

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Х. Ш. Кульбикаян, А. А. Костоготов, А. В. Шандыбин

ОСНОВЫ ТРАНСПОРТНОЙ СВЯЗИ

Учебное пособие

Под редакцией Х. Ш. Кульбикаяна

Утверждено
учебно-методическим советом университета

Ростов-на-Дону
РГУПС
2022

УДК 656.25(07) + 06

Рецензенты: заместитель начальника отдела эксплуатации
Ростовской дирекции связи ЦСС филиала ОАО «РЖД»
А. В. Говорунов;
кандидат технических наук, доцент Д. В. Швалов (РГУПС)

Кульбикаян, Х. Ш.

Основы транспортной связи : учебное пособие / Х. Ш. Кульбикаян,
А. А. Костоглотов, А. В. Шандыбин ; под редакцией Х. Ш. Кульбикаяна ;
ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2022. – 220 с.

ISBN 978-5-907494-14-5

Рассмотрены вопросы передачи информации на расстояние, особенности телекоммуникационных систем, используемых в управлении железнодорожным транспортом, построения сетей и систем телекоммуникаций, основы телефонной связи, принципы многоканальной связи, организации телеграфной связи и передачи данных, связи с подвижными объектами на железнодорожном транспорте, а также история развития сетей и систем связи.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки специалистов «Системы обеспечения движения поездов» (специализация «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта»), а также для аспирантов.

Одобрено к изданию кафедрой «Связь на железнодорожном транспорте».

ISBN 978-5-907494-14-5

© Кульбикаян Х. Ш., Костоглотов А. А.,
Шандыбин А. В., 2022
© ФГБОУ ВО РГУПС, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ НА РАССТОЯНИЕ	6
1.1 Человек и информация	6
1.2 Системы связи и их классификация	13
1.3 Системы электросвязи	21
2 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ И СИСТЕМ СВЯЗИ	32
2.1 Предыстория электросвязи	32
2.2 Рождение и развитие электросвязи	35
2.3 История связи на железнодорожном транспорте	47
3 ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ	52
3.1 Системы телекоммуникации как составная часть транспортной инфраструктуры	52
3.2 Роль телекоммуникаций в организации управления на железнодорожном транспорте	59
3.3 Значение телекоммуникаций в создании цифровой железной дороги	68
4 СЕТИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ	77
4.1 Сети и направляющие системы электросвязи	77
4.2 Сети мобильных систем связи	90
5 ОСНОВЫ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ	103
5.1 Принцип телефонии и аппаратное обеспечение	103
5.2 Телефонные станции ручного обслуживания	114
5.3 Автоматические телефонные станции	117
6 ПРИНЦИПЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СВЯЗИ	130
6.1 Способы организации множественного доступа	130
6.2 Аналоговые системы многоканальной связи	139
6.3 Цифровые системы многоканальной связи	146
7 ТЕЛЕГРАФНАЯ СВЯЗЬ И ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ	161
7.1 Принципы телеграфной связи	161
7.2 Передача данных в системе железнодорожного транспорта ...	173
8 СВЯЗЬ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	186
8.1 Сети станционной радиосвязи	186
8.2 Сети поездной радиосвязи	193
8.3 Сети спутниковой связи	206
Библиографический список	219

ВВЕДЕНИЕ

Транспорт и связь являются важнейшими, основополагающими элементами инфраструктуры государства. Совершенствование транспортной системы невозможно без внедрения современных средств связи, а растущие потребности транспорта в информационном обеспечении перевозок становятся мощным стимулом развития новых телекоммуникационных технологий. Это говорит о том, что кооперация транспорта и связи дает мощный толчок в развитии каждой из этих областей промышленности.

В настоящее время системы телекоммуникаций развиваются в мире все более высокими темпами. Мы живем в информационном обществе. Век механизации и автоматизации закончился, начинается эра информатизации. В таких условиях немалую роль играют средства транспортировки и доставки информации. Системы связи доставляют информацию в нужное место и в нужное время. На этой основе работают все системы управления, поскольку управление и информация неразрывны. Управление – продукт переработки информации. Только при наличии знания ситуации можно говорить об управлении в широком смысле этого слова. Не имея качественной информации, невозможно себе представить управление в любой отрасли производства, в том числе и на транспорте.

Место системы связи на железнодорожном транспорте, системы технологической связи как составной части технологического процесса перевозок грузов и пассажиров можно представить себе, рассматривая общую структуру единой сети электросвязи (ЕСЭ) Российской Федерации. Она включает в себя сеть общего пользования и сеть ограниченного пользования. Последняя состоит из выделенной сети, сети технологической связи и сети специального назначения. Сеть технологической связи представляет собой сеть разных ведомств: РАО ЕЭС, Газпром, транспорт (в том числе и железнодорожный) и др. Из этого следует, что сеть связи железнодорожного транспорта есть составная часть ЕЭС, поэтому имеются определенные требования к построению сети, пониманию ее роли в общей системе связи России, ее техническому и организационному построению.

