания в масштабах страны (рис. 7.13) сводится к решению двух крупных организационно-технических задач: первая – сформировать вещательные программы, вторая – довести эти программы до населения.

Программа вещания (радио, телевизионная) – совокупность периодических аудио, аудиовизуальных сообщений и материалов (передач), имеющая постоянное название и выходящая в свет (эфир) не менее одного раза в год (из Федерального закона «О средствах массовой информации»). Представление о смысле понятия «программы» можно получить, если заглянуть на последнюю страницу любой газеты, где

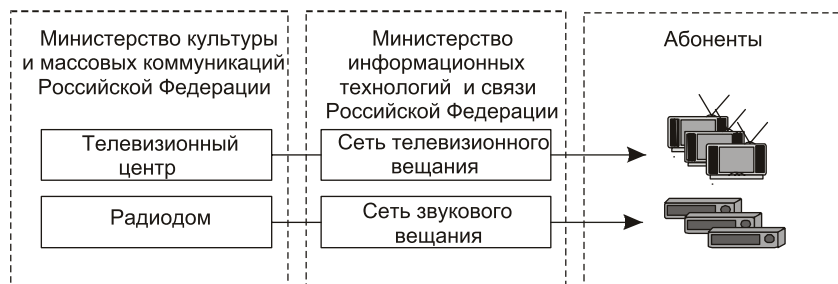


Рис. 7.13. Структурная схема организации вещания в РФ

обычно печатаются программы радио и телевидения. Формированием вещательных программ занимаются специальные предприятия Министерства культуры и массовых коммуникаций Российской Федерации. Программы для телевидения готовятся в телецентрах, программы радио – в радиодомах (РД). Доведением сформированных программ до широкого круга территориально рассредоточенных зрителей и слушателей занимаются предприятия Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Для решения этой задачи в стране созданы две общегосударственные сети электросвязи – телевизионного (СТВ) и звукового (СЗВ) вещания.

Сеть телевизионного вещания – это совокупность всех телевизионных центров (ТЦ), телевизионных ретрансляторов (ТР), линий передачи телевизионных программ и всех телевизионных приемников. Сеть звукового вещания представляет собой совокупность радиодомов, радиопередатчиков радиовещательных станций, узлов проводного вещания, индивидуальных приемников, абонентских громкоговорителей и линий передачи.

Вещательная сеть включает совокупность технических средств, используемых для передачи программ вещания на заданной территории. К техническим средствам относятся радиотелевизионные передающие станции (РТПС), радиопередающие станции (РПС), узлы проводного вещания (УПВ), каналы передачи сигналов программ вещания к РТПС, РПС, УПВ, индивидуальные приемные устройства (ИПУ) (телевизоры, радиоприемники, абонентские громкоговорители).

Оперативность распространения сообщений по сетям вещания значительно выше, чем при использовании газет, хотя они издаются несколькими выпусками – утренними, дневными и вечерними. Объясняется это тем, что сообщение по сетям вещания можно передавать немедленно, исключая таким образом относительно продолжительный этап печатания и доставки газет.

Программы телевизионного вещания создаются в телевизионных центрах, имеющих комплексы специальной аппаратуры (рис. 7.14).

Электрические сигналы от студийных передающих телевизионных камер (СТК) и телекинопроекционной (ТКП) поступают в студийную аппаратную (СА), откуда после специальной обработки подаются в центральную аппаратную (ЦА) (рис. 7.14). Туда же поступают сигналы от телецентров других городов (через междугородную аппаратную внешних программ (МА)), из аппаратной приема местных программ (АПМП) от передвижных телевизионных станций (ПТС) и стационарных трансляционных пунктов (СТП), расположенных в местах актуальных передач (вокзалы, стадионы, театры), и из аппаратной записи программ (АЗП).

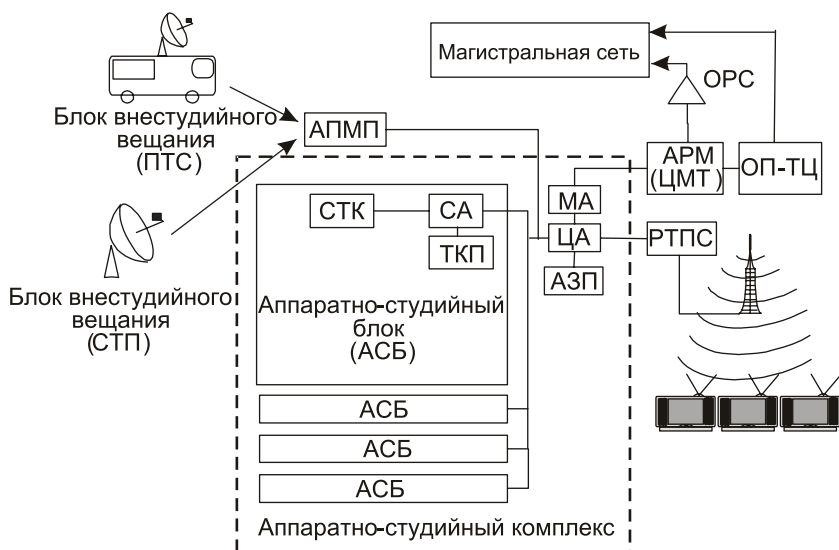


Рис. 7.14. Обобщенная структурная схема телецентра

Из ЦА электрические сигналы подаются в МА для передачи в другие города, в АЗП для записи программы на магнитную ленту, а также на входы радиотелевизионных передающих станций, преобразующих эти сигналы и излучающих их с помощью передающих антенн.

Известно, что качественный прием телевизионных программ ограничен расстоянием радиовидимости между приемной и передающей антеннами РТПС. Для типовых высот телебашен РТПС это расстояние редко превышает 60–80 км. Даже такая уникальная башня, как Останкинская в Москве, высотой свыше полукилометра обеспечивает уверенный прием сигналов на расстоянии не более 120–130 км. Вследствие этого для повсеместного охвата населения телевизионным вещанием территория России разбита на пять вещательных зон: А, Б, В, Г, М [2].

Каждая зона занимает территорию двух часовых поясов, имеющих сдвиг во времени относительно Москвы соответственно на 8 и 9 ч (зона А); 6 и 7 ч (зона Б); 4 и 5 ч (зона В); 2 и 3 ч (зона Г); 0 и 1 ч (зона М). Количество и способ размещения РТПС в этих зонах должны обеспечить возможность приема программ для большей части населения страны, а их связь между собой осуществляется сетью каналов распределения программ телевизионного вещания (СКРПТВ), которая образуется из радиорелейных, кабельных линий и спутниковых систем телевизионного вещания (рис. 7.15). СКРПТВ состоит из магистральной и внутризоновых сетей.

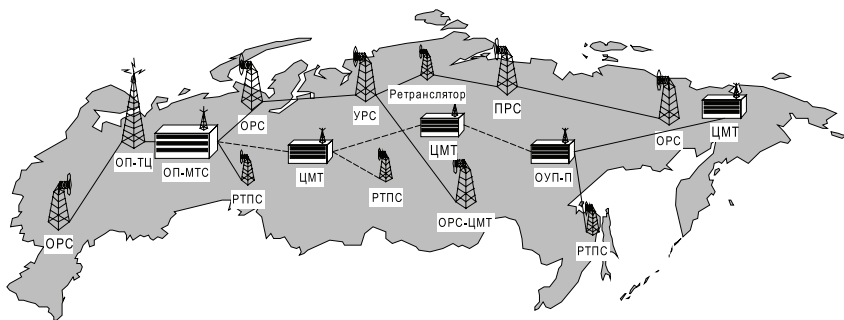


Рис. 7.15. Схема магистральной сети телевидения:

- ОП-ТЦ – оборудование оконечной станции телевизионных каналов и звукового сопровождения, расположенное в телецентре;
- ОП-МТС – оборудование оконечной станции телевизионных каналов и звукового сопровождения, расположенное на МТС;
- ОУП-П – обслуживаемая усилительная станция;
- ОРС – оконечная радиорелейная станция; УРС – узловая радиорелейная станция;
- ПРС – промежуточная радиорелейная станция;
- РТПС – радиотелевизионная передающая станция

Магистральная сеть состоит из междугородных каналов телевидения, цехов междугородного телевидения, оконечных, узловых и промежуточных радиорелейных станций и телевизионных ретрансляторов.

Магистральная сеть обеспечивает:

- доведение программ ЦТ до всех республик, краевых и областных центров, а также покрытие с помощью ретрансляторов территорий, по которым проходят радиорелейные линии и коаксиальные кабельные магистрали;
- организацию международных каналов для обмена программами телевидения с другими странами через телевизионные сети Интервидения и Евровидения;
- организацию междугородных каналов для передачи программ телевидения из периферийных пунктов к центру, а также межобластных каналов телевидения.

Магистральная сеть телевизионного вещания строится по распределенному принципу с ветвящейся структурой, имеющей древовидную форму. От основного «ствола», идущего к какому-либо удаленному пункту (сетевому узлу), отходят ветви (телевизионные каналы) к пунктам, находящимся в стороне от основной трассы, а от этих пунктов начинается их дальнейшее разветвление (см. рис. 7.15).

При наличии двух или трех программ создаются две или три древовидные структуры сетей телевизионных каналов, наложенные одна

на другую. Для обслуживания участков, в которых не обеспечивается уверенный прием телевизионных сигналов от РТПС, а также для расширения зон ее обслуживания применяются телевизионные ретрансляторы – устройства, предназначенные для приема радиосигнала телевизионного вещания и повторного его излучения.

Внутризоновая сеть телевизионного вещания строится на базе междугородных каналов, организованных в радиорелейных линиях и коаксиальных кабельных магистралях.

На радиорелейных линиях, принадлежащих магистральной и внутризоновой сетям связи, каналы телевидения выделяются:

- на оконечных радиорелейных станциях (ОРС);
- в узловых радиорелейных станциях (УРС), на которых имеется одно и более дуплексных ответвлений или реализуется переприем по групповому спектру или телевизионному каналу;
- на промежуточных радиорелейных станциях (ПРС).

На кабельных магистралях каналы телевидения выделяются:

- на оконечных станциях телевизионных каналов и звукового сопровождения (ОП-ТЦ). Оборудование станции ОП-ТЦ располагается в здании передающей телевизионной радиостанции или ретранслятора, а оборудование оконечной станции ОП-МТС – на оконечной МТС;
- в обслуживаемых усилительных станциях с переключением трактов (ОУП-П). В ОУП-П кроме необходимого усилительного оборудования линейного тракта устанавливается оборудование ответвления и ввода телевизионных программ.

Сеть телевещания преимущественно состоит из радиорелейных линий (см. рис. 7.15), причем на ПРС и некоторых УРС и ОРС, а также ОУП-П программы телевидения поступают на РТПС типа ТРСА-56 и ТРСА-12/2/100 Вт, обслуживающих территорию радиусом примерно 30 км и устанавливаемых в помещениях этих станций, а на остальных УРС, ОРС и ОП-ТЦ программы телевидения переключаются на передающие телевизионные радиостанции, устанавливаемые в отдельных зданиях.

7.2.2. Назначение, составные элементы и краткая характеристика системы спутникового вещания

В силу того, что территория нашей страны чрезвычайно велика, для создания вторичной сети передачи телевизионных программ наиболее удобными (наряду с радиорелейными и кабельными) являются каналы, полученные с помощью спутниковых систем телевизионного вещания (ТВ).

Кроме того, применение каналов спутникового телевизионного вещания обусловлено тем, что в кабельных линиях передачи К-1920П, К-1920Р, К-3600, К-10800 возникают трудности достижения необходимого качества передачи сигналов цветного изображения из-за узкой полосы пропускания, а радиорелейные линии передачи («Рассвет-2», «Дружба», «Восход», «Курс») подвержены к тому же воздействию помех. В целях обеспечения надежности телепередачи обычно сочетают использование наземных средств (кабельных и радиорелейных линий) с каналами, полученными с помощью ретрансляторов на искусственных спутниках земли (ИСЗ).

Спутниковое вещание – это передача радиовещательных программ (телевизионных и звуковых) от передающих земных станций к приемным через космическую станцию или ИСЗ, которые являются активными ретрансляторами [6].

Задача охвата населения телевизионным вещанием решается путем комплексного использования отечественных спутников распределительных систем «Москва» (вместо «Орбиты») и «Экран» совместно с наземными техническими средствами ТВ. Наша страна разбита на пять вещательных зон, каждая из которых охватывает территорию двух часовых поясов (табл. 7.7).

Таблица 7.7

**Использование технических средств
в распределительной системе спутникового ТВ**

ИСЗ	«Экспресс» 14° з. д.		«Горизонт» 53° в. д.		«Экран-М» 99° в. д.		«Горизонт» 140° в. д.	
Средства распределения первого канала ТВ	РРЛ «Москва»		РРЛ «Москва»		«Экран»		«Москва»	
Зоны вещания	М		Г		В	Б	А	
Часовые пояса	0	+1	+2	+3	+4 +5	+6 +7	+8	+9 +10
Средства распределения ТВ канала «Россия»	«Москва» РРЛ		«Москва» РРЛ		«Москва»		«Орби- та»	«Мо- сква»
ИСЗ	40° в. д. «Горизонт»		103° в. д. «Горизонт»		80° в. д. «Экс- пресс-6»	90° в. д. «Гори- зонт»	140° в. д. «Гори- зонт»	145° в. д. «Гори- зонт»

В каждую зону центральная ТВ-программа (первая) передается с временным сдвигом $2n$ часов, где n – целое число. Первая ТВ-программа, формируемая в Москве, подается в зону М, а ее четыре дубля: «Орбита-1», «Орбита-2», «Орбита-3» и «Орбита-4» («Восток») – передаются в соответствующие зоны А, Б, В и Г. При этом задействуются одновременно пять ТВ-каналов. Опережение по времени достигается путем записи программ и их повторения в следующие сеансы. Отдельные актуальные передачи транслируются в момент протекания событий независимо от времени. Программа России и четыре ее копии («Дубль-1», «Дубль-2», «Дубль-3» и «Дубль-4») распределяются аналогично. Во многих регионах в диапазонах МВ и ДМВ организовано многопрограммное вещание за счет трансляции дополнительных областных и краевых программ. На сегодняшний день их работу обеспечивают около 180 частных и государственных телевизионных компаний.

Спутниковые системы телевизионного вещания «Орбита», «Экран», «Москва» сыграли огромную роль в развитии телевидения, обеспечив возможность трансляции программ по всей территории страны. В перспективе предстоит освоить новый диапазон частот 12 ГГц, специально выделенный для спутниковых линий связи. В этом диапазоне для непосредственного телевизионного вещания (НТВ) с искусственных спутников Земли выделен диапазон частот 11,7–12,5 ГГц, где плотность потока мощности со спутника практически не ограничена и составляет у поверхности Земли 100–103 дБ · Вт/м². Это позволяет использовать в приемных установках антенны с диаметром около 1 м и простые входные устройства.

Для перспективных систем спутникового телевизионного вещания выделены полосы частот 40,5–42,5 и 84–86 ГГц.

Спутниковые линии связи (СЛС) – это РРЛ с одним активным ретранслятором, поднятым на большую высоту и вращающимся вокруг Земли. Это ИСЗ типа «Экран», «Горизонт», *Eutelsat*, *Astra* и другие, на эллиптической орбите – ИСЗ типа «Молния». Рядом с обозначением спутника в табл. 7.7 указана его позиция на геостационарной орбите.

Надежность спутниковой связи определяется:

- вероятностью безотказной работы:

$$P(t) = e^{-t/\bar{T}_o}; \quad (7.1)$$

- коэффициентом готовности:

$$K_r = \frac{\bar{T}_o}{\bar{T}_o + \bar{T}_B}, \quad (7.2)$$

где t – заданное время эксплуатации (например один год); $\bar{T}_o$ – среднее время наработки на отказ, или среднее время активного функционирования спутника (до 5–7 лет), которое определяется надежностью работы всех подсистем спутника; $\bar{T}_в$ – среднее время восстановления.

Если заданное время эксплуатации составляет один год, а среднее время наработки на отказ – 3 года, то вероятность безотказной работы

$$P(t) = 0,72. \quad (7.3)$$

Для наземных систем $K_r \approx 1$ за счет резервирования и профилактического ремонта оборудования. В то же время для спутников $\bar{T}_в$ велико и стоимость запуска ИСЗ большая; однако для важных спутниковых связей запускают новый спутник, не дожидаясь выхода из строя рабочего. Коэффициент готовности:

- для космического сегмента $K_r = 0,99999$;
- земной станции $K_r = 0,99949$;
- канала $K_r = 0,99894$.

Таким образом, обеспечение качественного спутникового ТВ возможно при высоких показателях технической надежности.

Управление системой спутникового телевизионного вещания осуществляется со следующих пунктов управления (рис. 7.16):

- 1) главный центр управления (ГЦУ), расположенный в Останкино (Москва);
- 2) технический центр «Москва-1» (Москва, Шаболовка, 37);
- 3) центр космической связи «Дубна» (Московская обл.);
- 4) центр космической связи «Владимир» (г. Гусь-Хрустальный);
- 5) центр космической связи «Парголово» (С.-Петербург);
- 6) центр космической связи «Медвежье озеро» (Московская обл.).

Все пункты управления связаны оптоволоконными высокоскоростными цифровыми магистральными линиями передачи с техническим центром «Москва-1», где осуществляется формирование основных телевизионных программ.

Таким образом, основой построения сети телевизионного вещания являются следующие принципы:

- соответствие сети возможностям по приему многопрограммного вещания хорошего качества всем населением страны;
- организационно-техническое единство, т. е. проведение единой технической политики и обеспечении построения сети телевизионного вещания по стандартам, определенным Международным союзом электросвязи (МСЭ-Р);

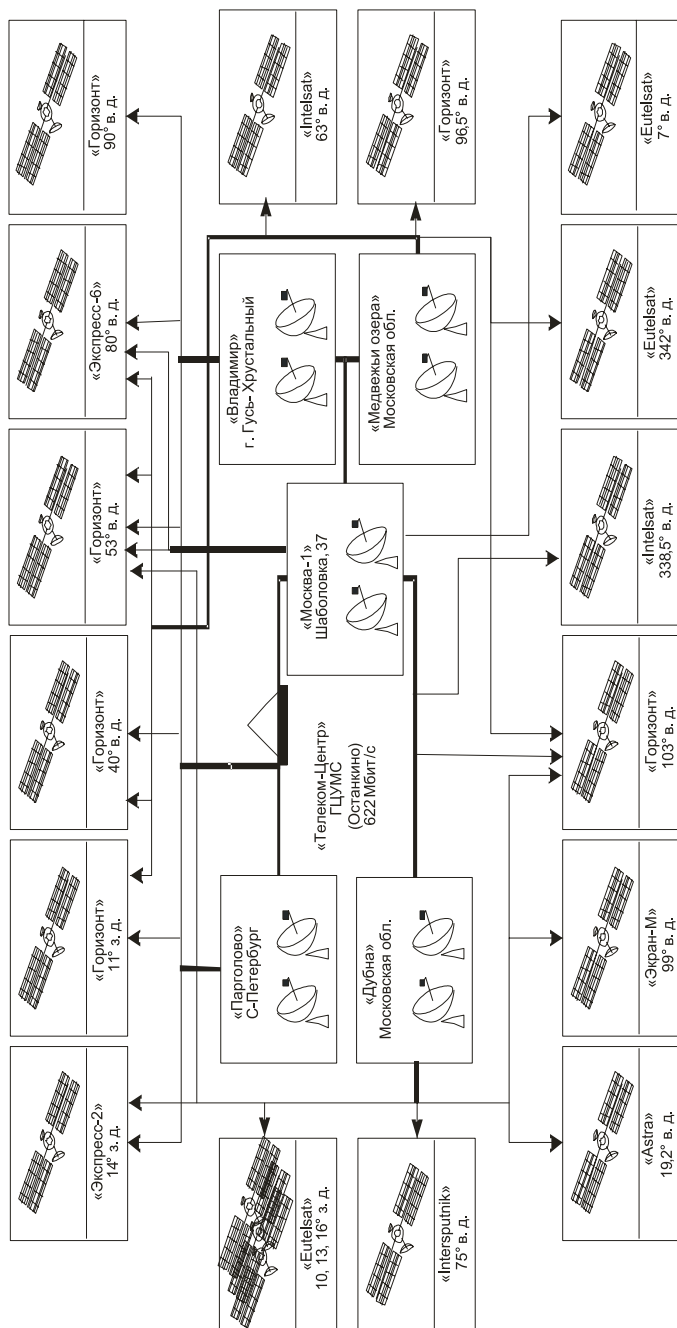


Рис. 7. 16. Фрагмент системы управления сетью спутникового вещания (европейская часть)

- применение единого комплекса максимально унифицированных технических средств, отвечающих общим техническим требованиям (единой номенклатуры типовых каналов и сетевых трактов с нормированными стыками в соответствии с нормами ЕЭС России);
- построение единой для телевизионного вещания системы управления и т. д.;
- комплексное применение радиорелейных, проводных и спутниковых средств связи;
- строительство магистральной сети телевизионного вещания по распределенному принципу с ветвящейся структурой.

Перспективы развития телевизионного вещания

Важнейшим направлением развития ТВ стало совершенствование сети линий передачи программ и передающих устройств, технический уровень которых определяет процент охвата населения вещанием, а также число и качество программ, принимаемых в различных уголках страны. Если в 1987 г. технические средства позволили организовать вещание первой и второй программ Центрального телевидения, то в 1997 г. уже существовали первая (ОРТ), вторая (РТР), третья (НТВ) и четвертая (канал «Культура») программы. В дальнейшем количество программ также увеличилось. Для этого потребовалось расширить сеть ТВ и реконструировать ряд действующих РТПС, а также существенно увеличить число ТР малой мощности, особенно ретрансляторов, получающих программы по спутниковым линиям связи.

Спутниковые системы телевизионного вещания «Орбита», «Экран», «Москва» сыграли огромную роль в развитии ТВ, обеспечив возможность трансляции программ по всей территории страны. В перспективе предстоит освоить новый диапазон частот 12 ГГц, специально выделенный для спутниковых линий связи. Это позволит кроме центральных транслировать краевые и областные ТВ-программы в те районы, где строительство линий передачи практически неосуществимо. Кроме того, работа в этом диапазоне позволит принимать телевизионные программы на антенны индивидуального пользования. В этом и заключается концепция развития непосредственного телевидения (НТВ) (рис. 7.17).

Перспективными являются работы в области передачи программ по международным линиям с помощью цифровых линий передачи, а также запись телевизионных программ в цифровой форме.

Достаточно реальными выглядят работы по созданию систем передачи объемных телевизионных изображений и стереофонического звукового сопровождения, а также по внедрению устройств дистанцион-

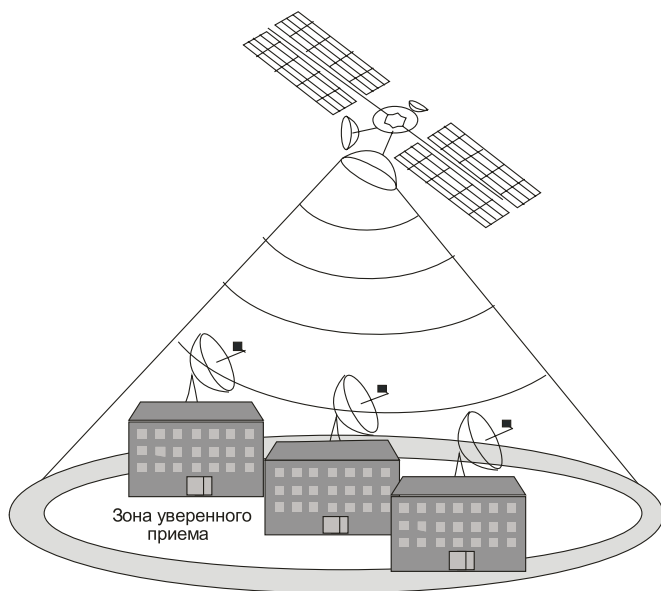


Рис. 7.17. Фрагмент сети непосредственного телевизионного вещания

ного управления домашним телеприемником, позволяющим не только переключать программы, но и добиваться желаемой громкости, тембра и цветовой гаммы.

Новое прогрессивное направление телевизионного вещания – телевидение высокой четкости (ТВЧ), которое позволяет существенно повысить качество телевизионного изображения и приблизить его восприятие к зрительному восприятию натуральных сцен и сюжетов.

Для обеспечения высококачественного телевизионного приема в районах с низкой напряженностью поля и в городах с разноэтажной застройкой, где высок уровень отраженных сигналов, телевизионные программы передаются по проводным линиям связи, в качестве которых используются коаксиальные и волоконно-оптические кабели. Вследствие этого в кабельном телевидении (КТВ) помех стало меньше, а число телевизионных каналов увеличилось до 100 и более. Схема построения КТВ имеет древовидную структуру (рис. 7.18).

КТВ состоит из головной станции, где сигналы принимаются от РТПС, обрабатываются, преобразуются по частоте и усиливаются, а также от распределительных сетей: магистральных (линий) (МС), субмагистральных (СМС) и домовых распределительных сетей (ДРС), подсединяемых к МС и СМС с помощью направленных ответвителей (ответ-

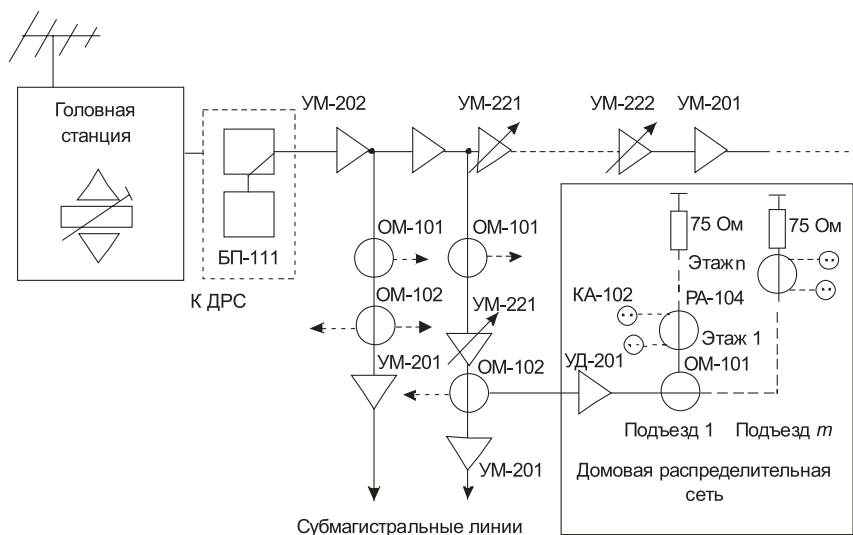


Рис. 7.18. Система кабельного телевидения с древовидной схемой построения распределительной системы

вителей магистральных (ОМ)). Абонентские разветвители (РА) и коробки (КА) служат для подсоединения абонентских отводов к линиям ДРС.

КТВ в будущем будет многофункциональным: коммерческое и учебное телевидение и радиовещание, в том числе передача специальных программ (спортивных, информационных, справочных и др.); телефон и видеотелефон; телеграф и фототелеграф; почтовая корреспонденция; газеты и журналы; доступ в библиотеку; услуги со стороны вычислительных центров; телетекст.

7.2.3. Назначение, составные элементы и принципы построения сети звукового вещания

Звуковое вещание (ЗВ) по своему назначению делится на внутри-российское и внешнее. В свою очередь, внутрироссийское звуковое вещание подразделяется на центральное и местное. Центральное звуковое вещание ведется на восьми программах: первая – информационная, общественно-политическая, познавательная и художественная; вторая («Маяк») – информационно-музыкальная; третья – общеобразовательная и литературно-музыкальная; четвертая – музыкальная. Структурная схема центра формирования программ приведена на рис. 7.19.

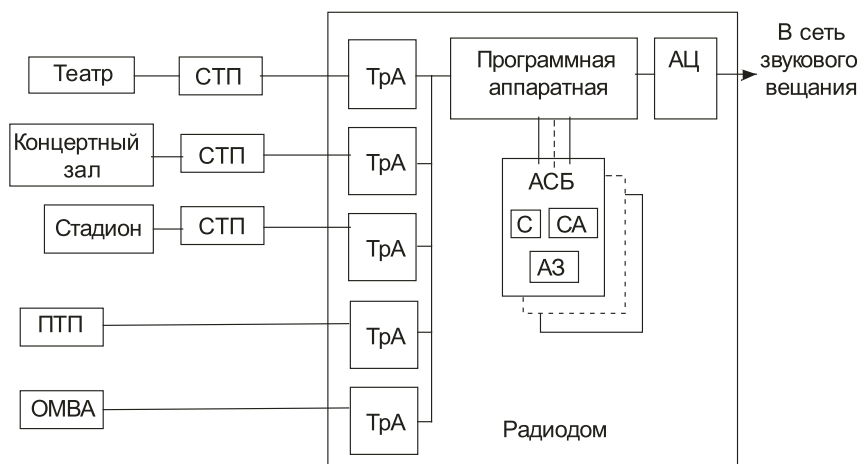


Рис. 7.19. Структурная схема центра формирования программ звукового вещания

Формирование программ заключается в преобразовании звуковых картин в соответствующие электрические сигналы, которые с помощью технических средств передаются к приемным устройствам слушателей.

Звук преобразуется в электрические сигналы в специально оборудованных помещениях – студиях (С). Если в программу необходимо включить внестудийную передачу (из театра, концертного зала, стадиона), то преобразование звука в электрический сигнал осуществляется в трансляционных пунктах. Такие пункты бывают как стационарными (СТП), так и передвижными (ПТС). Отдельные части программы могут быть подготовлены в центрах вещания других городов. В этом случае они поступают в центр формирования программ по междугородным линиям передачи через конечную междугородную вещательную аппаратуру (ОМБА), расположенную на МТС. Электрические сигналы поступают в студийные (СА) или трансляционные аппаратные (ТрА), в которых они усиливаются, регулируются и контролируются в отношении качества. Студия вместе со студийной аппаратной записи (АЗ) образует аппаратно-студийный блок (АСБ). После записи на магнитную ленту электрические сигналы поступают в программную аппаратную (ПА), где происходит окончательное формирование программ из отдельных частей. Из ПА электрические сигналы поступают в центральную аппаратную (АЦ), где осуществляется коммутация линий, соединяющих центр формирования программ с другими элементами сети звукового вещания, которые доводят сигналы вещательных программ до слушателей.

Территориально разнесенные передающие средства звукового вещания (радиовещательные станции и узлы проводного вещания) подключаются к сети звукового вещания с помощью междугородных каналов звукового вещания (МКЗВ) по РРЛ и кабельным линиям связи.

Сеть МКЗВ позволяет довести программы центрального вещания до всех столиц автономных республик, краевых и областных центров; подать программы ко всем радиовещательным станциям (РВС); обеспечить обмен программами с другими странами; организовать межобластной обмен программами. Как уже отмечалось, типовые МКЗВ создаются на базе каналов первичной сети ЕСЭ России. Каналы передачи программ образуются путем выделения определенной полосы частот в линейном спектре соответствующих систем передачи телефонных сообщений. Объединение двух-трех полос осуществляется с помощью аппаратуры АВ-2/3, с выхода которой программа вещания передается на входы КОА соответствующих систем передачи магистральных, внутризоновых и местных сетей.

Магистральная сеть распределения государственных программ звукового вещания на территории вещательных зон М, Г и В в Российской Федерации строится по региональному принципу, а вещательных зон Б и А – по административно-территориальному без учета регионального принципа.

Под регионом понимается совокупность нескольких административных зон России, объединенных с учетом административно-экономических связей и принадлежности к вещательной зоне, а также структуры магистральной первичной сети [9].

С учетом этих принципов программы ЗВ на территориях вещательных зон М, Г и В должны распределяться от центра их формирования до центров регионов (региональных узловых магистральных вещательных аппаратных) и от них до междугородных вещательных аппаратных (МВА), а на территориях вещательных зон А и Б – непосредственно до МВА.

Внутризоновая сеть распределения программ ЗВ (центральных, региональных и местных) должна строиться по радиальному принципу, при котором каналы организуются от МВА, расположенных в центрах субъектов федерации, до РПС и городских станций проводного вещания (СПВ).

Местная сеть распределения программ ЗВ строится по радиальному принципу, при котором каналы протягиваются от районного центра до сельских СПВ. Передача сформированных программ осуществляется с использованием радио- и проводных средств. В связи с этим возникли два понятия: «радиовещание» и «проводное вещание».

Сеть звукового вещания построена аналогично сети телевизионного вещания, хотя прием сигналов радиопередающих станций не связан с расстоянием в такой степени, как при телевизионном вещании. Однако следует учитывать, что каждая станция имеет ограниченную зону обслуживания.

Размеры зоны зависят от многих факторов, важнейшими из которых являются мощность станции и диапазон используемых радиоволн. Радиус зоны обслуживания может быть от нескольких десятков до нескольких сотен и даже тысяч километров (рис. 7.20).

Так как территория РФ охватывает более 11 часовых поясов и состав населения многонационален, то для организации сети радиовещания предполагается ее децентрализованное построение. Оно означает использование разветвленной передающей части, состоящей из мощных центральных станций радиовещания (РВС), автономных РВС, расположенных вне зоны уверенного приема центральных РВС, и местных РВС в крупных административных центрах.

Большое количество РВС на территории страны приводит к тому, что зоны действия отдельных РВС перекрываются. Если при этом учесть, что работа многих из них совпадает по времени, то понятна необходимость принятия специальных мер по предотвращению взаимных помех. Одной из таких мер является использование для вещания разных диапазонов волн и разных частот в пределах одного диапазона. В Российской Федерации радиовещание ведется в диапазонах кило-, гекто-, дека- и метро-

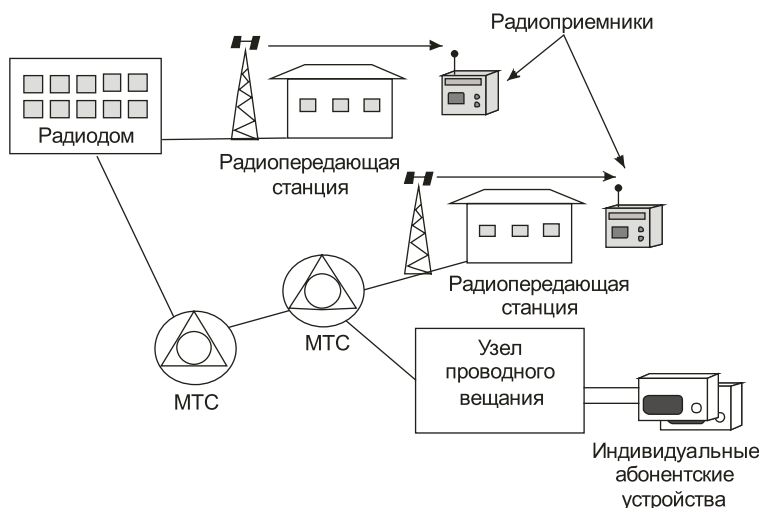


Рис. 7.20. Структурная схема сети звукового вещания (фрагмент)

вых волн. В соответствии с международной договоренностью для радиовещания отведены определенные участки таких диапазонов. Сделано это с целью уменьшения помех другим радиосистемам.

Возможные размеры зон обслуживания РВС определяются в основном спецификой распространения радиоволн различных диапазонов и мощностью радиопередающих устройств. Например, в диапазоне километровых волн можно образовать зону обслуживания с радиусом 1 500–2 000 км. В этом диапазоне работают РВС центрального и республиканского (краевого) вещания. В диапазоне гектометровых волн удается создать зону обслуживания одной РВС с радиусом 300–500 км для передачи программ центрального, республиканского (краевого) и областного вещания. Декаметровый диапазон используется для передачи программ центрального и республиканского радиовещания в отдельные и труднодоступные районы страны, а также для передачи специальных программ для населения стран ближнего и дальнего зарубежья. В метровом диапазоне волн зона обслуживания обычно не превышает 50–60 км. Метровые волны применяются для передачи программ центрального, республиканского (краевого) и областного вещания.

В пределах интервалов частот, выделенных для радиовещания в каждом диапазоне, можно организовать работу весьма ограниченного числа РВС. Объясняется это тем, что для работы каждой из них требуется не одна частота, а полоса частот. Ширина ее определяется видом используемой модуляции. В метровом диапазоне волн используется полоса частот шириной 250 кГц, а в других диапазонах – до 9 кГц. В результате этого оказывается, что для радиовещания можно использовать 15 частотных полос в диапазоне километровых волн, 120 частотных полос в диапазоне гектометровых и 28 частотных полос – в диапазоне метровых волн. Этого количества полос будет недостаточно, если за каждой полосой закрепить всего одну РВС. Радиовещание организуется так, что один и тот же частотный канал используется несколькими РВС, каждая из которых передает свою программу. В этом случае говорят, что РВС работают в совместном частотном канале.