Телекоммуникационная сеть является составной частью инфокоммуникационной сети, которая представляет собой совокупность средств обработки и передачи информации и образует информационное пространство.

Сегодня общение людей, взаимодействие технических средств, находящихся на сравнительно небольшом или значительном расстоянии друг от друга, невозможно представить без сети связи.

Говоря о тенденциях в развитии систем передачи и обработки информации, можно представить всю инфокоммуникационную систему в виде трех вложенных друг в друга расширяющихся сфер.

Внутренняя сфера, ее ядро – первичная сеть связи, с помощью которой организуются многочисленные стандартные каналы для передачи лю-

бого вида информации. Тенденцией к расширению этой сферы является переход от аналоговых каналов к цифровым. Во-первых, при этом значительно увеличивается количество каналов (на два порядка и более). Во-вторых, это позволяет получить каналы высокого качества, удовлетворяющие всем международным нормам и требованиям.

Средней сферой являются вторичные сети связи, обеспечивающие использование стандартных каналов первичной сети для передачи любого вида информации (аудио, видео, текста, данных) и распределение ее в соответствии с адресом между любыми парами абонентов. Тенденцией к ее расширению является переход от электромеханических коммутационных станций к электронным и внедрение новых, передовых сетевых технологий. Это существенно сокращает производственные площади, упрощает эксплуатацию, позволяет получить значительное число дополнительных видов обслуживания.

Внешней является сфера сервисных служб, которая дает возможность пользователям выбирать из общей номенклатуры видов сервиса наиболее подходящий для того или иного случая. Традиционными видами сервиса были и остаются телефон, телеграф, передача данных. В последнее время появились такие виды сервиса, как электронная почта, услуги сети Интернет, мобильная связь, пересылка SMS и MMS-сообщений, а в будущем возможны и другие виды сервиса.

Все это в совокупности дает возможность пользоваться услугами информационной сферы (как частным лицам, так и официальным организациям), использовать средства телекоммуникаций для обмена информацией по широкому кругу вопросов.

При изучении учебного пособия студенты должны овладеть теорией о потребительских свойствах системы передачи информации, а также изучить особенности и технические характеристики различных видов и систем связи.

1 ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ НА РАССТОЯНИЕ

1.1 Человек и информация

Деятельность людей направлена на создание материальных и духовных ценностей, совершенствование общественных отношений. Сферы деятельности определяются практическими жизненными потребностями членов общества.

Процесс создания материальных ценностей принято называть производством. Без производства невозможно само существование людей. Любому производству наряду с орудиями труда, сырьем, рабочей силой необходима информация, накопленная людьми многих поколений. Эта информация хранится в памяти людей, книгах, документах и т.д. Сведения о каких-либо процессах, событиях, фактах или предметах принято называть информацией.

Слово **информация** в переводе с латинского означает *разъяснение, изложение, осведомление*.

Информация имеет ценность для производства только в том случае, если она доступна людям, невзирая на ее удаленность от места производства и давность получения. Следовательно, возникает необходимость запоминания, хранения и передачи информации на расстояние.

Известно, что 80...90 % информации человек получает через органы зрения и 10...20 % – через органы слуха. Другие органы чувств (осязание, обоняние, вкус) дают человеку в сумме до 1...2 % информации.

Таким образом, зрительный и слуховой органы человека в совокупности с его нервной системой являются основными каналами поступления информации в мозг.

Информационный обмен для людей – не прихоть, а такая же естественная потребность, как пища, воздух, сон и т.д.

Обмен информацией означает ее передачу и прием. Когда говорят о передаче информации, то подразумевают, что есть источник информации, получатель (потребитель) информации и средства ее передачи.

Средства передачи, обусловленные 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 технические средства – средства связи и широко ими пользуется.

Таким образом, **связь** – это техническая база, обеспечивающая передачу и прием информации между удаленными друг от друга людьми или какими-либо устройствами. Аналогия между связью и информацией такая же, как у транспорта и перевозимого груза. Средства связи не нужны, если нет информации, как не нужны транспортные средства при отсутствии груза.

Понятию *информация* близко по смыслу понятие *сообщение*.

Сообщение – это форма выражения (представления) информации, удобная для передачи на расстояние.

Способность видеть позволяет человеку воспринимать информацию в форме неподвижных или подвижных изображений, называемых оптическими сообщениями. Примерами таких сообщений являются буквенный текст, цифровые данные, подвижные и неподвижные изображения.

Все приведенные сообщения наносятся на определенные носители и хранятся чаще всего на бумаге, поэтому они называются *документальными сообщениями*.

Способность слышать позволяет воспринимать информацию, представляющую собой механические колебания частиц воздушной среды, называемые *звуковыми сообщениями*. Примерами звуковых сообщений являются речь и музыка. При разговоре информация заключена не только в содержании речи, но и в ее интонации, ритме и т.п.

Человек воспринимает (слышит) колебания, частота которых находится в пределах 16...16 000 Гц (1 Гц равен одному колебанию в секунду).

ЭВМ (электронно-вычислительные машины) воспринимают информацию только в форме знаков. Знаки – это буквы, цифры и другие символы, из которых составляются сообщения путем их нанесения на специальные носители информации: перфоленты, перфокарты, магнитные ленты, диски и др.

Сообщения, предназначенные для обработки на ЭВМ или полученные от ЭВМ, принято называть **данными**.

Любое сообщение имеет параметр, в изменении которого «заложена» информация, содержащаяся в сообщении. Этот параметр называется *информационным*.

Все звуковые сообщения представляют собой сочетание звуковых колебаний, создающих в воздухе переменное звуковое давление.

Звуковое давление – основная количественная характеристика звука. Мгновенное значение звукового давления и есть информационный параметр звукового сообщения.

Информационные параметры оптических сообщений характеризуют оптические свойства участков изображения. Для неподвижных изображений таким параметром является коэффициент отражения.

Информационным параметром подвижных черно-белых изображений служит яркость свечения участков экрана. В текстовых и цифровых сообщениях носителем информации, а следовательно, и информационным параметром являются знаки, из которых они составляются.

По характеру изменения информационных параметров различают **непрерывные** и **дискретные сообщения**.

Сообщение называется **непрерывным**, если его информационный параметр в процессе изменения может принимать любые значения в некотором интервале. Непрерывными являются звуковые сообщения, а также изображения.

Дискретными сообщениями принято называть любые текстовые и цифровые сообщения, составляющиеся из определенного, конечного и известного набора знаков (например, букв алфавита).

Задачей связи является передача сообщений на расстояние от источника к получателю. Когда сообщение записано на каком-либо носителе, например на бумаге, его можно доставить получателю с помощью того или иного вида транспорта. Так поступают при передаче письменных сообщений в почтовой связи. Однако данный способ передачи не удовлетворяет потребителей по скорости передачи сообщений. Поэтому найдены и широко используются более скоростные переносчики сообщений, использующие физические процессы, способные преодолевать с определенной скоростью расстояния между источником и получателем.

Таковыми процессами могут быть звуковые или электромагнитные волны, электрический ток. Сигналом называется физический процесс, отображающий передаваемое сообщение. Отображение сообщения обеспечивается изменением какой-либо физической величины, характеризующей процесс. Эта величина является информационным параметром сигнала.

В дальнейшем будем рассматривать принципы и средства связи, основанные на использовании в качестве переносчиков сообщений электрической энергии, т.е. электрических сигналов. Передача и прием сообщений любого рода с электрических сигналов является признаком электрической связи (электросвязи). Выбор электрических сигналов для переноса сообщений на расстояние обусловлен тем, что скорость их распространения соизмерима с предельно возможной скоростью распространения процессов, равной скорости света – 300 000 км/с.

Электрические сигналы, как и сообщения, могут быть *непрерывными* и *дискретными*.

Отличие непрерывного сигнала от дискретного заключается в том, что информационный параметр непрерывного сигнала, например, напряжение, ток, напряженность электрического или магнитного поля с течением времени может принимать любые мгновенные значения в определенных пределах. Непрерывный сигнал часто называют **аналоговым**.

Дискретный сигнал характеризуется конечным числом значений информационного параметра. Часто этот параметр принимает всего два значения. На рис. 1.1 и 1.2 показаны виды аналогового и дискретного сигналов. По осям ординат отложен информационный параметр, в данном случае напряжение U .

На рис. 1.1 параметр может принимать любое значение, лежащее в пределах U' и U'' , а на рис. 1.2 параметр принимает всего два значения, равные U' или U'' .