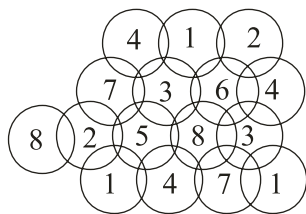


Рис. 7.21. Гипотетический вариант расположения радиовещательных станций

Гипотетический вариант расположения РВС на обслуживаемой территории (рис. 7.21) предполагает, что все их антенны являются ненаправленными, а условия распространения радиоволн одинаковы по всем направлениям.

Каждый круг, очерченный вокруг РВС, является зоной обслуживания, а окружа-

ность – границей зоны. Цифрами обозначены условные номера частотных каналов, в которых работают РВС.

Каждая РВС создает напряженность поля не только в границах своей зоны обслуживания, но и за ее пределами. Напряженность поля, созданная РВС за пределами предусмотренной зоны обслуживания, будет помехой при приеме программы РВС в другой зоне.

Особенно сильно эта помеха проявляется в зонах обслуживания РВС, работающих в совмещенном канале. В этом случае ослабить взаимные помехи можно путем пространственного разнеса РВС друг от друга и изменения мощности их передачи. Однако увеличение расстояния между РВС, работающими в совмещенной полосе, ведет к увеличению числа каналов. Сократить число необходимых полос частот можно, применив синхронное радиовещание, при котором несколько РВС, передающих одну программу, работают в одной частотной полосе, но с синхронизацией несущих частот. Синхронизация позволяет уменьшить искажения, возникающие в радиоприемных устройствах в результате воздействия на приемную антенну полей нескольких РВС.

Проводным вещанием (ПВ) называется система звукового вещания, состоящая из комплекса аппаратуры и сооружений, с помощью которых сигналы звукового вещания передаются слушателям по проводным сетям.

На сегодняшний день все города и практически все сельские населенные пункты охвачены сетью проводного вещания. Это объясняется тем, что на ее создание необходимы меньшие затраты (на создание передающей части сети) по сравнению с радиовещанием. Она обладает большей надежностью, простотой и дешевизной абонентских устройств, обеспечивает более высокое качество воспроизведения программ, имеет простую организацию вещания в пределах населенного пункта или района, поскольку не нужно занимать для этих целей радиоканалы.

Не следует считать, что радиовещание и проводное вещание конкурируют – наоборот, они дополняют друг друга.

В городах, где проживает более 250 тыс. человек, как правило, создают трехзвенную распределительную сеть ПВ с децентрализованным питанием (рис. 7.22).

Всю территорию города разбивают на зоны, в каждой из которых сооружается усилительная станция (ОУС), получающая программу от центральной станции проводного вещания (ЦСПВ). Каждая ОУС подает программу в магистральный фидер (МФ) – линию с высоким напряжением (от 480 до 960 В), питающую двухзвенную сеть. Если отсчет звеньев сети вести от абонента, то МФ является третьим звеном, а вто-

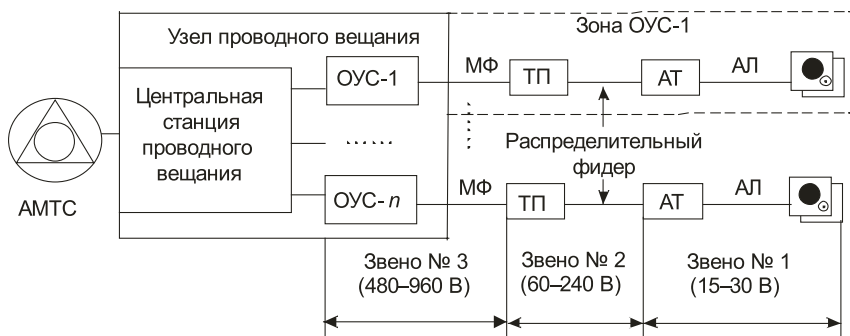


Рис. 7.22. Трехзвенная распределительная сеть проводного вещания

рым – распределительный фидер, питаемый через трансформаторную подстанцию (ТП) от МФ. Напряжение в распределительном фидере составляет от 60 до 240 В. От него осуществляется питание абонентских линий (АЛ) первого звена сети напряжением от 15 до 30 В. Подключение АЛ к распределительному фидеру производится через абонентский трансформатор (АТ).

В городах с населением до 100 тыс. человек и числом абонентов 20–25 тыс. практикуется строительство двухзвенных сетей ПВ (без ТП и МФ) с централизованным питанием.

В сельской местности создается сеть управляемых автоматизированных радиотрансляционных узлов (АРТУ), получающих программу по радиолиниям в метровом диапазоне волн. В одном районе создается несколько АРТУ и один обслуживаемый УПВ. Все узлы, как правило, с двухзвенной распределительной сетью.

Длительное время сеть ПВ в стране строилась в расчете на одну программу вещания. Начиная с 1962 г., проводное вещание постепенно переводится на систему трехпрограммного вещания. В этой сети одна программа (основная) передается обычным образом, т. е. в спектре звуковых частот, а две другие – в спектре более высоких частот (несущие частоты 78 и 120 кГц). Каждая дополнительная программа транслируется с помощью отдельного передатчика, подключенного в отличие от обычного радиовещательного передатчика не к антенне, а к неизлучающей проводной линии – фидеру. Абонентское устройство подобно простому радиовещательному приемнику с фиксированной настройкой на две частотные полосы.

Передача программ звукового вещания может производиться без преобразования спектра в полосе звуковых частот. Для этого в коаксиальной линии выделяются специальные экранированные пары кабеля,

по которым с помощью усилительной аппаратуры передают программы вещания. Усилительная аппаратура рассчитана на передачу до шести программ вещания. Такой способ вещания прост, надежен и обеспечивает высокую защиту от помех, но его реализация требует больших капитальных затрат, в основном из-за большой стоимости экранированного кабеля.

Программы звукового вещания могут подаваться в отдаленные районы по радиолиниям декаметровых волн. Однако этот способ применяется только для резервирования основных каналов передачи программ.

На сельские УПВ программы транслируются по радиолиниям метровых волн, обеспечивающим высокое качество передачи. В зоне неуверенного приема метровых волн программы передаются по проводным линиям телефонной связи.

Таким образом, принципы построения сети звукового вещания в основном аналогичны принципам сети телевизионного вещания. К особенностям сети звукового вещания следует отнести то, что для магистральной сети применяют региональный и административно-территориальный принципы построения, а для внутризонавой и местной сетей – радиальный.

В перспективе развития сети звукового вещания предусматриваются:

- автоматизация формирования и передачи программ вещания; наращивание мощности РВС за счет строительства новых и реконструкции действующих;
- улучшение параметров УПВ;
- создание полностью необслуживаемых РВС и УПВ;
- наряду с кабельными и радиорелейными МКЗВ все более широкое использование каналов передачи программ через ИСЗ с применением цифровых систем передачи;
- наряду с монофоническим вещанием развитие стереофонического;
- значительное расширение услуг, предоставляемых сетью звукового вещания (включение – выключение по заранее записанной программе, взаимодействие с другими системами, уменьшение громкости во время телефонного разговора, выбор и специфическая обработка сигналов, задаваемая домашними условиями и вкусами слушателя программы, дистанционное управление и беспроводная передача сигналов в квартире на головные телефоны слушателя и др.).

Говоря о системах массового вещания, необходимо отметить, что в России создана уникальная по своим масштабам распределительная

сеть телевидения, которая состоит из 329 мощных передающих станций и примерно 8 000 ретрансляторов малой мощности; 98 % населения принимают одну, 96 % – две и 52 % – три программы телевидения с нормированным качеством.

Основными техническими средствами передачи телевизионных программ являются наземные станции различной мощности: «Якорь», «Игла», «Зона» и ее модификации («Ураган», «Лен», «Ладога», АТПС 5/1, «Ильмень», «Ильмень-2», Т-20, АТПС 50/5 и др.). Многие из них устарели, но в силу необходимости могут функционировать в сети еще 5–10 лет. Развитие сетей телевизионного вещания направлено на внедрение современных систем кабельного и спутникового вещания.

Звуковое вещание сохраняет свое огромное значение, однако в силу кардинальных изменений политического и экономического положения России ситуация в области радиовещания изменилась больше, чем в телевидении. Около 60 % передатчиков физически изношены. Большинство из них устарели и требуют замены. Самым распространенным является проводное звуковое вещание. Трансляционные проводные сети насчитывают примерно 46 млн радиоточек, в том числе 37 млн – многопрограммного вещания. В настоящее время по разным причинам наметилась тенденция к ежегодному отключению до 1 млн абонентских точек [7].

Тем не менее развитие массового вещания характеризуется увеличением программ, улучшением их качества с точки зрения содержания.

Вопросы для самоконтроля

1. Принципы построения сотовых сетей.
2. Принципы построения транкинговых сетей.
3. Принципы построения сетей персонального радиовызова.
4. Назовите аналоговые и цифровые стандарты сотовой связи, применяемые в Российской Федерации
5. Дать характеристику стандарта сотовой связи GSM-900.
6. Дать характеристику стандарта транкинговой связи TETRA.
7. Каковы перспективы развития сетей радиосвязи с подвижными объектами.
8. Принципы построения сети телевизионного вещания.
9. Состав системы спутникового вещания.
10. Принципы построения сети звукового вещания

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Григорьев В.А.** Сети персонального радиовызова / В.А. Григорьев, А.В. Кузичкин // Электросвязь. – 1995. – № 5.
2. **Джакония В.Е.** Телевидение: учебник / В.Е. Джакония. – М.: Радио и связь, 1997. – 670 с.
3. **Ефимов А.П.** Радиосвязь, вещание и телевидение / А.П. Ефимов, Калашников, С.В. Новаковский [и др.]. – М.: Радио и связь, 1981. – 228 с.
4. **Зубарев Ю.Б.** Передача изображений / Ю.Б. Зубарев, Г.Л. Глориз. – М.: Радио и связь, 1982. – 224 с.
5. **Локшин М.Г.** Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ-вещания. Справочник / М.Г. Локшин., А.А. Шур, А.В. Кокорев, Р.А. Краснощек. – М.: Радио и связь, 1988. – 144 с.
6. **Мамаев Н.С.** Спутниковое телевизионное вещание: приемные устройства. – 2-е изд., перераб. и доп. / Н.С. Мамаев. – М.: Радио и связь, 1998. – 152 с.
7. **Мишенков С.Л.** Техника звукового вещания. 100 лет радио: сборник статей / С.Л. Мишенков; под ред. В.В. Мигулина. – М.: Радио и связь, 1995.
8. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года. – Книга 5: Основные положения развития сетей подвижной связи. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996. – 79 с.
9. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года. – Книга 6: Основные положения развития систем распределения программ звукового и телевизионного вещания. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996.
10. **Пышкин И.М.** Системы подвижной радиосвязи / И.М. Пышкин, И.И. Дежурный, В.Н. Талызин и др. – М.: Радио и связь, 1986. – 328 с.
11. **Толмачев Ю.А.** Спутниковые системы связи и вещания // Вестник связи. – 1993. – № 11.

Глава 8

ЦИФРОВЫЕ СЕТИ С ИНТЕГРАЦИЕЙ СЛУЖБ



8.1. Принципы построения цифровых сетей с интеграцией служб

В рекомендациях МСЭ-Т определено, что под цифровой сетью интегрального обслуживания понимается такая сеть, в которой одни и те же устройства цифровой коммутации и цифровые тракты используются для установления соединений более одного вида связи, например телефонии, передачи данных и др. Цифровая сеть интегрального обслуживания (*ISDN*) была разработана в начале 80-х гг. XX в.

Цифровые сети интегрального обслуживания делятся на два вида:

- узкополосные цифровые сети интегрального обслуживания (У-ЦСИО);
- широкополосные цифровые сети интегрального обслуживания (Ш-ЦСИО).

К У-ЦСИО относятся сети, в которых скорость передачи не превышает 2 048 кбит/с (приблизительно 2 Мбит/с), а к Ш-ЦСИО – сети со скоростью передачи свыше 2 048 кбит/с.

У-ЦСИО (первые ее разработки начались в 1976 г.) предназначена для передачи речевой и неречевой информации (речь, низкоскоростная передача данных и черно-белых изображений) в единой сети с высоким качеством. Основой У-ЦСИО является телефонная сеть на базе цифровых телефонных каналов со скоростью 64 кбит/с.

Ш-ЦСИО предназначена для высокоскоростной передачи информации, например сигналов цветного ТВ (4–6 Мбит/с), ТВ высокой четкости (16–24 Мбит/с), полутонного факсимиле (9–16 Мбит/с), цветного факсимиле (30–60 Мбит/с), машинной графики с высокой разрешающей способностью (20–100 Мбит/с), пересылки файлов (до сотен Мбит/с). Такая сеть базируется на магистральных волоконно-оптических линиях связи.

Цифровые сети интегрального обслуживания строятся на основе следующих принципов:

1. Все виды сообщений передаются в цифровой форме, начиная от оконечного абонентского устройства (абонентского терминала) пользователя.

2. Соединения абонентов проходят по непрерывному (сквозному) цифровому каналу, т. е. применяется техника коммутации каналов (КК), однако возможна передача данных с использованием коммутации пакетов (КП).

3. Пользователи имеют доступ к сетевым службам через ограниченный набор стандартных многофункциональных интерфейсов или стыков («пользователь – сеть»).

4. Подключение абонентских установок пользователей к узлам коммутации *ISDN* осуществляется по основному (базовому) абонентскому доступу (интерфейсу), который обеспечивает образование двух дуплексных информационных каналов (*B*-каналов) по 64 кбит/с и одного канала для абонентской сигнализации (*D*-канал) 16 кбит/с. Канальную структуру основного абонентского доступа принято обозначать по числу используемых каналов: $2B + D$.

5. Для подключения учрежденческих станций *ISDN* определен так называемый первичный доступ (доступ на первичной скорости) – это доступ на скорости передачи 2 Мбит/с, который предусматривает образование 30 дуплексных информационных *B*-каналов и одного *D*-канала (канал сигнализации) со скоростью 64 кбит/с ($30B + D$). Кроме того, первичный доступ может также предоставлять каналы со скоростью 384 кбит/с, называемые каналами *H0*, или единственный канал со скоростью 1 920 кбит/с, называемый *H12*.

6. Каждая абонентская установка пользователя имеет только один номер для вызова (абонентский номер) независимо от количества и вида используемых служб связи (речь, текст, данные, изображения), которыми пользуется абонент, и количества применяемых в абонентской установке абонентских терминалов.

7. Абоненты существующих сетей (аналоговой телефонной сети) могут соединяться с абонентами *ISDN* через устройство сопряжения сетей (шлюз).

8. Терминалы одной абонентской установки пользователя могут быть включены в конфигурации типов «шина», «звезда» и «точка к точке».

9. Возможно установление соединения не только между установками пользователя, но и между оконечными устройствами одной установки пользователя.

10. Пользователям обеспечивается доступ к широкому диапазону служб, включая как речевые, так и неречевые.

С учетом указанных принципов ЦСИО можно определить как сеть, являющуюся результатом развития цифровой телефонной сети, обеспечивающей цифровые соединения между оконечными устройствами для возможности предоставления широкого диапазона речевых и неречевых служб, доступ к которым осуществляется через ограниченный набор стандартизованных многофункциональных интерфейсов.

В структуре ЦСИО в явном виде отражены первые семь принципов ее построения (рис. 8.1).

Согласно рекомендации МСЭ-Т подключение абонентских устройств (*Terminal Equipment – TE*) может быть выполнено в нескольких вариантах (рис. 8.2). Реализация конфигураций «короткая пассивная шина», «точка к точке» и «протяженная пассивная шина» для основного абонентского окончания не требует реализации функций сетевого окончания *NT-2*. Основной задачей блока сетевого окончания *NT-2* является обеспечение совместного использования одного сетевого окончания несколькими оконечными устройствами. При реализации указанных конфигураций каждое абонентское устройство (*TE*) подключается к соединительной линии. Для этой линии обычно используются две двухпроводные цепи, которые кроме обеспечения передачи информации (одна двухпроводная цепь на произвольное направление пере-



Рис. 8.1. Структурная схема ЦСИО

дачи) могут служить для подачи питания в оконечные устройства через сетевое окончание *NT*.

К соединительной линии не предъявляется никаких особых требований. Обычно она представляет собой две незранированные симметричные двухпроводные цепи, например такие, которые в течение долгого времени применялись в обычной телефонной сети. Таким образом, при переходе от аналоговых абонентских окончаний к *ISDN* можно, как правило, использовать существующие абонентские и соединительные линии. Обе двухпроводные цепи размещаются в одном кабеле с другими двухпроводными цепями. Вместе с тем необходимо отметить, что для установки абонентских устройств в Ш-ЦСИО необходимо осуществлять прокладку либо волоконно-оптического кабеля, либо медной витой пары. Это связано с повышением требований к абонентским линиям при увеличении скорости передачи.

Протяженность линий для всех конфигураций ограничена временем распространения сигнала и затуханием, которые зависят от типа соединительной линии. Для примера на рис. 8.2 приведены возможные значения протяженности типовых абонентских (соединительных) линий.

Преимуществами ЦСИО являются:

- универсальность использования цифровых абонентских линий (ЦАЛ), т. е. возможность осуществления по одним и тем же линиям как телефонных переговоров, так и передачи данных;

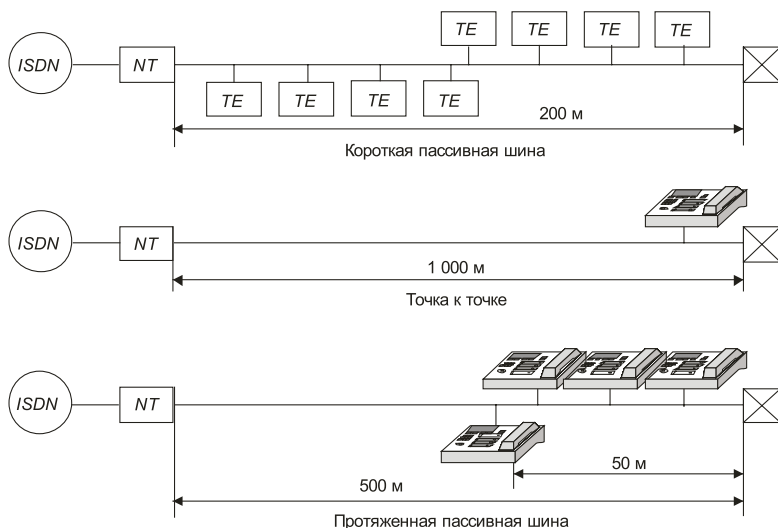


Рис. 8.2. Варианты конфигураций стыка «пользователь–сеть»

- сопряжение служб, возможность организации соединения телетекста, телекса или телефакса с соответствующим устройством (благодаря передаче по каналу сигнализации не только адреса порта, но и дополнительной адресной информации, идентификатора оконечной точки для соединения с одним из устройств, подключенных к указанному порту);

- сокращение времени установления соединения за счет использования общего канала сигнализации и передачи по нему сигналов взаимодействия и управления (занятие линии, набор номера, ответ, разъединение и т. д.) в пакетном виде;

- предоставление дополнительных услуг, таких как идентификация вызывающего абонента по номеру или имени, переадресация и передача вызовов, уведомление о поступлении нового вызова во время разговора, блокировка входящих вызовов, подключение к разговору и др.