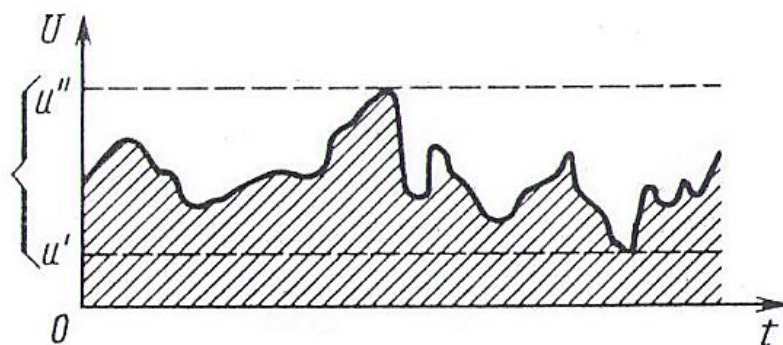


Рис. 1.1. Аналоговый сигнал

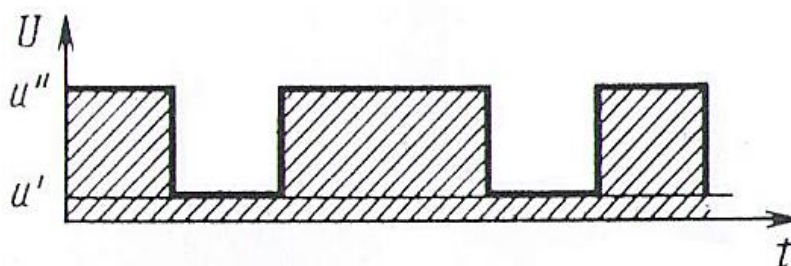


Рис. 1.2. Дискретный сигнал

Всякий электрический сигнал представляет собой изменяющуюся во времени электрическую величину и, следовательно, может быть выражен некоторой функцией времени. Наиболее простым является сигнал, изменяющийся по закону синуса и называемый *синусоидальным*, или *гармоническим*.

Реальные сигналы электросвязи сложны, но любой из них можно представить совокупностью ряда гармонических составляющих (гармоник).

Совокупность составляющих, соответствующих одному сигналу, принято называть **спектром** этого сигнала.

Интервал частот, охватывающий все составляющие сигнала, называется **шириной спектра** сигнала. Чем сильнее форма сигнала отличается от синусоиды, тем больше составляющих содержит его спектр и тем он шире.

Применительно к системам управления под информацией можно понимать сведения, являющиеся объектом преобразования, хранения, передачи, распределения и непосредственного использования для активного воздействия на объект управления с целью получения максимального эффекта от его функционирования. Это могут быть сведения о результатах измерения каких-либо параметров объекта, наблюдение за его поведением, нормативные данные и пр.

Информация всегда сопровождается изменением чего-либо: света, звука, параметров электрического, магнитного, электромагнитного полей и др. Чем больше оттенков, состояний, значений может иметь тот или иной

параметр наблюдаемого объекта, тем больше информации несет он для целей управления.

В системе управления информация выступает в разном виде:

1) как *предмет труда* – информация о состоянии управляемого объекта и его окружении, статистические сведения о его поведении в прошлом, инструкции, нормативно-справочные и правовые материалы и пр.;

2) как *средство труда* – алгоритмы обработки информации, информация, хранящаяся в банках и базах данных, программное обеспечение средств вычислительной техники и пр.;

3) как *продукт труда* – решения и управляющие команды о необходимости воздействия на управляемый объект для достижения поставленных целей, информация о реакции объекта на управляющее воздействие и др.

Все виды и стадии управления в процессе производства связаны с обработкой информации. И это не только производство вычислений на ЭВМ, но и моделирование процессов управления, хранение и поиск данных, упорядочение информации по видам и размерности, преобразование из одной формы представления в другую, передача информации на расстояние, распределение информации и многое другое.

Сообщения представляют собой некую законченную форму, имеющую признак начала, содержание сведений, адрес, идентификатор отправителя, признак конца. Одно и то же сведение может быть представлено в разных формах. Например, сведение о приезде родственника поездом может быть передано по телефону (звуковая форма) или в виде телеграммы (текстовая форма).

Информация вырабатывается некоторым источником. В случае телефонного разговора мы имеем дело с аналоговой информацией, вырабатываемой органами речи человека. В случае передачи телеграммы мы имеем дело с дискретной информацией, вырабатываемой рукой человека. И в том, и в другом случае сообщение представлено в буквах, из которых составлены слова, в знаках и цифрах. Но в первом случае звуки речи имеют бесконечное число уровней громкости и частоты, а во втором случае число букв, знаков и цифр составляет конечное множество. Этим и отличается аналоговая (непрерывная) информация от дискретной.

Количество информации в сообщении определяется в битах (сокращение от английского *binary digit* – *двоичная единица*). Чем меньше вероятность появления того или иного сообщения, тем большее количество информации извлекается получателем.

Среднее количество информации $H(A)$, которое приходится на одно сообщение, определяется следующим выражением:

$$H(A) = - \sum_{i=1}^K p(a_i) \log_2 p(a_i) \text{ [бит/сообщение]}. \quad (1.1)$$

Выражение (1.1) известно как формула *Шеннона* для энтропии источника сообщений.

Энтропия – это мера неопределенности в поведении источника. Энтропия равна нулю, если с вероятностью, равной единице, источник выдает всегда одно и то же сообщение. В этом случае неопределенность в поведении источника отсутствует.

Среднее количество информации, выдаваемое источником в единицу времени, называют **производительностью источника**:

$$H'(A) = \frac{H(A)}{T} \text{ [бит/с]}, \quad (1.2)$$

где T – среднее время, отводимое на передачу одного сообщения.

Для оценки каналов передачи информации вводят характеристику – **скорость передачи информации R** . Она измеряется количеством бит, переданных в секунду.

Максимально возможное значение скорости передачи информации по каналу связи называется **пропускной способностью канала** и обозначается буквой C .

Сообщения, поступающие от источника, преобразуются в сигнал, являющийся переносчиком информации в системе связи, которая выполняет функции транспортного средства для доставки из одной точки пространства в другую с заданными качественными показателями.

Различают четыре вида сигналов.

Непрерывный (аналоговый) сигнал представлен на рис. 1.3. Такие сигналы могут изменяться произвольно в любые мгновения времени и принимать любые значения из множества возможных.

Дискретизированный (импульсный) сигнал приведен на рис. 1.4. Этот сигнал может принимать любые значения из непрерывного множества, но изменяться только в определенные моменты времени.

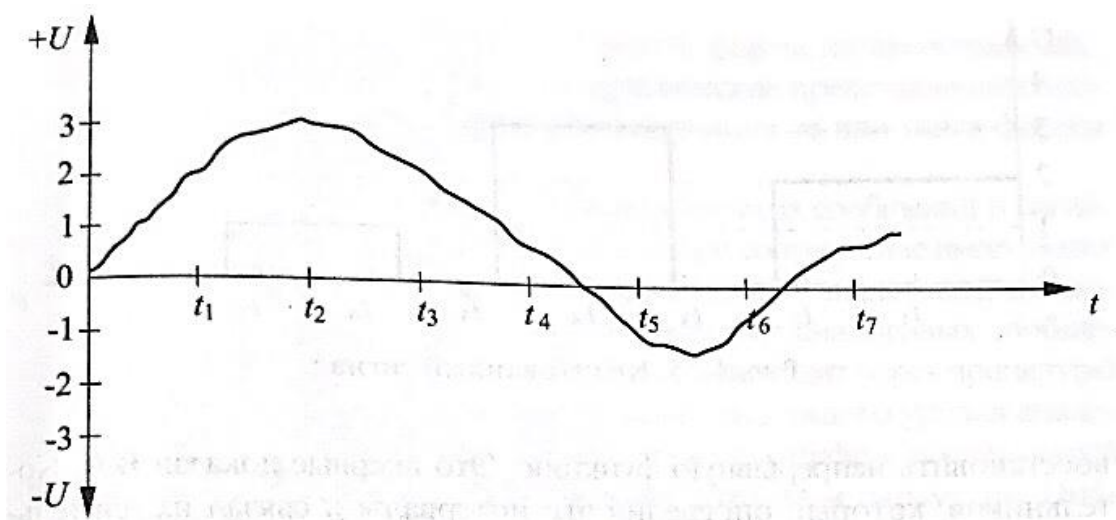


Рис. 1.3. Непрерывный (аналоговый) сигнал

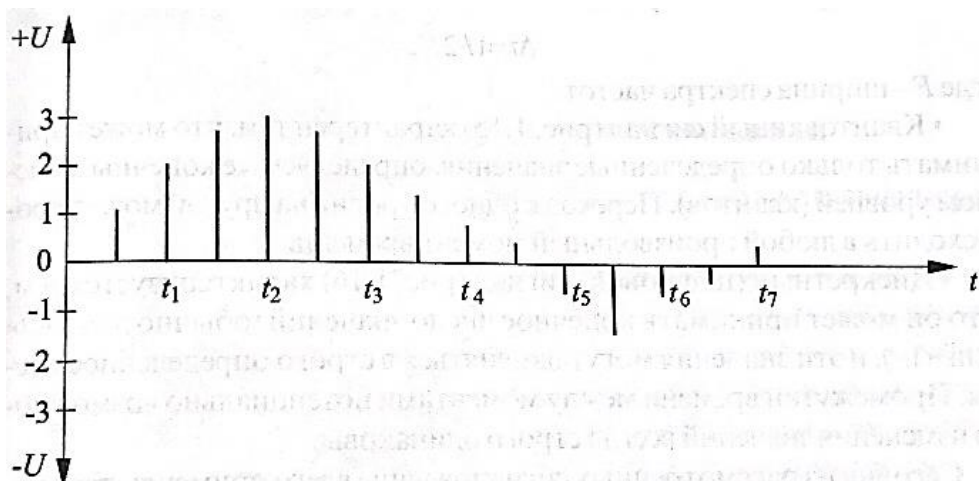


Рис. 1.4. Дискретизированный (импульсный) сигнал

По значениям параметра в моменты отсчета через определенные интервалы можно восстановить непрерывную функцию. Это впервые доказал *В. А. Котельников*, который определил данные интервалы и связал их длительность с шириной спектра сигнала выражением

$$\Delta t = \frac{1}{2F}, \quad (1.3)$$

где F – ширина спектра частот.