Услуги связи в сети предоставляются пользователю только с помощью определенных служб электросвязи. Служба электросвязи – это организационно-техническая структура на базе сети (или совокупности сетей) связи, обеспечивающая обслуживание пользователей с целью удовлетворения их потребностей в определенном наборе услуг электросвязи.

Согласно рекомендациям МСЭ-Т в *ISDN* различают два вида служб электросвязи:

- службы передачи (или переноса);
- телеслужбы (или службы предоставления связи).

Служба передачи – служба электросвязи, обеспечивающая возможность только передачи сигналов между стыками сети с абонентскими оконечными устройствами, например служба передачи данных (рис. 8.3).

Телеслужба – служба электросвязи, обеспечивающая реализацию всех возможностей (включая функции терминалов) определенного вида связи между пользователями (рис. 8.4). Телеслужба организуется на базе службы переноса (телефонной сети, сети телекса и др.) и терминалов. Примерами телеслужб являются службы телетекста, телефакса, бюрофакса и др.

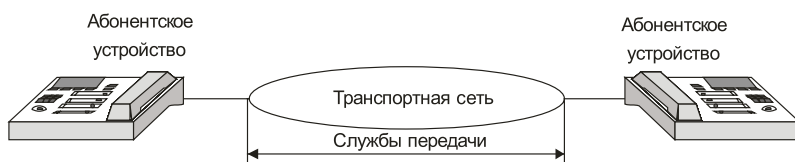


Рис. 8.3. Службы передачи



Рис. 8.4. Телеслужбы

Протоколы телеслужб обеспечивают совместимость оконечных устройств соответствующих служб, в частности в отношении кодирования (наборов знаков) и форматирования полезной информации, подлежащей передаче.

Таблица 8.1

Службы в ISDN

Класс служб	B-каналы (64 кбит/с)	D-канал	Существующие службы телефонной сети
Диалоговые службы	Службы передачи: передача данных (с коммутацией каналов, пакетов). Телеслужбы: телефонная, речевая конференцсвязь, телекс, телефакс, рисование на расстоянии, передача неподвижных изображений, передача подвижных изображений, службы безопасности, службы дистанционного управления	Передача данных (с коммутацией пакетов). Службы безопасности. Службы дистанционного управления	Телефонная, Телефакс, передача данных, службы безопасности, службы дистанционного управления
Службы с накоплением	Накопление: речевых сигналов, сигналов текста, факсимильных сигналов		
Службы по запросу	Видеотекс		Видеотекс
Службы с разветвленным режимом работы	Распределение: данных, речи, неподвижных изображений		

В дополнение к классификации служб, выполненной на основе эталонной модели ВОС, МСЭ-Т произвел дальнейшую классификацию, охватывающую службы ISDN на скоростях передачи до 64 кбит/с и перспективные высокоскоростные службы.

Интерактивные службы охватывают следующие классы служб:

- диалоговые;
- с накоплением;
- по запросу.

Интерактивные службы и службы с разветвленным режимом работы могут быть как телеслужбами, так и службами передачи.

Службы в *ISDN* классифицированы по схеме: службы, организуемые по *B*-каналам, по *D*-каналу и существующие службы телефонной сети (табл. 8.1).

Службы *ISDN*, организуемые по *D*-каналу

В ЦСИО *D*-канал служит преимущественно для передачи служебных сигналов между пользователем и сетью. Наряду с этим он может использоваться для передачи пакетов данных в службах передачи данных и сигналов телеметрии, службах безопасности и дистанционного управления, но с приоритетом сигнализации. Скорости передачи для таких дополнительных служб изменяются в зависимости от загрузки *D*-канала служебными сигналами. По *D*-каналу с пропускной способностью 16 кбит/с возможна передача сигнала в среднем со скоростью до 10 кбит/с.

Телеслужбами по *D*-каналу могут быть службы безопасности, такие как службы тревоги и экстренного вызова, службы дистанционного управления для телеметрии (снятия показаний счетчиков), контроля и управления.

Все системы передачи и коммутации в ЦСИО цифровые, что позволяет быстро передавать сообщения в цифровой форме.

В отличие от цифровой телефонной сети, в которой до абонентских устройств доводятся аналоговые сигналы, в *ISDN* цифровые сигналы доводятся непосредственно до абонентских устройств, т. е. используются цифровые абонентские линии (*DSL*). Вследствие этого большинство рекомендаций МСЭ-Т по *ISDN* касается абонентской части сети – абонентского окончания. При этом важными являются вопросы, касающиеся построения абонентской установки; стыки «пользователь – сеть» в рамках абонентской установки (рис. 8.5), а также абонентская сигнализация.

При стандартизации *ISDN* было определено минимально возможное число видов абонентского доступа с различными грациями скоростей.

В *ISDN* определены два типа каналов исходя из характера передаваемых по ним сигналов:

- информационные (основные), по которым передается только полезная информационная нагрузка;

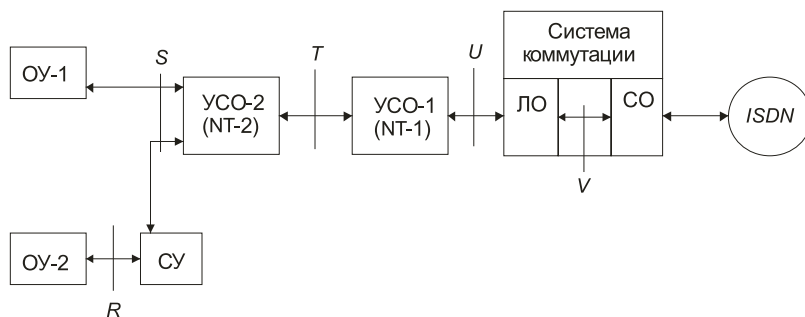


Рис. 8.5. Стыки в сети ISDN:

OY-1 – оконечное устройство со стыком ISDN;

OY-2 – оконечное устройство с обычным стыком; СУ – согласующее устройство;

YCO-1,2 – устройства сетевого окончания; ЛО – линейное окончание;

СО – сетевое окончание;

R, S, T, U, V – контрольные точки (интерфейсы)

– каналы сигнализации (служебные), по которым передаются сигналы взаимодействия и управления (СВУ) для обеспечения установления соединения между оконечными устройствами и системами коммутации или непосредственно между системами коммутации. По этим каналам в некоторых случаях могут передаваться и информационные сигналы, например данные на малых скоростях.

В настоящее время для использования в ISDN МСЭ-Т определены типы цифровых информационных каналов с различной скоростью передачи (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Типы цифровых информационных каналов

Обозначение канала	B	H0	H11	H12	H1	H2	H3	H4
Скорость цифрового потока, кбит/с	64	384	1 536	1 920	2 048	34 000	70 000	140 000

Канал B – основной (базовый), известный как основной цифровой канал. Он предназначен для передачи информационной нагрузки со скоростью 64 кбит/с. Через B-канал могут передаваться следующие виды информации:

- цифровая речь со скоростью 64 кбит/с в режиме КК;
- данные в режимах КК или КП со скоростью 64 кбит/с;
- речь совместно с данными с групповой скоростью 64 кбит/с;
- речь в пакетной форме со скоростью передачи до 64 кбит/с.

Кроме того, B-канал может разбиваться на несколько подканалов со скоростями 8, 16 и 32 кбит/с, каждый из которых может использо-

ваться отдельным абонентом. Передача в подканалах одного *B*-канала организуется на базе статистического уплотнения.

К информационным каналам относится группа *H*-каналов (широкополосные), предназначенных для использования в системах передачи широкополосной звуковой информации, цифрового высокоскоростного факсимиле, видеoinформации, а также в системах высокоскоростной передачи данных.

Типы служебных каналов

В цифровых сетях с интеграцией обслуживания можно выделить два типа служебных (сигнальных) каналов (табл. 8.3.).

Таблица 8.3

Типы служебных каналов

Обозначение канала	Протокол сигнализации	Скорость цифрового потока, кбит/с
D	Протокол D-канала	16 или 64
E	Полученный из системы сигнализации № 7	64

D-канал – служебный канал для передачи сигналов взаимодействия и управления (СВУ). Он обеспечивает передачу СВУ между абонентской установкой и системой коммутации. В зависимости от вида абонентского интерфейса *D*-канал может иметь скорость 16 или 64 кбит/с. В некоторых случаях по нему могут также передаваться сигналы телеметрии и данные на малых скоростях. При одновременной передаче различных видов информации в *D*-канале используется статистическое уплотнение.

E-канал также является служебным каналом для передачи СВУ со скоростью 64 кбит/с между системами коммутации сети.

Принципиальная разница между *D*- и *E*-каналами состоит в применяемых протоколах сигнализации:

- в *D*-канале используется стандартный протокол *ISDN*, так называемый «протокол *D*-канала»;
- в *E*-канале применяется специальный протокол из подсистемы передачи сообщений системы сигнализации № 7.

Существенная особенность широкополосной ЦСИО заключается в расширенном перечне предоставляемых пользователям услуг и применении асинхронного режима переноса информации – метода *ATM* (*Asynchronous Transfer Mode*).

Асинхронный режим передачи *ATM* представляет собой метод коммутации и мультимплексирования, являющийся разновидностью комму-

тации пакетов, в которой используются короткие пакеты постоянной длины, называемые ячейками. Метод *ATM* считается одним из рациональных вариантов режима переноса информации в широкополосной ЦСИО. Его применение оказало большое влияние на стандартизацию новой цифровой иерархии систем передачи, станций коммутации и широкополосных интерфейсов. В рекомендации I.150 метод *ATM* характеризуется как особый метод переноса информации, использующий технику асинхронного временного мультиплексирования. Объединенный информационный поток разделяется на блоки фиксированной длины, называемые ячейками или элементами.

Метод *ATM* ориентирован в основном на услуги, требующие предварительного установления соединения между пользователями. Сигнальные сообщения и информация пользователей передаются по различным виртуальным каналам. Однако метод *ATM* считается эффективным и для услуг, которые не требуют соединения между пользователями. Использование метода *ATM* оказало значительное влияние на разработку и стандартизацию нового поколения цифровых систем передачи и коммутации, структур мультиплексирования в ЦСП и интерфейсов в широкополосных сетях.



8.2. Абонентские линии *xDSL*

Как было отмечено ранее, основная поддерживаемая *ISDN*-скорость передачи пользовательской информации составляет 64 кбит/с, что позволяет абонентам получать услуги традиционной телефонии, видеотелефона, передачи данных по протоколам *X.25*, *Frame Relay*, выхода в Интернет. Однако на современном этапе информатизации общества этого недостаточно. Необходимо предоставлять абонентам услуги телевидения высокой четкости, видеоконференц-связи и т. п., для реализации которых нужна более высокая скорость. Увеличить скорость на участке абонентской линии по обычным медным проводам («витая пара») возможно с применением технологии *xDSL*. Технология цифровых высокоскоростных абонентских линий *xDSL* была разработана в 1990 г. Существует несколько вариантов *xDSL*.

HDSL (*High-data-rate Digital Subscriber Line*) – высокоскоростная цифровая абонентская линия, представляющая собой два модема, соединенных одной или несколькими кабельными парами. При этом обеспечивается симметричная дуплексная передача цифровых потоков на скорости 2 048 кбит/с. Такой же тракт поддерживает и аппаратура

ИКМ-30, однако *HDSL* позволяет значительно увеличить длину регенерационного участка и предъявляет гораздо менее жесткие требования к переходному затуханию в используемых кабелях. В *HDSL*-технологии применяется одно-, двух- или трехпарный кабель.

Вариант организации связи с применением технологии *HDSL*: на станции устанавливается станционный модуль, а в помещении абонентов – удаленный модуль *HDSL*. Они соединены между собой двумя кабельными парами (рис. 8.6).

Вариант подключения оконечных устройств к транспортной сети показан на рис. 8.7.

Сравнительная характеристика наиболее известных и распространенных систем *HDSL* приведена в [15].

***SDSL* (Single-fine Digital Subscriber Line)** представляет собой однопарную версию *HDSL*. Эта система обеспечивает симметричную передачу цифрового потока со скоростью 2 048 кбит/с по одной паре телефонного кабеля.

***ADSL* (Asymmetrical Digital Subscriber Line)**, или асимметричная абонентская цифровая линия, представляет собой два модема, соединенных одной кабельной парой. Технология *ADSL* позволяет передавать данные на скоростях от 1,5 до 9 Мбит/с в прямом направлении

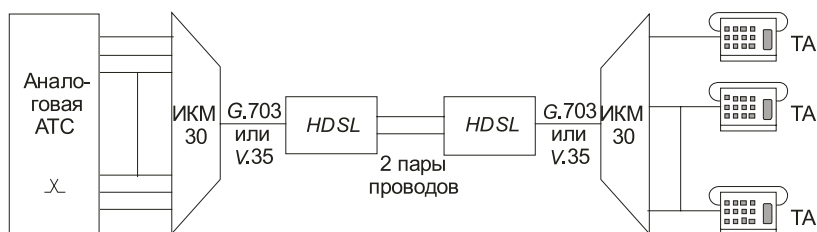


Рис. 8.6. Подключение удаленных абонентов с помощью аппаратуры *HDSL*

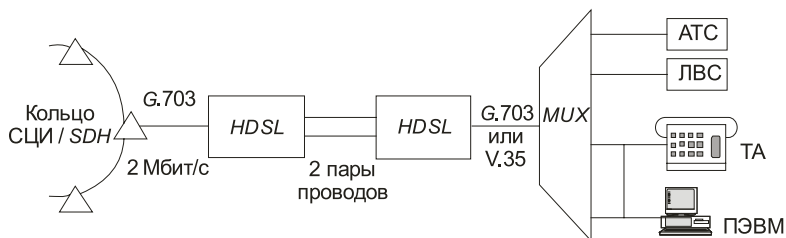


Рис. 8.7. Доступ к транспортной сети СЦИ/SDH с помощью аппаратуры *HDSL*

нии и от 16 до 640 кбит/с – в обратном. *ADSL* обеспечивает «видео по запросу», доступ в *Internet*, циркулярную рассылку информации в сетях, предназначенных для ограниченного контингента абонентов, включая доступ к централизованным базам данных из удаленных рабочих мест, предоставление в различном виде информации по требованию и другие услуги мультимедиа. Максимальная длина линии около 5,5 км.

***RADSL* (Rate-Adaptive ADSL)** – *ADSL* с адаптируемой скоростью. Эта технология позволяет приспосабливаться к характеристикам конкретной линии (длина, соотношение сигнал–шум и т. д.), соответственно управлять скоростью передачи и за счет этого достигать максимальной пропускной способности в реальных условиях.

***VDSL* (Very-high-rate Digital Subscriber Line)** – сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия. Предполагается, что она будет работать на скорости передачи от 12,9 до 52,8 Мбит/с. *VDSL* предназначена для работы в *ATM*-сетях.



8.3. Назначение сигнализации и ее задачи, решаемые в сетях связи

Для передачи сообщений между оконечными пунктами в коммутируемых сетях связи необходимо передавать также сигналы управления, обеспечивающие установление и разъединение соединений источника (абонента) с получателем (корреспондентом) через узлы коммутации и выполнение служебных функций. Соответствующие задачи решает система сигнализации, реализующая формирование сигналов управления и обмен ими в абонентской (терминальной) и магистральной сетях.

Под сигнализацией подразумевается процесс обмена сигналами между коммутационными центрами и оконечными абонентскими установками с целью установления требуемого соединения [7]. В зависимости от участка сети различают следующие виды сигнализации (рис. 8.8):

- абонентскую – на участке между абонентским оконечным устройством (терминалом) и узлом коммутации;
- внутривыделенную – между различными функциональными узлами и блоками внутри коммутационной станции;
- межвыделенную (сетевую) – между различными УК в сети.

Абонентскую, внутривыделенную и межвыделенную сигнализацию обеспечивают сигналы трех категорий:

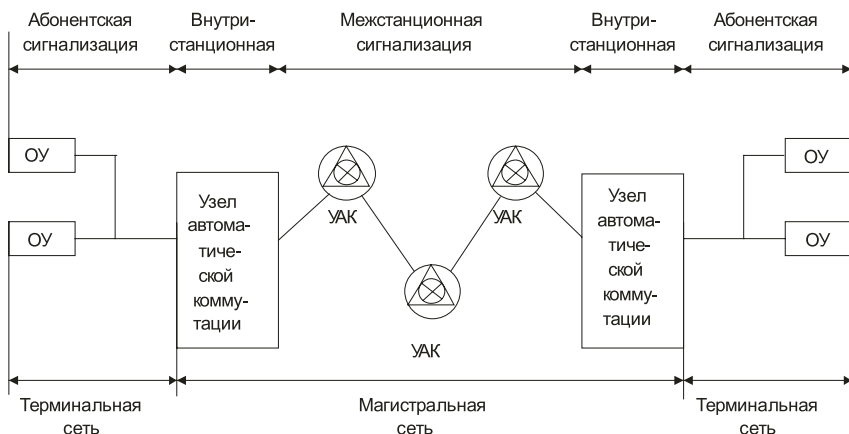


Рис. 8.8. Сигнализация в сетях связи

- абонентские (АС), которые управляют трактом передачи по абонентской линии и предоставляют адресную информацию для регистрации в местной системе коммутации, а также информируют абонентов о состоянии соединения (акустические и зуммерные сигналы);
- линейные (ЛС), управляющие трактом передачи по каналам связи между станциями. Передаются они как в прямом, так и в обратном направлении в исходном состоянии во время установления соединения до полного освобождения приборов. Эти сигналы отмечают основные этапы установления соединения;
- сигналы маршрутизации (СМ) (регистровые), которые предоставляют адресную информацию для маршрутизации вызовов к месту назначения (например, информацию о номере вызываемого абонента, о категории и номере вызывающего абонента, сигналы категории вызова и др.).