Квантованный сигнал (рис. 1.5) характерен тем, что может принимать только определенные значения, определяемые конечным числом уровней (квантов). Переход с одного уровня на другой может происходить в любой произвольный момент времени.

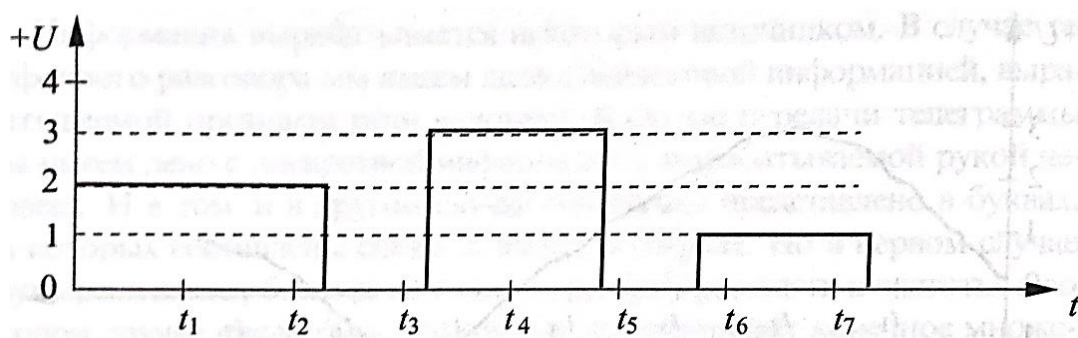


Рис. 1.5. Квантованный сигнал

Дискретный (цифровой) сигнал (рис. 1.6) характеризуется тем, что он может принимать конечное число значений (обычно два – «0» или «1») и эти значения могут изменяться в строго определенное время. Промежутки времени между моментами потенциально возможного изменения значений всегда строго одинаковы.

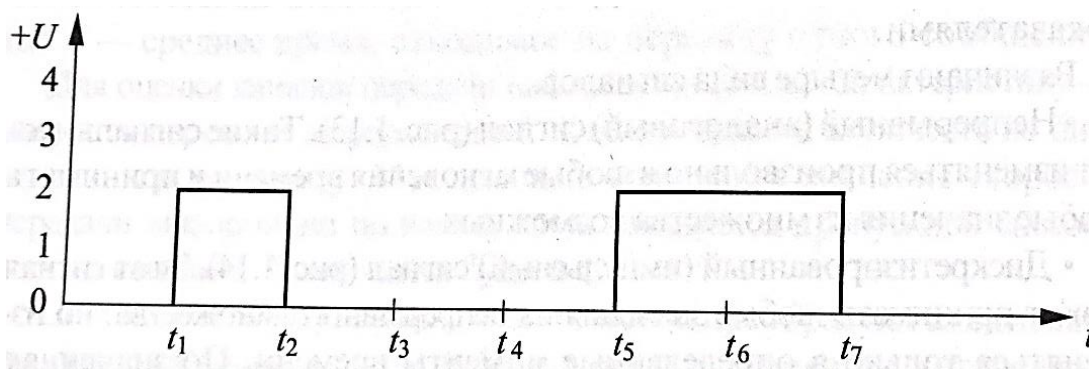


Рис. 1.6. Дискретный (цифровой) сигнал

В настоящее время из рассмотренных сигналов чаще всего применяются *аналоговые* и *цифровые*.

Сравнивая графическое представление различных сообщений и сигналов, можно отметить, что полное и однозначное соответствие имеет место лишь при преобразовании аналогового сообщения в аналоговый сигнал.

Сегодня все чаще применяют преобразование аналоговых сообщений в дискретный (цифровой) сигнал. Это происходит через процедуры дискретизации и квантования с представлением каждого уровня аналогового сигнала кодовой комбинацией двоичных цифр с последующей заменой каждой из них соответствующим значением параметра. Цифровые системы передачи, в силу их высокой помехоустойчивости, находят все большее применение.

1.2 Системы связи и их классификация

Как отмечалось ранее, в электросвязи переносчиком сообщений является электрический сигнал, способный распространяться в определенных средах. Из этого следует, что для передачи на расстояние сообщение, создаваемое источником, должно быть преобразовано в электрический сигнал, который будет преодолевать пространство. На месте приема полученный сигнал необходимо преобразовать в сообщение, подаваемое получателю. Чтобы выполнять все эти операции, необходимы соответствующие технические устройства, которые в совокупности со средой распространения сигнала образуют систему электросвязи.