В настоящее время в международных и национальных телефонных сетях применяются международные и национальные системы телефонной сигнализации (СТС), описание которых приводится в рекомендациях МСЭ-Т (табл. 8.4).

Используемый тип СТС находится в определенной зависимости от применяемого на КЦ вида коммутации. При ручной коммутации в одночастотной СТС № 1 для передачи сигнала сигнализации при международных соединениях используется тональная частота $F = 500$ Гц, которая прерывается с частотой $F_{\text{пр}} = 20$ Гц, а $t_{\text{пр}} = 2$ с.

При международных линиях связи МСЭ-Т была предложена СТС № 2, однако практического применения она не получила.

В СТС № 3 используется одночастотный вариант для распознавания сигнала сигнализации (по длительности и числу импульсов).

Таблица 8.4

Международные и национальные стандартные системы сигнализации

Тип СТС	Частота линейного сигнала/ прерывания, Гц	Регистровый сигнал	Характеристика	Применение	Год стандартизации
№ 1	500/20	–	Для ручного режима коммутации в КЦ	В Европе	1934
№ 2	600 и 750	Набор номера одной частотой $f = 750$ Гц	Для полуавтоматического режима коммутации в КЦ	Только в национальных сетях	1938
№ 3	2280	Двоичный код с частотой $f = 2280$ Гц	Однонаправленная работа для автоматических и полуавтоматических приборов	В Европе	1954
№ 4	2040 и 2400	Двоичный код с частотами $f = 2040$ и 2400 Гц	Однонаправленная работа. Невозможность работы в межконтинентальных линиях с выделением активных интервалов времени (TASI)	В Европе и Средиземноморье	1954
№ 5	2400 и 2600	Комбинация двух из шести частот от 700 до 1700 Гц	Двунаправленная работа. Возможность работы с TASI	В международных сетях	1964
R1	2600	Аналогично № 5	Двунаправленная работа. Работа с системами ИКМ-24	В Северной Америке	1962
R2	3825	Комбинация: прямая (6 частот от 1380 до 1980 Гц); обратная (от 540 до 1140 Гц)	Модернизированный тип многочастотной сигнализации (MFC). Однонаправленная работа; двунаправленная работа; работа по выделенным временным каналам систем ИКМ-30	В Европе, Юго-Восточной Азии, Латинской Америке	1968

В настоящее время широкое распространение получили СТС, которые могут применяться как при автоматической коммутации (АК), так и при полуавтоматической (ПАК). В зависимости от используемого метода передачи сигналов международные СТС делятся на два вида:

- системы с внутриканальной сигнализацией (ВКС);
- системы с сигнализацией по общему каналу (СТС по ОКС).

В системах с ВКС для передачи сигналов сигнализации может использоваться любой участок полосы частот, выделенный для данного телефонного канала (например, СТК в СССР – 0–4 кГц). В системах по ОКС для реализации функций сигнализации из группы оперативных (речевых) каналов выделяется один специальный общий канал, по которому передаются функциональные сигналы этой группы каналов.

Системы с ВКС подразделяются на системы, использующие методы внутриполосной и системы с внеполосной передачей сигналов. При внутриполосной сигнализации сигналы передаются в разговорной полосе частот в период, когда речь не передается. При внеполосной сигнализации для исключения взаимного влияния сигналов речевых и сигнализации последние могут передаваться в полосе «защищенных промежутков» (например, в каналах СССР – 0–0,3 кГц и 3,4–4,0 кГц). МСЭ-Т рекомендует для внеполосной сигнализации использовать частоту 3 825 Гц.

В настоящее время широко применяются системы внутриполосной сигнализации *R1*, *R2*, № 5.

СТС *R1* имеет следующие характеристики:

- система используется в национальных телефонных сетях;
- сигналы сигнализации передаются с использованием частоты 2 600 Гц;
- в зависимости от вида передаваемого речевого сигнала СТС может быть аналоговой или цифровой.

В системе телефонной сигнализации *R2* сигналы сигнализации передаются вне полосы, используемой для передачи оперативных (речевых) каналов на частоте 3 825 Гц.

Международная система сигнализации № 5 получила широкое распространение в национальных и международной сетях. Для нее характерными являются:

- совместимость с СТС № 4, 6;
- использование для передачи сигналов сигнализации двух частот – 2 400 Гц и 2 600 Гц.

Рассмотренные системы внутриканальной сигнализации № 1–5 имеют следующие недостатки:

- приемники и генераторы тональных сигналов постоянно включены в разговорную цепь, образуют паразитные цепи и являются источником помех в соседнем канале;

– неэффективное использование телефонного канала $W_{исп}$, так как из общего времени использования канала $t_{исп}$ необходимо вычесть время на установление соединения между абонентами $t_{уст}$.

Эти недостатки исключаются при использовании общего канала сигнализации (ОКС), представляющего собой дискретный канал связи между двумя КЦ с управлением по записанной программе (УЗП). С применением этого канала по адресно-групповому принципу организуется передача функциональных сигналов (ЛС, СМ), относящихся к пучку или нескольким пучкам телефонных каналов (рис. 8.9).

Общая последовательность функционирования телефонной сети с ОКС выглядит следующим образом (рис. 8.10). Когда абонент А инициирует вызов (путем снятия телефонной трубки), исходящее терминальное устройство абонента посылает сообщение «Соединение» по D -каналу в оконечный узел коммутации (автоматическую телефонную станцию А).

При приеме запроса установления соединения от вызывающего абонента исходящая АТС А анализирует информацию о маршруте и формирует начальное адресное сообщение (НАС-1), которое содержит адресную информацию, а также информацию, относящуюся к установлению соединения (например, включен ли полукомплект эхоподавляющих устройств на исходящей стороне, какой тип исходящего сигнала: аналоговый или цифровой, есть ли в соединении спутниковый канал и пр.).

Анализ номера вызываемого абонента позволяет исходящей АТС А определить направление маршрута, тип вызова. Далее сообщение от АТС А посылается к транзитной АТС В, которая анализирует его информацию и определяет дальнейший маршрут. Транзитная АТС В пересылает начальное адресное сообщение, предварительно добавив к нему свои дополнительные данные (НАС-2), на входящую АТС С. В результате соответствующий разговорный тракт оказывается проключенным от АТС С к вызываемому абоненту как в прямом, так и в обратном направлении. Это позволяет вызывающей стороне слышать тональные



Рис. 8.9. Централизованная система сигнализации по общему каналу сигнализации

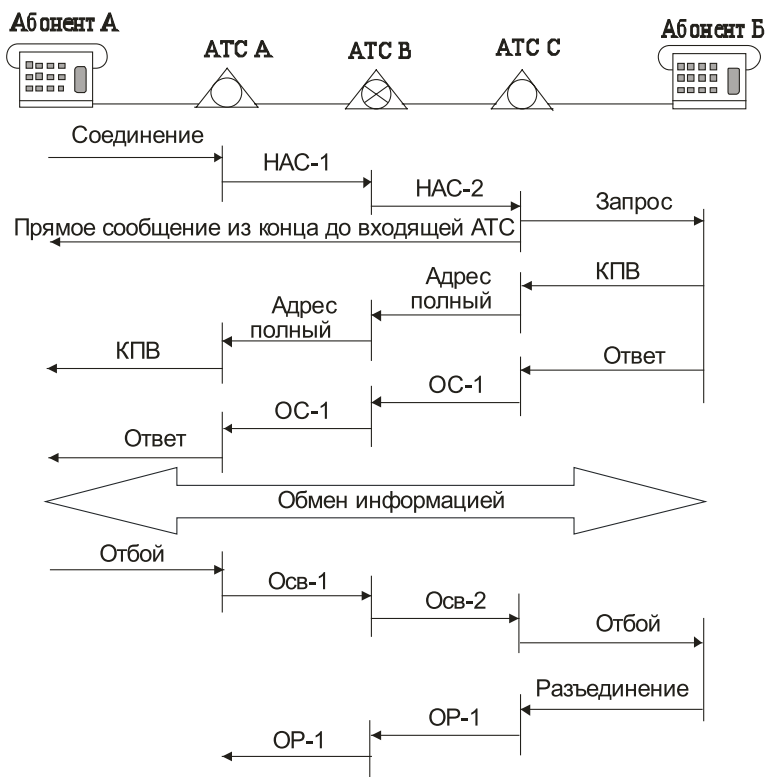


Рис. 8.10. Общая последовательность функционирования телефонной сети с ОКС

сигналы, посылаемые сетью, но еще недостаточно для качественного обмена информацией.

Далее АТС С посылает запрос на установление соединения абоненту Б. Абонентское устройство, получив сигнальное сообщение, анализирует его и посылает сообщение «контроль принимаемого вызова» (КПВ), по которому на всех задействованных на маршруте АТС осуществляется контроль полноты адресной информации. После этого терминальное устройство абонента Б передает в сторону абонента А сигнал готовности – «Ответ». По установленному соединению между абонентами осуществляется разговор. Разъединение абонентов осуществляется в определенной последовательности (см. рис. 8.10).

Основные преимущества общеканальной сигнализации:

- высокая скорость (в большинстве случаев время установления соединения не превышает одной секунды);

- высокая производительность (один канал сигнализации способен одновременно обслужить множество телефонных вызовов);
- экономичность (по сравнению с традиционными системами сигнализации сокращается объем оборудования на коммутационной станции);
- надежность (достигается за счет возможности альтернативной маршрутизации в сети сигнализации);
- гибкость (система передает не только сигналы телефонии, но и данные цифровых сетей с интеграцией обслуживания, сетей радиосвязи с подвижными объектами, интеллектуальных сетей и др.).

Примерами систем сигнализации по общему каналу сигнализации могут служить ОКС № 6 и 7.

Система сигнализации ОКС № 6 была утверждена в 1968 г. МККТТ и рекомендована к применению на международных участках телефонной сети. В процессе практического применения системы сигнализации ОКС № 6 были выявлены некоторые недостатки: система не рассчитана на работу по каналам с большим временем распространения сигнала, имеет плохую помехоустойчивость, ограниченный объем адресной части и недостаточную приспособляемость к нуждам национальных сетей. Вследствие этого на смену ОКС № 6 в 1980 г. МККТТ (МСЭ) была утверждена система сигнализации ОКС № 7, для которой характерны:

- пригодность для использования в сетях различного назначения (телефонной, телекса, передачи данных и др.);
- достаточная гибкость, возможность приспособления к потребностям национальных сетей;
- работоспособность по каналам связи со временем распространения сигнала до 1 с и коэффициентом ошибок до 10^{-4} .

Согласно рекомендациям Q.701, ОКС № 7 представляет собой семиуровневую иерархическую систему передачи сообщений (рис. 8.11):

- уровень 1 (звено передачи данных сигнализации), на котором определены физические и функциональные характеристики тракта передачи сообщений и средства доступа к ним;
- уровень 2 (канал передачи сигнализации), на котором осуществляются установление границ пакетов с помощью флагов (гл. 2), обнаружение и исправление ошибок, контроль порядка следования пакетов;
- уровень 3 (сеть сигнализации), на котором происходят обработка пакетов и управление сетью сигнализации (выбор направления передачи, обработка адресации сообщения);
- уровни 4–7, на которых находятся терминалы пользователей телефонных сетей, сетей ПД и др.

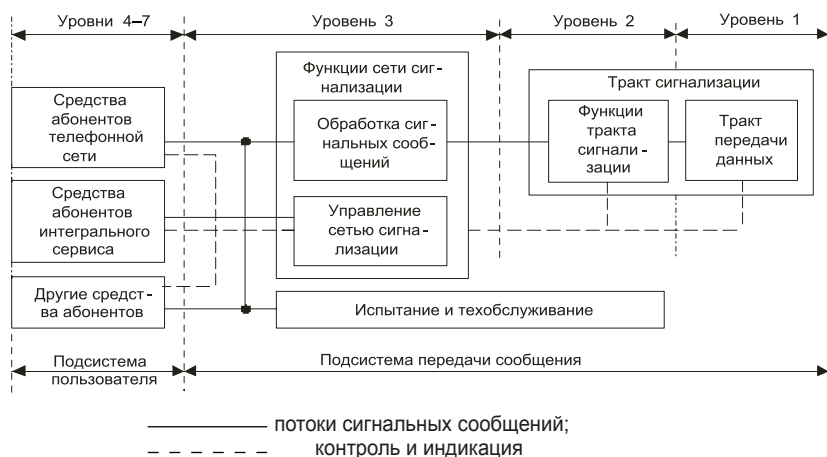


Рис. 8.11. Функциональная схема ОКС № 7

При сравнении эталонной модели ОКС № 7 и ЭМВОС (гл. 2) видно, что уровни ОКС № 7 не соответствуют точно делению ЭМВОС на уровни. Это связано с тем, что система ОКС № 7 появилась раньше, чем была создана базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем. Нижние уровни ОКС № 7 – звено передачи данных сигнализации и канал передачи сигнализации – полностью согласуются с физическим и канальным уровнями модели ВОС. Третий уровень ОКС № 7 (сеть сигнализации) не обеспечивает все функции сетевого уровня модели ВОС: функции маршрутизации выполняются неполностью. Все три нижних уровня ОКС № 7 вместе называются подсистемой передачи сообщений.

Функции уровней 4–7 в системе сигнализации ОКС № 7 не имеют четкого разделения и представляются двумя четырехуровневыми блоками. Блок «Средства абонентов интегрального сервиса» обслуживает абонентские системы при передаче разнообразных типов данных в сети *ISDN*. Блок «Средства абонентов телефонной сети» предназначен для телефонной сети. Взаимодействие между разными уровнями осуществляется в рамках одной системы. Используемые для этого сообщения называются примитивами. Верхние уровни (4–7) образуют подсистему пользователя, которая определяет функции и процедуры сигнализации, характерные для определенного типа пользователя системы. В связи с этим различают подсистемы: пользователя телефонии (*TUP – Telephone User Part*), пользователя сети с интеграцией служб (*ISUP – Integrated Service User Part*), управления соединением сигнализации

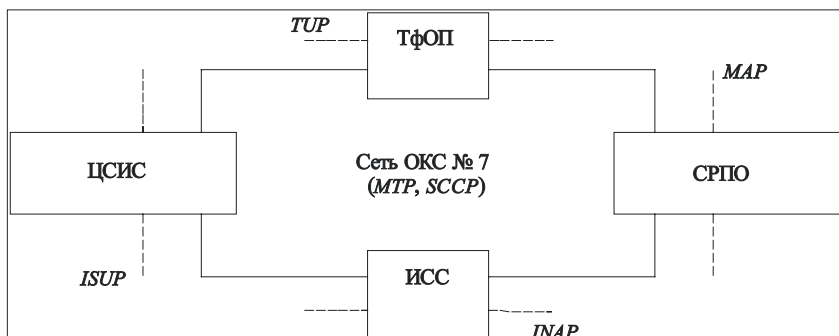


Рис. 8.12. Взаимодействие цифровых сетей по протоколам ОКС № 7

(SCCP – *Signalling Connection Control Point*), пользователя сети радиосвязи с подвижными объектами (MAP – *Mobile Application Part*), передачи сообщений (MTP – *Message Transfer Part*) и прикладную подсистему пользователя интеллектуальной сети (INAP – *Intelligent Network Application Part*) (рис. 8.12).

В настоящее время ОКС № 7 является обязательным элементом следующих сетей связи: телефонной общего пользования, цифровой с интеграцией обслуживания, сети радиосвязи с подвижными объектами (СРПО), интеллектуальной (ИС).

Взаимодействие данных сетей также осуществляется посредством ОКС № 7 с использованием специализированных протоколов TUP, ISUP, MAP, INAP.

Одним из методов синтеза сети сигнализации ОКС № 7 является метод, основанный на анализе создаваемой в каналах сигнализации сигнальной нагрузки на звено, которая отличается следующими параметрами:

- списком услуг подсистемы пользователя;
- процедурами сигнализации для соответствующих услуг подсистемы пользователя;
- параметрами сигнальных сообщений (тип, длина, задержка в звеньях сигнализации).

Все элементы модели сигнального трафика устанавливаются строго на основании национальных технических спецификаций ОКС № 7.

В руководящем техническом материале по расчету сети ОКС нагрузка на звено ОКС от подсистемы ISUP определяется формулой

$$Y = \frac{N_{ув} \cdot M_{ув} \cdot L_{ув} \cdot N_{нуб} \cdot M_{нуб} \cdot L_{нуб}}{8\,000}, \text{ Эрл}, \quad (8.1)$$

где N_{yb} – число удачных вызовов в секунду, приходящихся на пучок каналов емкостью C :

$$N_{yb} = \frac{C \cdot A \cdot X_{yb}}{T_{yb}}; \quad (8.2)$$

T_{yb} – среднее время занятия канала для удачных вызовов, с; N_{nyb} – число неудачных вызовов в секунду, приходящихся на пучок каналов емкостью C :

$$N_{nyb} = \frac{C \cdot A \cdot (1 - X_{yb})}{T_{nyb}}, \quad (8.3)$$

где C – число каналов, обслуживаемых конкретным звеном сигнализации; A – средняя нагрузка на разговорный канал, Эрл; X_{yb} – число от 0 до 1, являющееся отношением количества удачных вызовов к общему количеству вызовов; T_{nyb} – среднее время занятия канала для неудачных вызовов, с; M_{yb} – среднее число сигнальных единиц, которыми обмениваются ПС для обслуживания удачных вызовов; L_{yb} – средняя длина сигнальных единиц для удачных вызовов, байт; M_{nyb} – среднее число сигнальных единиц, которыми обмениваются ПС для обслуживания неудачных вызовов; L_{nyb} – средняя длина сигнальных единиц для неудачных вызовов, байт.

Эффективным считается вызов, закончившийся разговором (получение сигнала «Ответ»), неэффективным – вызов, не закончившийся разговором по одной из причин:

- из-за неудачи вызывающей стороны (занято, не отвечает, состояние «отключено»);
- по причине перебоев в работе станции (блокировка в коммутаторе, недостаток ресурсов);
- из-за особенностей сети связи (недостаток исходящих каналов, прием сообщения о перегрузке) и др.

Для учета перегрузок при расчете сети ОКС № 7 рекомендуется использовать величину максимальной сигнальной нагрузки:

$$Y_{\max} = \alpha \cdot Y, \quad (8.4)$$

где α принимает значения от 1 до 2.

Значение нагрузки на звено сигнализации в нормальных условиях не должно превышать 0,2 Эрл. Если нагрузка звена сигнализации превышает 0,2 Эрл, то необходимо организовать параллельные звенья сигнализации. В этом случае количество звеньев сигнализации N_{zc} в пучке определяется исходя из максимальной

сигнальной нагрузки $Y_{\max}$ и нормируемой нагрузки звена сигнализации 0,2 Эрл:

$$N_{\text{зс}} = \frac{Y_{\max}}{0,2}. \quad (8.5)$$

На основе полученных результатов синтезируется сеть сигнализации, которая является неотъемлемой частью сети связи.

В цифровых телекоммуникационных сетях применяют системы сигнализации с определенными характеристиками (табл. 8.5).

Таблица 8. 5

Международные системы с общеканальной сигнализацией

Тип СТС	Характеристика	Применение	Год стандартизации
ОКС № 6	Скорость передачи информации: 56 кбит/с (цифровая), 4 кбит/с (аналоговая). Метод исправления ошибок: ретрансляция кадра (единицы), фиксированная длина кадра, общее количество сигнальных групп около 40 типов	Международные сети между Кореей и Японией, США, Тайванем, Австралией, Англией	1968
ОКС № 7	Скорость передачи информации: 64 кбит/с (цифровая), 4,8 кбит/с (аналоговая). Метод исправления ошибок: основной (задержка в одном направлении менее 15 мс), система PCR (задержка в одном направлении более 15 мс), возможная длина кадра 2–62 октет	Цифровые сети коммутации	1980



8.4. Современные технологии управления сетями связи

Под управлением сетью понимается целенаправленная деятельность должностных лиц по планированию, развертыванию и эксплуатации сети, обеспечивающая эффективное использование ресурсов сил и средств сети для требуемого качества услуг.

На всем историческом отрезке развития информационных телекоммуникационных сетей поддержание высокой эффективности их функционирования достигалось за счет использования систем управления ресурсом пропускной способности сетей связи, плана распределения нагрузки, а также структуры, параметров и режимов их работы. В настоящее время на рынке технологий управления сетями связи конкурируют простой протокол управления сетью (*SNMP – Simple Network Management Protocol*), сеть управления связью (*TMN*) и общая архитек-

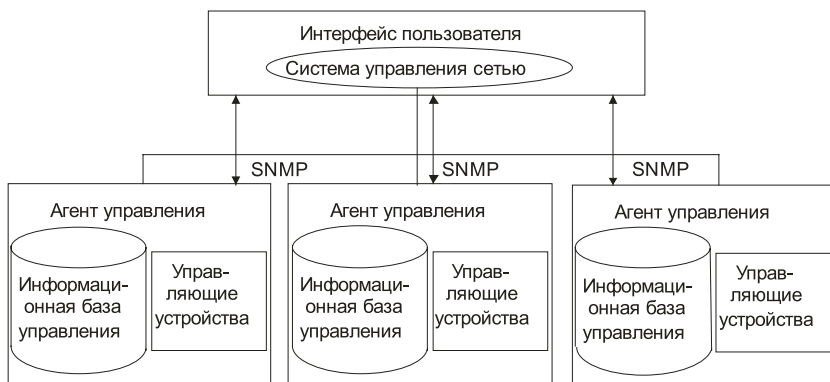


Рис. 8.13. Система управления сетью, реализуемая с помощью простого протокола управления связью *SNMP*

тура брокера объектных запросов *CORBA*. Рассмотрим сущность предлагаемых технологий.

Простой протокол управления (*SNMP*)

Последние годы ознаменовались стремительным развитием и ростом популярности сети *Internet*, что потребовало исследования вопросов, касающихся управления в нем.

Вариант применения основного протокола управления в *Internet* – простого протокола сетевого управления *SNMP* [1] – представлен на рис. 8.13.

Протокол *SNMP* разрабатывался для управления относительно простыми сетями на базе протоколов *Internet*, поэтому его характерное свойство – простота. В *Internet* служебная информация передается по той же сети, которая является объектом управления. В *SNMP* используются упрощенные базы данных. Они не поддерживают иерархии наследования и вложений, а используют только понятия классов и экземпляров. Протокол *SNMP* основан на процедуре периодического опроса, поэтому изменение трафика данных управления предсказуемо.

Технология *TMN*

Концепция *TMN* [1, 2, 3] впервые была предложена на совещании инженерной группы *TMN EG* в Торонто в 1988 г. Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (*CCITT*) опубликовал Рекомендации *M.3010* «Принципы *TMN*».

TMN представляет собой отдельную сеть, которая имеет интерфейсы с одной или большим числом сетей связи в нескольких точках,

обменивается с этими сетями информацией и управляет их функционированием (рис. 8.14).

Отделение *TMN* от сетей связи реализуется на физическом или логическом уровне. В последнем случае эта технология частично может использовать инфраструктуру управляемой сети. В ее рамках выделяют функциональную, физическую (рис. 8.15) и информационную архитектуры.

Информационная архитектура *TMN* опирается на принципы управления модели взаимосвязи открытых систем *OSI* (*Open Systems Interconnection*), стандартизованной Международной организацией стандартизации (*International Standards Organization, ISO*). Алгоритмы передачи управляющей информации между функциональными блоками *TMN*, так же как и модель *OSI*, имеют два важнейших элемента – объектную ориентацию и архитектуру «менеджер–агент» (рис. 8.16).

Помимо рассмотренной классификации (функциональная, физическая и информационная архитектура) концепция *TMN* предлагает и другой принцип распределения функциональных компонентов и процедур, относящихся к управлению сетями связи. Тот факт, что одни и те же административные функции могут быть реализованы на разных уровнях абстракции, позволяет определить логическую иерархическую архитектуру (*Logical Layered Architecture, LLA*), которая в каком-то смысле ортогональна структурированному «административному зданию», рассмотренному в предыдущих разделах. Фактически архитектура *LLA* (называемая иногда *TMN*-пирамидой) отражает иерархию ответственности за выполнение административных задач.

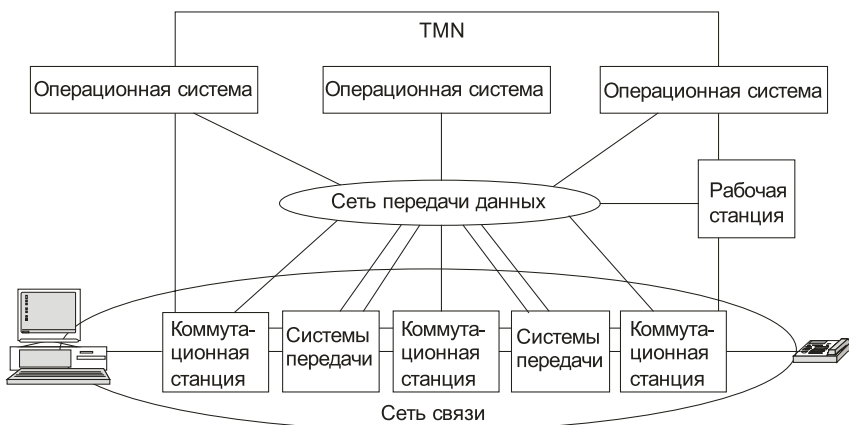


Рис. 8.14. Место *TMN* в системе связи

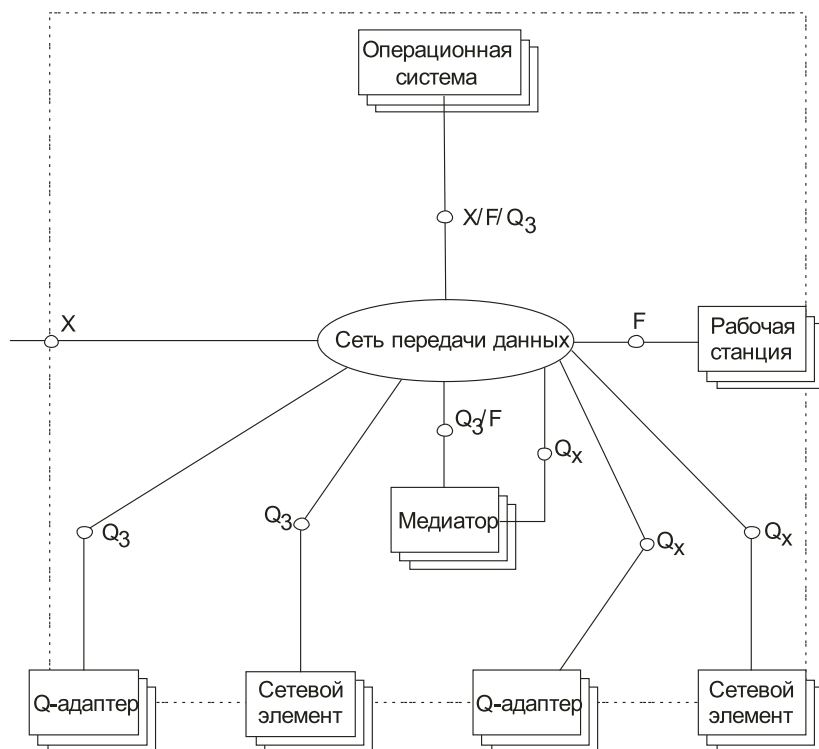


Рис. 8.15. Простейший вариант физической архитектуры TMN

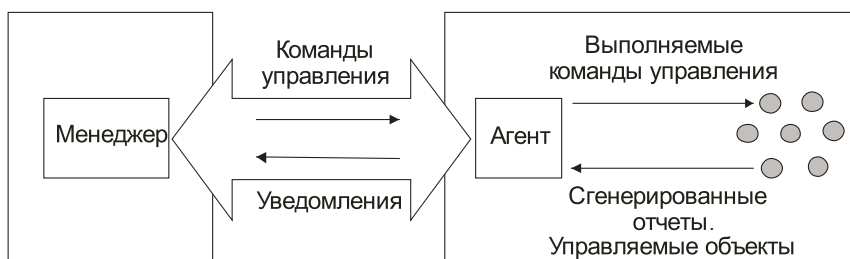


Рис. 8.16. Архитектура «менеджер–агент»

Следует отметить, что архитектурой LLA предусмотрены пять уровней управления.

Уровень сетевых элементов (*Network Element Layer, NEL*) играет роль интерфейса между патентованной базой данных со служебной

информацией (*MIB*), находящейся на отдельном устройстве, и инфраструктурой *TMN*. К нему относятся *Q*-адаптеры и собственно сетевые элементы.

Уровень управления элементами (*Element Management Layer, EML*) соответствует системам поддержки операций, контролирующим работу групп сетевых элементов. На этом уровне реализуются управляющие функции, которые специфичны для оборудования конкретного производителя. Примерами таких функций могут служить выявление аппаратных ошибок, контроль энергопотребления и рабочей температуры, сбор статистических данных, измерение степени использования вычислительных ресурсов, обновление микропрограммных средств. Данный уровень включает в себя посреднические устройства (хотя физически они могут принадлежать и более высоким уровням), взаимодействующие с *OS* через интерфейс Q_3 .

Уровень управления сетью (*Network Management Layer, NML*) дает представление о сети в целом, базируясь на данных об отдельных сетевых элементах, которые передаются системами поддержки операций предыдущего уровня через интерфейс Q_3 и не привязаны к особенностям продукции той или иной фирмы. Другими словами, на этом уровне осуществляется контроль процессов взаимодействия сетевых элементов: формируются маршруты передачи данных между окончательным оборудованием для достижения требуемого качества сервиса (*QoS*), вносятся изменения в таблицы маршрутизации, отслеживается степень использования пропускной способности отдельных каналов, оптимизируется производительность сети и выявляются сбои в ее работе.

Уровень управления услугами (*Service Management Layer, SML*) охватывает те аспекты функционирования сети, с которыми непосредственно сталкиваются пользователи (абоненты или другие сервисные провайдеры). В соответствии с общими принципами *LLA* на этом уровне используются сведения, поступившие с уровня *NML*, но непосредственное управление маршрутизаторами, коммутаторами, соединениями здесь уже невозможно. К функциям, относящимся к управлению услугами, можно причислить такие, как контроль за *QoS* и выполнением условий контрактов на обслуживание (*SLA*), управление регистрационными записями и подписчиками услуг, добавление или удаление пользователей, присвоение адресов, биллинг, взаимодействие с управляющими системами других провайдеров и организаций (через *X*-интерфейс).

На уровне бизнес-управления (*Business Management Layer, BML*) рассматривается сеть связи с позиций общих бизнес-целей компании-оператора. Этот уровень относится к стратегическому и тактическому управлению, а не к оперативному, как остальные уровни *LLA*. Здесь

речь идет о проектировании сети и планировании ее развития с учетом бизнес-задач, о составлении бюджетов, об организации внешних контактов и пр.

Таким образом, уровни *LLA* задают функциональную иерархию процедур управления сетью без физической сегментации административного программного обеспечения. Причиной появления этой иерархии является необходимость логического отделения функций управления отдельными сетевыми элементами от функций, относящихся к их группам и сетевым соединениям.

Технология CORBA

Постоянно изменяющийся мир телекоммуникаций предъявляет следующие ключевые требования к системам управления: обеспечение совместимости существующих и появляющихся новых продуктов, систем различных производителей; управление географически распределенными ресурсами; возможность модернизации самих систем управления. Этим требованиям удовлетворяет одна из перспективных технологий – общая архитектура объектных запросов брокера *CORBA* (*Common Object Request Broker Architecture*) [5].

Данная архитектура была представлена в 1991 г. группой объектного управления (*Object Management Group, OMG*), объединившей ведущие компании-производители компьютерных систем и интеграторов. В 1992 г. уже появился первый коммерческий продукт. *CORBA* – это клиент-серверная технология, которая выполняет функции промежуточного программного обеспечения объектной среды. Взаимодействие между клиентским процессом и сервером объекта происходит с использованием механизма объектного вызова удаленной процедуры (*ORPC, Object Remote Procedure Call*).

На стороне клиента и на стороне сервера функционируют интерпретаторы, носящие название клиентский и серверный суррогаты. Для вызова той или иной функции клиент обращается к клиентскому суррогату, который преобразовывает и упаковывает параметры в сообщение-запрос и передает их на транспортный уровень соединения. Сообщение от сервера в соответствии с переданными аргументами вызывает нужный метод описания объекта.

CORBA реализует три основных принципа независимости:

- от физического размещения объекта,
- от платформы,
- от языка программирования.

Разработка продуктов, базирующихся на *CORBA*, быстрее и дешевле, чем разработка тех же продуктов другими методами.

Рассмотрим главные компоненты стандарта *CORBA*.

Брокер запросов данных на объект *ORB (Object Request Broker)* определяет механизмы взаимодействия объектов в разнородной сети. Он действует как шина, через которую обеспечивается прозрачное взаимодействие удаленных объектов. *ORB* отвечает за выбор метода исследования удаленного объекта, поиск путей реализации описательной части объекта, а также за обработку данных в соответствии с запросом и доставку результатов клиенту.

Язык определения интерфейсов *IDL (Interface Definition Language)* описывает интерфейсы между объектами.

Объектные службы (*CORBA Object Services*) выполняют основные функции управления распределенными объектами. В *CORBA* определено 15 объектных служб. Самые распространенные из них – службы сортировки, управления жизненным циклом и управления событиями, которые были приняты *OMG* первыми. Более поздние, например службы транзакций, имеют пока ограниченный спектр реализации.

Универсальные средства (*CORBA Common Facilities*), обеспечивающие поддержку интерфейсов прикладного уровня, делятся на горизонтальные и вертикальные. Горизонтальные определяют интерфейсы, не зависящие от области поиска, вертикальные служат для информационной поддержки принятия решений в конкретных областях рынка: финансовой деятельности, медицине, промышленном производстве и т. д.

Прикладные объекты (*CORBA Application Objects*) предназначены для решения конкретных прикладных задач.

Для взаимодействия друг с другом *ORB* разных производителей был разработан протокол *GIOP (General Inter ORB Protocol)*. В последнее время все большее внимание уделяется протоколу *IIOIP (Internet Inter ORB Protocol)*, который определяет обмен сообщениями в формате *GIOP* через сеть *TCP/IP*.

Технология *CORBA* является более подходящей для распределенных процессов вычисления и управления, чем *CMIP* в *TMN*.

Сравнительный анализ основных характеристик рассмотренных подсистем управления и степени их удовлетворения требованиям информационно-телекоммуникационных систем позволяет сделать следующие выводы:

1. Наиболее дешевой и простой в техническом плане является технология *SNMP* с использованием принципа построения систем управления сетью, аналогичного принципу менеджера-агента. *SNMP* для организации каналов телеуправления и телесигнализации применяет ресурс пропускной способности телекоммуникационной сети и основан на процедуре периодического опроса состояния сетевых элементов,

поэтому изменение трафика данных управления в системе управления сетью предсказуемо. Однако это ведет к тому, что агент в аварийной ситуации использует «прерывание», которое свидетельствует только о факте неисправности, а менеджер вынужден дополнительно посылать запросы для выяснения подробностей события.

В *SNMP* используются упрощенные базы данных. Они не поддерживают иерархии наследования и вложений, а используют только понятия классов и экземпляров. Несмотря на указанные недостатки, *SNMP* получает все большее распространение в силу роста популярности протоколов *Internet*, простоты и дешевизны.

2. Технология *TMN* определяет выделенную систему управления сетью, обладающую сложной архитектурой, интеллектуальными алгоритмами сбора, обработки и управления, а следовательно, дорогостоящими аппаратно-программными средствами.

3. Используемый в *TMN* протокол управления *CMIP* обеспечивает возможность построения мощных в функциональном отношении и легко управляемых агентов. Агент *CMIP* способен по одной простой команде от менеджера выполнить определенный набор действий, для реализации которых агенту *SNMP* нужно было бы выдать сложную последовательность команд.

4. В *CMIP* одной командой возможно воздействовать на некоторое число объектов, в *SNMP*, напротив, предполагается, что к каждому объекту должны отдельно передаваться команды.

Аварийный надзор в *CMIP* обеспечивается услугой «отчет о событиях», посредством которой агент сообщает менеджеру о происходящих с управляемыми объектами событиях. Многие управляемые объекты отправляют свои сообщения спонтанно, поэтому трафик данных управления непредсказуем, а система управления усложняется, поскольку ее приходится разрабатывать, опираясь на самый худший случай. Реализация агентов в *CMIP* гораздо сложнее по затратам ресурсов и памяти.

5. Быстро развивающаяся в последнее время технология *CORBA* вобрала в себя все передовые идеи построения сетей управления, однако остается пока недостаточно развитой в аппаратном, алгоритмическом и программном отношениях.