На рис. 1.7 изображена обобщенная структурная схема системы электросвязи. Она связывает источник сообщений (ИС) с их получателем (ПС) и состоит из трех основных частей: преобразователя сообщения в сигнал, называемого передатчиком, канала связи и преобразователя сигнала в сообщение, называемого приемником.

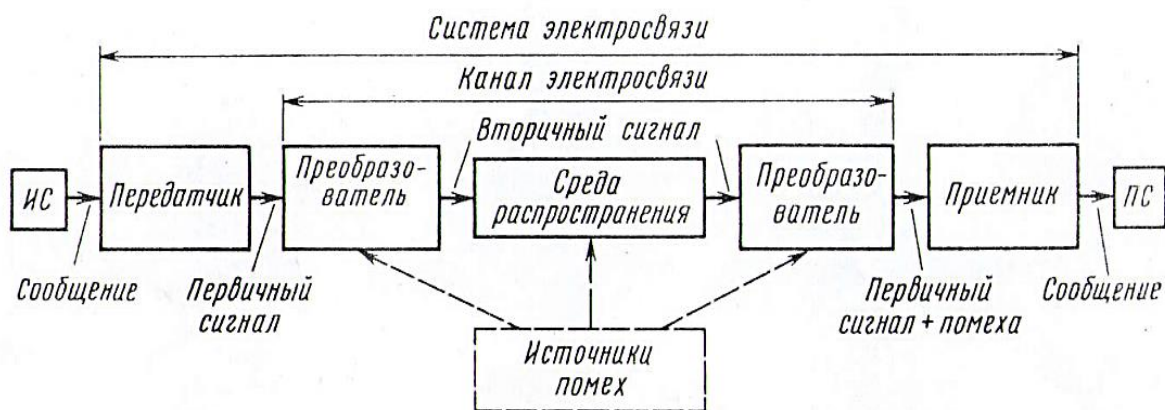


Рис. 1.7. Структурная схема системы электросвязи

Источником и получателем сообщений, как правило, являются люди, но также могут быть различные датчики, автоматические устройства и ЭВМ. Устройство и принцип работы передатчика и приемника зависят от вида и характера передаваемых сообщений.

Сигналы, получаемые на выходе передатчика и подаваемые на вход приемника, называются первичными. Такие сигналы не всегда удобно, а иногда и невозможно передавать в определенной среде распространения. Поэтому первичные сигналы при передаче подвергаются преобразованию на входе и выходе канала.

Преобразователь, расположенный на входе в канал, преобразует первичный сигнал во вторичный, способный проходить по определенной среде распространения. На приемном конце преобразователь производит обратное преобразование вторичного сигнала в первичный. Таким образом, канал электросвязи представляет собой совокупность технических устройств и среды распространения, обеспечивающих передачу сигналов на расстояние.

Каналы и системы электросвязи, использующие в качестве среды распространения провода и оптические волокна, называются *проводными*, а каналы и системы, в которых сигналы передаются через открытое пространство, – *радиоканалами* и *радиосистемами*.

В реальных условиях сложный и многоэтапный процесс передачи сообщений происходит при воздействии множества помех. Наибольшие трудности и проблемы при этом создают помехи, искажающие сигнал.

Под **помехой** понимается любое воздействие на полезный сигнал, изменяющее его информационный параметр и затрудняющее прием. Помехи в системах связи весьма разнообразны по происхождению и физическим свойствам. Источники помех могут быть как внутри, так и вне системы электросвязи.

На рис. 1.7 все источники помех объединены и условно показаны в виде прямоугольника, а места возникновения помех – стрелками.

Таким образом, в приемник поступает сигнал, подверженный воздействию помех. Однако сообщение, принимаемое получателем, должно полностью соответствовать сообщению, переданному от источника. Выполнение этого условия возможно лишь в том случае, если все элементы системы электросвязи обладают определенной помехоустойчивостью.

В системах электросвязи применяют различные по устройству и принципу работы преобразователи сообщения в сигнал (передатчик) и обратно (приемник). Это зависит от вида и характера передаваемых сообщений.

В системах передачи оптических сообщений в качестве таких преобразователей применяются фотоэлектрические преобразователи и различные регистрирующие устройства. В системах передачи звуковых сообщений используются соответственно акустоэлектрические и электроакустические преобразователи.

Преобразующие устройства могут выполнять как прямое (непосредственное), так и условное преобразования.