6. Рассмотренные современные технологии управления связью наряду с выполнением большинства требований со стороны системы связи не удовлетворяют главное из них: устойчивость реализуемого ими процесса управления, а также аппаратно-программных средств системы управления сетью в условиях всех видов воздействия на систему связи.



8.5. Концепция построения интеллектуальной сети

Интеллектуальная сеть определяется как сетевая структура, состоящая из базовой сети и интеллектуальной надстройки, взаимодействующих друг с другом в соответствии с установленными протоколами и интерфейсами и создаваемых с целью предоставления абонентам расширенного набора услуг [6].

Как известно, современные сети электросвязи (в частности ЕСЭ России) кроме первичной сети, по которой осуществляется физическая передача сигналов, содержат вторичные. В рамках каждой вторичной сети возникает задача по предоставлению абонентам помимо основных дополнительных информационных услуг и возможностей, отвечающих личным потребностям каждого абонента. В этом контексте ИС рассматривается не как отдельная вторичная сеть, а как концептуальная основа для быстрого, гибкого и эффективного внедрения дополнительных сетевых услуг на базе существующих вторичных сетей электросвязи, поддерживающих основные информационные службы.

Номенклатура услуг ИС и их компонентов имеет открытый характер. Она постоянно расширяется и дополняется все новыми и новыми возможностями, поскольку зависит от фантазии разработчиков и требований абонентов.

Виды информационного сервиса, обеспечиваемые интеллектуальной сетью, делятся на две группы:

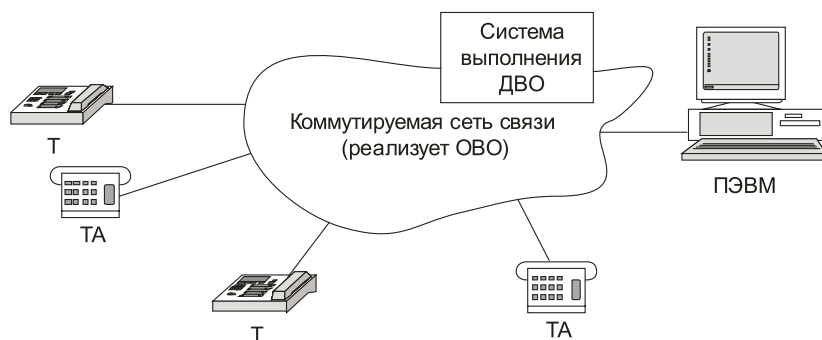


Рис. 8.17. Принцип отделения процессов выполнения дополнительных и основных видов обслуживания:

ДВО – дополнительные виды обслуживания;
ОВО – основные виды обслуживания; Т – терминал;
ТА – телефонный аппарат

- основные (услуг, обслуживания), связанные непосредственно с установлением соединений при коммутации каналов или виртуальных соединений при коммутации пакетов, с передачей пакетов по сети, с учетом междугородных переговоров и т. д.;

- дополнительные (дополнительные виды обслуживания – ДВО), например оплата разговора вызываемым абонентом, передача вызова на другой телефон, конференц-связь и др.

Характерной особенностью основных видов сервиса является то, что они обычно остаются неизменными в течение длительного времени и используются при каждом вызове.

ДВО применяются только при соответствующей заявке абонента и могут быть различными для разных групп абонентов. В связи с этим основой функционирования ИС являются отделение функций управления основными видами обслуживания от функций управления дополнительными видами обслуживания и их централизация (рис. 8.17).

Для решения этой задачи предусматривается введение в ИС следующих функциональных элементов [4]:

- точки коммутации сервиса (ТКС) – модуля, который распознает вызов, требующий выполнения ДВО;

- интерпретатора вида сервиса (ИВС) – модуля, который содержит логические средства и данные, необходимые для обслуживания заявки на тот или иной вид сервиса;

- сетевой информационной базы данных (СИБД), в которой хранятся данные о номерах и адресах абонентов, параметры маршрутов установления соединений, сервисные логические программы (СЛП) оказания различных видов услуг;

- устройства управления сетевыми ресурсами (УСР).

Функциональные элементы ИС должны быть размещены в физической среде, которая определяется типом коммутируемой сети связи. Поскольку главной особенностью технологии ИС является принцип отделения процессов выполнения ДВО от процессов выполнения основных видов обслуживания, т. е. система выполнения ДВО не зависит от типа коммутируемой сети связи, технология ИС может быть реализована на базе любой коммутируемой сети общего пользования, ведомственной связи, информационной сети, сети передачи документальной информации. Однако, принимая во внимание мировой опыт и учитывая, что в России телефонная сеть общего пользования является самой разветвленной и мощной сетью, приносящей ежегодно большую часть всех доходов от услуг электросвязи, практическую реализацию концепция ИС России получила на базе этой сети.

Архитектура ИС представляет собой комбинацию базовой сети телефонной связи общего пользования и интеллектуальной надстройки (рис. 8.18).

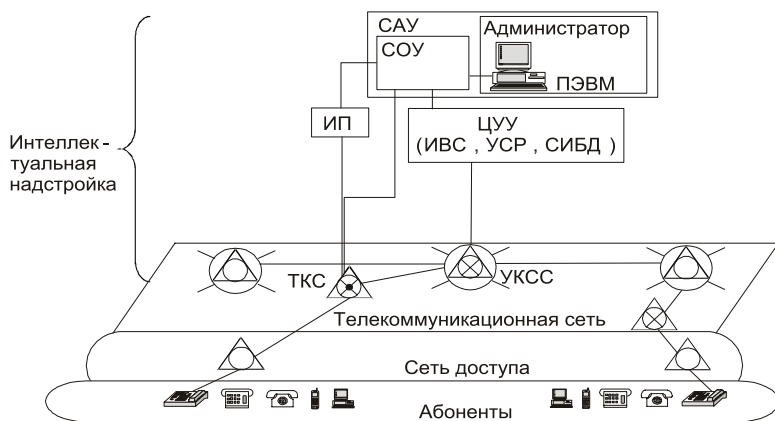


Рис. 8.18. Архитектура интеллектуальной сети

Надстройка ИС включает в себя:

- коммутационную систему (КС), состоящую из оконечного или оконечно-транзитного узла коммутации, где размещается ТКС;
- центр управления услугами (ЦУУ), имеющий в своем составе ИВС, СИБД и УСП. Система ЦУУ содержит выполняемую на ЭВМ совокупность протоколов, обеспечивающих взаимодействие сети сигнализации, логических средств и базы данных при формировании сервисных логических программ (СЛП) из имеющихся функциональных компонентов (ФК) с последующей передачей ее по сети сигнализации в КС. ЦУУ является одним из основных элементов ИС, обеспечивающих централизованное управление видами сервиса;
- интеллектуальную периферию (ИП), содержащую синтезаторы и распознаватели речи;
- систему оперативного управления (СОУ), являющуюся частью системы административного управления (САУ).

Система оперативного управления при участии оператора обеспечивает формирование новых ФК, составление и модификацию СЛП, введение новых и исключение имеющихся видов сервиса по запросам абонентов, а также сбор статистики о частоте выполнения видов услуг и повреждениях на ИС, техническое обслуживание ИС. В САУ располагаются вычислительные ресурсы, необходимые терминалы, база данных и экспертная система, позволяющая, в частности, облегчить и ускорить процесс формирования СЛП.

Центр управления услугами связан с коммутационной станцией (КС), имеющей ТКС, через сеть сигнализации, содержащую узлы коммутации сети сигнализации (УКСС) (см. рис. 8.18). В КС могут вклю-

чаться различные терминальные устройства, в том числе телефонные аппараты и персональные ЭВМ. Абоненты узла коммутации, в котором отсутствует ТКС, могут получать необходимое обслуживание от опорного узла коммутации с ТКС, к которому подключен данный УК.

Процесс выполнения сервиса в ИС осуществляется в соответствии с временной диаграммой (рис. 8.19).

ТКС в узле коммутации распознает потребность в ДВО (1) и посылает через сеть сигнализации в ЦУУ запрос о необходимости выполнения ДВО. ИВС в ЦУС определяет вид ДВО. Из СИБД считывается необходимая для выполнения ДВО информация: СЛП и сопровождающие данные. Время дешифровки вида обслуживания (2), считывания (3) и выполнения соответствующей СЛП (4) составляет задержку процесса обслуживания заявки абонента (5).

Для концепции ИС характерен ряд особенностей. Основной из них является отделение функций предоставления услуг от функций коммутации. Если в УК эти функции были непосредственно связаны и реализовывались в одном физическом объекте, то в ИС они распределены по различным сетевым элементам: функции коммутации остаются в базовой сети, а предоставление услуг осуществляется через специальный прикладной программируемый интерфейс (ППИ). Непосредственное управление услугами и взаимодействие с базовой коммутируемой сетью происходят через интерфейс управления ресурсами (ИУР) (рис. 8.20).

Прикладной программируемый интерфейс скрывает от разработчиков программного обеспечения услуг аспекты распределенности функций управления услугами, которые выполняются в базе данных реального времени, и позволяет использовать (в виде стандартных процедур) повторяющиеся в различных услугах отдельные функциональные модули.

Что касается ИУР, то, имея стандартизированные протоколы обмена информацией между функциями управления услугами и коммутации при внедрении в сети связи новых функциональных возможностей ИС, операторы сети освобождаются от жесткой привязки к типу коммутацион-

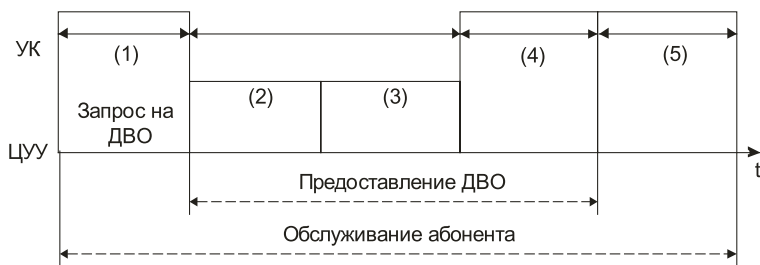


Рис. 8.19. Временная диаграмма выполнения ДВО

При централизованном принципе управления передача СЛП из ЦУС в УК осуществляется в покомандном режиме. При децентрализованном управлении СЛП пересылается в буфер УК и управление осуществляется управляющей ЭВМ УК. Решение задачи по выбору принципа управления зависит от типа коммутируемой сети связи, так как скорость передачи по линиям связи значительно влияет на время предоставления ДВО. Если ИС реализуется на базе ЦСИС с высокими скоростями передачи по линиям связи, особенно при Ш-ЦСИС, то централизованное управление способно обеспечить требуемое быстродействие в предоставлении сервиса, т. е. такой принцип построения СИБД и управления выполнением ДВО оправдан. Если основой СПД являются аналоговые каналы, то целесообразно использовать децентрализованный принцип управления ДВО. Для существующих сетей (во многих случаях) скорости передачи по каналам связи значительно ниже 64 кбит/с, поэтому время задержки в предоставлении ДВО, связанное с пересылкой СЛП в УК, заметно увеличивается, т. е. покомандное управление из ЦУС при низкой скорости передачи на существующей сети с аналоговыми телефонными каналами может оказаться менее эффективным.

Децентрализованная организация СИБД. Наряду с основной базой данных (ОБД) в ЦУС имеется сателлитная база данных (СаБД) в узле коммутации. В этом случае наиболее часто используемые программы ДВО дублируются из основной БД, находящейся в центре управления услугами, в сателлитную БД узла коммутации (см. рис. 8.20).

Поскольку частота использования ДВО меняется, целесообразно предусмотреть динамический механизм смены содержимого сателлитной БД при изменении набора используемых СЛП. При децентрализованной организации СИБД должен быть выбран размер сателлитной БД и алгоритм замещения в ней СЛП. Следует отметить, что в общем

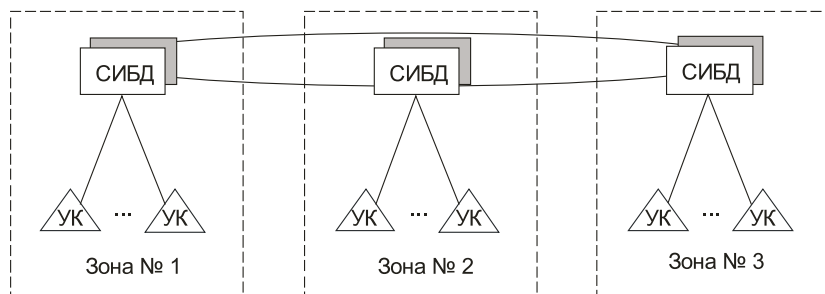


Рис. 8.21. Распределенная организация СИБД

случае количество уровней децентрализованной СИБД сервисных логических программ может быть больше двух.

Распределенная организация СИБД. База данных распределена по УК. При наличии в сети нескольких зон со своими ЦУУ возникает задача по минимизации числа пересылок СЛП между ЦУУ различных зон (рис. 8.21).

Таким образом, варианты структур сетевого информационного комплекса баз данных в интеллектуальной сети многообразны, и выбор того или иного зависит от особенностей требований обслуживаемых абонентов и возможностей данной сети.

Реализация интеллектуальной сети на базе существующей телефонной сети общего пользования РФ

Наиболее эффективным способом концепция ИС может быть реализована на базе цифровой телефонной сети. Однако в настоящее время на местных городских и сельских телефонных сетях число АТС с управлением по записанной программе не превышает 2 % и 0,15 % соответственно. При реализации услуг ИС на телефонной сети общего пользования Российской Федерации необходимо учитывать недостаточную степень цифровизации, отсутствие сигнализации SS № 7 и многообразие способов построения местных сетей. Кроме того, отсутствие в отечественной практике опыта предоставления и использования дополнительных услуг приводит к необходимости разработки технических решений, которые позволят поэтапно создавать ИС с учетом особенностей существующей Взаимоувязанной сети связи России. Вследствие этого вполне разумным на данном этапе представляется объединение двух процессов: цифровизации ТфОП и создания в отдельных регионах страны цифровых «интеллектуальных островов». В дальнейшем предполагается объединение таких «островов» в национальную ИС России.

Исследования и разработки в данном направлении проводились ЦНИИС и МТУСИ с начала 1994 г. Одним из результатов явилось создание опытной зоны ИС в Московской области. В основу ее проектирования положены решения, разработанные для реализации ИС на зоновом уровне и позволяющие обеспечивать унифицированный доступ к услугам независимо от местонахождения пользователя. Для доступа к ресурсам ИС используется один из незадействованных междугородных кодов, служащий индексом выхода на услуги ИС.

Чтобы на практике показать возможность реализации услуг ИС на базе существующей ТфОП с учетом всех ее особенностей и ограничений, в качестве базового коммутационного оборудования была выбрана аналоговая телефонная станция типа АМТС-3, которая в течение долгого времени преобладала на междугородной сети. Такой стан-

цией является Павлово-Посадская телефонно-телеграфная станция, обслуживающая практически третья часть всей Московской области (рис. 8.22).

В опытной зоне реализованы две услуги ИС: универсальный (УН) и персональный (ПН) номер.

Услуга УН позволяет изменять маршруты вызовов, поступающих по единому логическому номеру абонента, на несколько физических сетевых номеров в зависимости от ряда параметров (атрибутов услуги), которые определяются самим абонентом (время суток, день недели, местоположение пользователя).

На основе УН можно реализовать и другие услуги за дополнительную плату, например носящие информационно-справочный или развлекательный характер [1].

Услуга ПН позволяет абоненту в пределах всей территории России получать входящие вызовы по одному логическому номеру и по существу является аналогом услуг подвижной связи (пейджинговая связь), реализованных в фиксированной сети.

Ядром оборудования, реализующего указанные функции, является аппаратно-программный комплекс управления услугами ИС (АПКУ-ИС), специально разработанный для предоставления дополнительных сетевых услуг на базе существующего аналогового и цифрового коммутационного оборудования (рис. 8.23).

По своим функциональным возможностям он является аналогом узла оперативного управления с функциями эксплуатационной

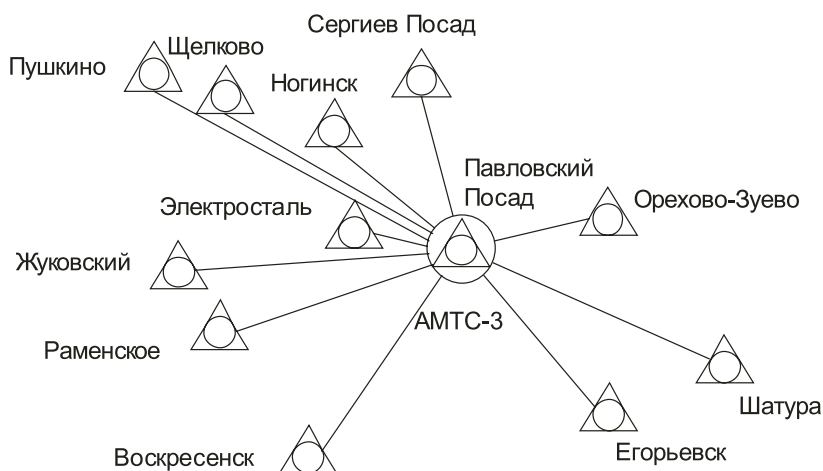


Рис. 8.22. Структура опытной зоны ИС

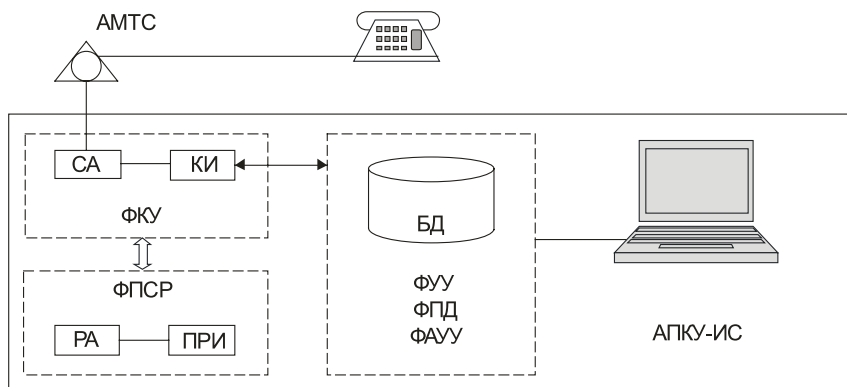


Рис. 8.23. Функциональная схема оборудования АПКУ-ИС в опытной зоне
 АМТС – автоматическая междугородная телефонная станция; СА – сетевой адаптер;
 ФКУ – функция коммутации услуг; РА – речевой автоинформатор;
 ПРИ – приемопередатчик речевой информации; БД – база данных;
 ФУУ – функция управления услугами; ФПД – функция поддержки данных;
 ФАУУ – функция административного управления услугами;
 КИ – контроллер интерфейса; ФПСП – функция поддержки специализированных услуг

поддержки. Оборудование АПКУ-ИС позволяет реализовать все основные процессы технической эксплуатации и управления услугами:

- непосредственное управление обработкой вызовов ИС;
- административное управление (регистрация абонентов ИС, назначение атрибутов услуг индивидуально для каждого абонента, тарификация и начисление оплаты, сбор и обработка статистической информации и др.);
- функции и средства технической поддержки (контроль текущего состояния оборудования, управление резервированием данных, средства тестирования, отладки и др.).

В состав АПКУ-ИС входят:

- контроллер интерфейса (КИ) с набором сетевых и системных адаптеров (рис. 8.23);
- речевой автоинформатор (РА), который до момента установления соединения с абонентом ИС обеспечивает предоставление пользователю услуги предварительно записанной аудиоинформации;
- приемопередатчик речевой информации (ПРИ), обеспечивающий прием от пользователя дополнительной номерной информации. Он допускает реализацию ряда дополнительных функций, облегчающих пользование услугами ИС, например режима речевого меню;
- специальное программное обеспечение и база данных, рабочее место оператора (ПЭВМ). В комплект КИ входят адаптеры сопряжения

с АМТС-3 и стыка RS-232 для обмена информацией с рабочим местом оператора (рис 8.24).

Адаптер – устройство или программа, предназначенная для согласования параметров входных и выходных сигналов в целях сопряжения объектов.

Один КИ может одновременно обслуживать до 16 вызовов. Для увеличения пропускной способности в состав АПКУ может быть включено несколько КИ, объединенных с помощью адаптера *Ethernet* в локальную сеть.

В настоящее время разрабатываются сетевые адаптеры для сопряжения АПКУ-ИС с цифровыми АМТС любых типов, а также для взаимодействия КИ с оборудованием узлов управления услугами по протоколу X.25 или ОКС № 7.

Управление и эксплуатационная поддержка процесса предоставления услуг осуществляются с помощью разработанной системы специального программного обеспечения (СПО).

Управление процессом обработки вызовов происходит в режиме реального времени. Одновременно оператор может выполнять действия по административному управлению и технической эксплуатации, например корректировать записи базы данных или изменять конфигурацию системы.

Специальное программное обеспечение может функционировать под управлением операционной системы *MS-DOS* или *OS/2*. Для поддержки режима реального времени при работе под управлением *MS-DOS* в системе СПО реализована специальная система управления (рис. 8.25).

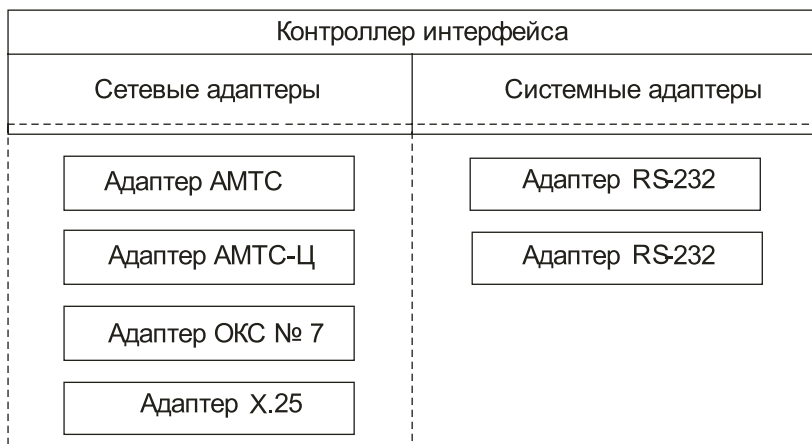


Рис. 8.24. Контроллер интерфейса с набором сетевых и системных адаптеров

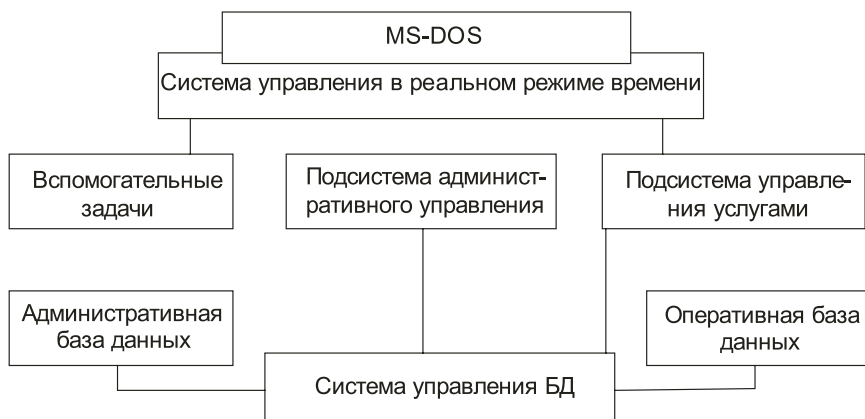


Рис. 8.25. Структура программного обеспечения АПКУ-ИС

База данных (БД) СПО состоит из административной и оперативной (технологической) частей. В административной части хранится информация, необходимая для административного управления услугами, например данные об абонентах, тарифах, статистическая информация и т. д.

Оперативная часть БД содержит информацию, используемую непосредственно в процессе обслуживания вызовов, например программы логики услуги (ПЛУ), а также значения конкретных атрибутов услуг для каждого из абонентов.

В полном соответствии с международными стандартами и рекомендациями ПЛУ состоят из независимых от услуг конструктивных блоков, реализованных в виде повторно используемых библиотечных процедур. В действующей версии СПО реализованы процедуры, обеспечивающие маршрутизацию вызовов в зависимости от времени суток, дней недели, состояния линии вызываемого абонента.

После анализа логического номера вызываемого абонента и определения типа услуги управление обработкой вызова передается соответствующей ПЛУ, загружаемой из оперативной БД. Выбранный согласно сценарию услуги физический номер транслируется в КИ, который инициирует установление соединения.

Следует отметить три основных сетевых варианта использования оборудования АПКУ в телефонной сети общего пользования (ТфОП).

Первым является вариант, продемонстрированный на опытной зоне, где узел коммутации дооборудован АПКУ-ИС и выполняет функции совмещенного узла коммутации и управления услугами (рис. 8.26).



Рис. 8.26. Совмещенный узел коммутации и управления на базе АПКУ

Необходимо отметить, что после разработки сетевого адаптера (АМТС-Ц) число типов узлов коммутации, с которыми возможно сопряжение АПКУ-ИС, значительно расширилось. На его основе можно реализовать услуги не только зонального, но и местного уровня путем создания ИС на базе цифрового коммутационного оборудования операторов (УИВС, АМТС/АТС, РАТС).

Другой способ использования АПКУ-ИС связан с возможностью его применения при построении целевой архитектуры ИС. Это обусловлено тем, что в ряде случаев дооснащение действующих узлов функциями коммутации услуг и программно-аппаратными средствами ОКС № 7 еще долгое время будет технически и экономически нецелесообразным (до тех пор, пока не будет развита федеральная система ОКС № 7 и не станут эксплуатироваться цифровые станции, в которых не реализованы функции коммутации услуг).

В данном случае роль согласующих устройств между узлами коммутации и платформой ИСС сможет выполнять АПКУ. При этом системы коммутации, дооснащенные АПКУ, будут восприниматься ИСС как узлы коммутации услуг. Сопряжение с ними АПКУ осуществляется по стандартному цифровому стыку G.703, а взаимодействие с другими узлами ИС – по сети или выделенным каналам ОКС-7 в соответствии с прикладным протоколом *INAP* (рис. 8.27).

Третьим вариантом применения АПКУ является его использование в качестве согласующего оборудования узла управления услугами (рис. 8.28).

Поскольку рынок дополнительных услуг связи в России только начинает формироваться, большинство операторов опасаются инвестировать значительные средства в импортное оборудование ИС, так как не уверены в быстрой его окупаемости. Вследствие этого наличие в телефонной сети оборудования, позволяющего уже сегодня быстро и с незначительными финансовыми затратами предоставлять коммерчески оправданные дополнительные услуги, видится вполне закономерным. Необходимо отметить, что АПКУ в том виде, в каком он был задуман и продолжает разрабатываться, можно считать достаточно универсальным устройством, позволяющим не только реализовать основные функциональные возможности ИС на существующей аналого-

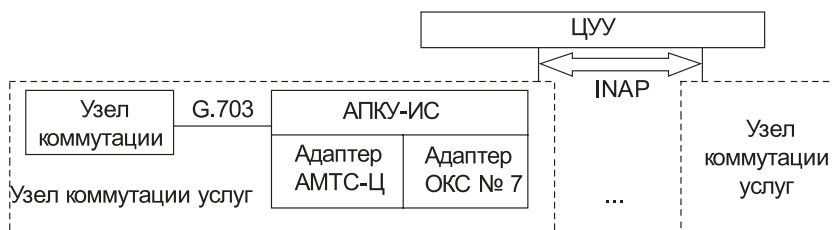


Рис. 8.27. Узел коммутации услуг на базе АПКУ

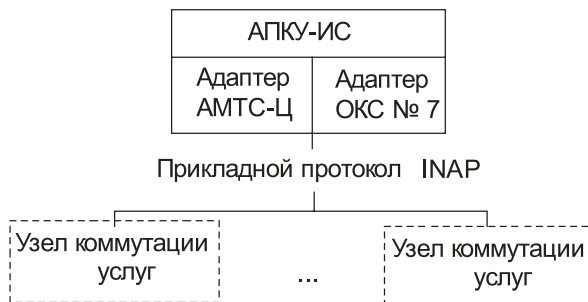


Рис. 8.28. Узел управления услугами на базе АПКУ

во-цифровой телефонной сети общего пользования, но и предопределить направления ее развития.

Таким образом, концепция ИС оказалась тем недостающим звеном в эволюции сетевых технологий, которое позволяет интегрировать не только услуги, но и сети связи на новой основе. ИС следует рассматривать с позиций не только внедрения новых услуг, но и использования ее как архитектурной концепции, основные особенности которой характерны для всех перспективных сетей связи.

Вопросы для самоконтроля

1. Принципы построения цифровых сетей с интеграцией служб
2. Изобразить структуру абонентской линии *xDSL* и дать ее характеристику.
3. Назначение, принцип действия сигнализации, применяемой в сетях связи.
4. В чем сущность концепции построения интеллектуальной сети связи?
5. Структура сетевого информационного комплекса баз данных.
6. Перечислите типы каналов и дайте их характеристику.

7. В чем отличие синхронного режима передачи от асинхронного?
8. Привести примеры дополнительных видов обслуживания.
9. Параметры какого канала (передачи, связи или электросвязи) оцениваются на выходе каналаобразующей аппаратуры?
10. Сущность асинхронного режима передачи.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Варакин Л.Е.** Опытная зона интеллектуальной сети связи // Вестник связи. – 1997. – № 4. – С. 38–42.
2. **Иванов П.А.** Управление сетями связи // Сети. – 1999. – № 8, 9.
3. **Князев К.** Современные системы управления сетями электросвязи / К. Князев, А. Рождественский. – Радио. – 1997. – № 11, 12; 1998. – № 1.
4. **Лазарев В.Г.** Интеллектуальные цифровые сети: справочник / под ред. Н.А. Кузнецова. – М.: Финансы и статистика, 1996.
5. **Нетес В.А.** Управление сетями: стандарты, проблемы и перспективы / В.А. Нетес, Н.В. Трубникова. – Вестник связи. – 2000. – № 2. – С. 73–85.
6. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года: руководящий документ. – Книга 1: Концептуально-целевые основы развития и общие организационно-технические положения. – М.: НТУОТ Мин-ва связи России, 1996.
7. **Росляков А.В.** Общеканальная система сигнализации № 7 / А.В. Росляков. – М.: Эко-Трендз, 1999. – 176 с.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ПЕРВИЧНЫЕ СИГНАЛЫ И МЕТОДЫ МОДУЛЯЦИИ	6
1.1. Общие понятия, относящиеся к передаче информации на расстояние (информация–сообщение–связь)	6
1.1.1. Телефонные (речевые) сигналы	16
1.1.2. Сигналы звукового и телевизионного вещания	18
1.1.3. Сигналы документальной связи: факсимильные, телеграфные и передачи данных	21
1.2. Модуляция	25
1.2.1. Аналоговые методы модуляции	25
1.2.2. Методы цифровой модуляции	46
Глава 2. СИСТЕМЫ И СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ.	60
2.1. Системы передачи	60
2.1.1. Системы передачи непрерывных сообщений.	60
2.1.2. Системы передачи дискретных сообщений	72
2.1.3. Цифровые иерархии.	76
2.2. Линии передачи	86
2.2.1. Кабельные и воздушные линии	86
2.2.2. Радиопередачи	88
2.2.3. Линии спутниковой связи.	96
2.3. Сети электросвязи, их классификация	100
2.3.1. Понятие о сети электросвязи и ее составных частях	100
2.3.2. Классификация сетей электросвязи	104
2.4. Принципы построения сетей электросвязи и способы коммутации, осуществляемые в них.	111
2.4.1. Принципы построения сетей электросвязи	111
2.4.2. Способы коммутации в сетях связи	114
2.5. Структурно-топологическое построение сетей связи	127
2.6. Информационные системы и сети, их функции	140
2.7. Эффективность функционирования систем (сетей) связи	153
2.7.1. Общие положения, цели и задачи оценки эффективности функционирования системы связи	154
2.7.2. Основные подходы к оценке эффективности функционирования систем связи	163
2.7.3. Экономическая эффективность	167
2.7.4. Оценка эффективности функционирования сетей связи по частному показателю устойчивости	168
2.7.5. Методика оценки качества каналов и трактов передачи первичной сети по их загрузенности.	180
2.7.6. Методики суммирования показателей эффективности с различными весовыми коэффициентами	186

Глава 3. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ	195
3.1. Основные понятия эталонной модели взаимодействия открытых систем	196
3.2. Уровни модели архитектуры систем передачи и распределения информации	203
3.3. Взаимодействие элементов открытых систем	219
3.4. Функциональные стандарты и профили взаимосвязи открытых систем	225
Глава 4. ЕДИНАЯ СЕТЬ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	230
4.1. Назначение, составные элементы Единой сети электросвязи Российской Федерации и требования, предъявляемые к ней	235
4.1.1. Назначение, составные элементы Единой сети электросвязи Российской Федерации и принципы ее построения	235
4.1.2. Системные требования, предъявляемые к ЕСЭ России	244
4.2. Архитектура единой сети электросвязи Российской Федерации	250
4.2.1. Архитектура ЕСЭ России и характеристика ее элементов	250
4.2.2. Топология транспортной цифровой сети связи	261
4.2.3. Сети спутниковой связи	273
4.2.4. Классификация типовых каналов и трактов ЕСЭ России	275
4.3. Функции основных сетей ЕСЭ России и средства их обеспечения	279
4.3.1. Функции основных сетей ЕСЭ России	279
4.3.2. Классификация и составные элементы, обеспечивающие функционирование ЕСЭ России	281
4.3.3. Система управления ЕСЭ России	288
4.3.4. Особенности функционирования системы управления ЕСЭ России	295
4.3.5. Система нумерации в единой сети электросвязи Российской Федерации	299
4.3.6. Сигнализация в единой сети электросвязи Российской Федерации	309
4.3.7. Нормативная база функционирования ЕСЭ России	314
Глава 5. СЕТЬ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ	321
5.1. Принципы построения телефонных сетей общего пользования	322
5.1.1. Назначение сети телефонной связи общего пользования	322
5.1.2. Принципы построения телефонных сетей различного уровня	330
5.2. Типовые каналы и сетевые тракты телефонной сети	345
5.2.1. Основные понятия и определения	346
5.2.2. Принципы нормирования каналов и сетевых трактов телефонной сети	351
5.2.3. Расчет необходимого количества каналов передачи при планировании телефонной сети	353

5.2.4. Предоставление групповых трактов и каналов передачи первичной сети потребителям.	356
Глава 6. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ ДОКУМЕНТАЛЬНОЙ СВЯЗИ	361
6.1. Принципы построения и структура сети телеграфной связи	362
6.1.1. Назначение, составные элементы сети телеграфной связи	362
6.1.2. Принципы построения и основные качественные показатели сетей телеграфной связи	366
6.1.3. Система управления телеграфными сетями	372
6.2. Особенности построения и составные элементы сетей передачи данных	374
6.2.1. Назначение и основные принципы построения сети передачи данных	374
6.2.2. Показатели эффективности сетей передачи данных	377
6.2.3. Применение показателей эффективности документальной связи при оптимизации маршрутов передачи сообщений	383
6.3. Назначение и краткая характеристика телематических служб	388
Глава 7. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ И СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ МАССОВЫХ СООБЩЕНИЙ	401
7.1. Сети радиосвязи с подвижными объектами	401
7.1.1. Назначение сетей радиосвязи с подвижными объектами и их классификация	402
7.1.2. Принципы построения транкинговых и сотовых сетей радиосвязи с подвижными объектами, их основные качественные показатели	406
7.2. Сети передачи массовых сообщений	433
7.2.1. Назначение, составные элементы, принципы построения сети телевизионного вещания и перспективы ее развития	433
7.2.2. Назначение, составные элементы и краткая характеристика системы спутникового вещания	437
7.2.3. Назначение, составные элементы и принципы построения сети звукового вещания	444
Глава 8. ЦИФРОВЫЕ СЕТИ С ИНТЕГРАЦИЕЙ СЛУЖБ	454
8.1. Принципы построения цифровых сетей с интеграцией служб	454
8.2. Абонентские линии xDSL.	463
8.3. Назначение сигнализации и ее задачи, решаемые в сетях связи	465
8.4. Современные технологии управления сетями связи	475
8.5. Концепция построения интеллектуальной сети.	482

Учебное издание

**Еременко Владимир Тарасович
Рытов Михаил Юрьевич
Павлинов Игорь Алексеевич
Долгов Алексей Юрьевич**

СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ
Учебное пособие

Редактор *А.В. Сушкевич*
Компьютерная верстка *Л.В. Савицкая*

ИЛ № 06150. Сер. АЮ от 21.02.02. Подписано в печать 13.02.18.
Формат 60х90/16. Усл. печ. л. 31,25. Тираж 100 экз. Заказ № 452.
Отпечатано в Изд-ве Приднестр. ун-та. 3300, г. Тирасполь, ул. Мира, 18