При прямом преобразовании информационные параметры сообщения и сигнала изменяются по одним и тем же законам. Например, изменения электрического сигнала на выходе акустоэлектрических преобразователей точно повторяют изменения звукового давления. Это достигается благодаря включению в электрическую цепь устройств, чувствительных к изменению звукового давления. Пропорционально изменению давления изменяется сопротивление электрическому току. В результате величина тока изменяется в соответствии с изменением сообщения. Обратное преобразование сигнала в звуковое сообщение осуществляется с помощью электромагнита. В обмотку электромагнита поступает сигнал, создающий переменное магнитное поле, которое приводит в колебательное движение мембрану, вызывающую в окружающей среде звуковые колебания.

При условном преобразовании связь между информационными параметрами сообщения и сигнала условная. В этом случае применяются коды, т.е. каждый знак сообщения при передаче преобразуется в определенную комбинацию электрических импульсов, а в процессе приема по комбинации определяется соответствующий знак. Коды используются для преобразования в сигнал дискретных сообщений.

Всякий раз когда встает вопрос о передаче сообщений на расстояние, принципиальное значение имеют вид и характер передаваемых сообщений.

Дело в том, что для передачи сообщений разного вида и характера необходимы соответствующие системы электросвязи. Например, устройства для преобразования оптических сообщений в сигнал и обратно не могут быть использованы для преобразования звуковых сообщений и т.д.

Сигналы, полученные в процессе преобразования, также отличаются по своим параметрам и характеру, поэтому для передачи разных сигналов требуются разные каналы. Но дело не только в свойствах сообщений. Устройство и принцип работы элементов систем электросвязи зависят также от назначения передаваемых сообщений и требований, предъявляемых к качеству передачи.

Все эти обстоятельства привели к созданию нескольких видов электросвязи, реализуемых соответствующими техническими системами.

В ГОСТ определены следующие массовые виды электросвязи: телефонная связь, телеграфная связь, факсимильная связь, видеотелефонная связь, звуковое вещание, телевизионное вещание, передача газет, передача данных (рис. 1.8).

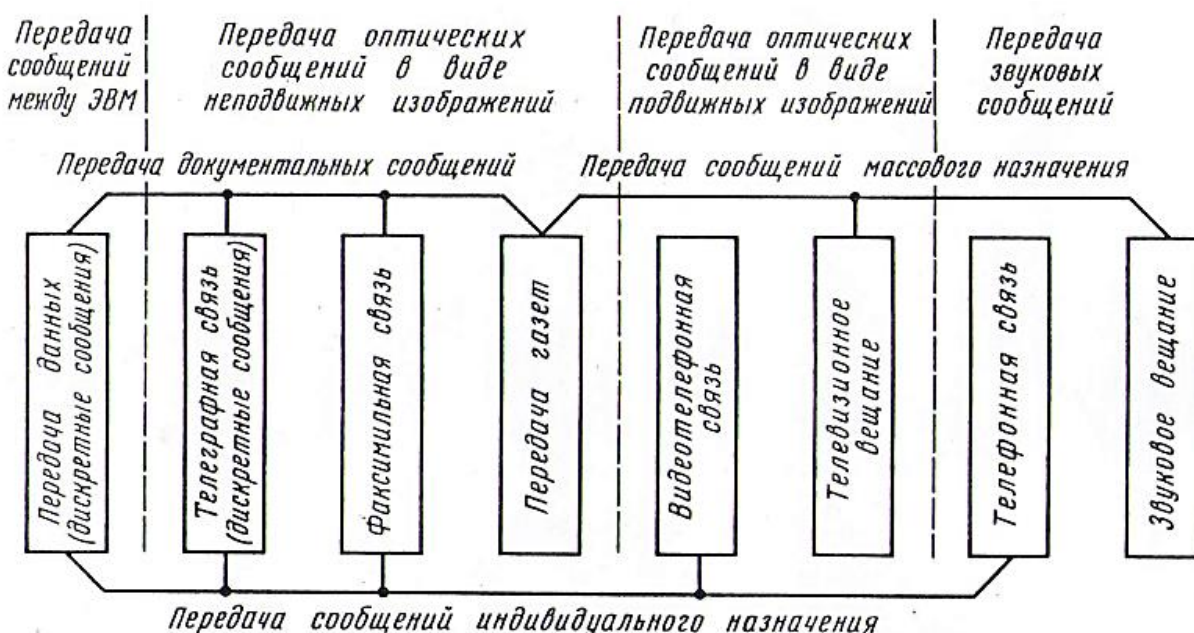


Рис. 1.8. Классификация современных видов электросвязи

Все виды электросвязи можно условно разделить на четыре группы. Две группы предназначены для передачи оптических сообщений: неподвижных и подвижных изображений, одна для передачи звуковых сообщений и ещё одна – для передачи сообщений между ЭВМ.

Телеграфная связь и *передача данных* служат для передачи дискретных сообщений в виде текстов (телеграмм) и цифровых данных соответственно. Причем передача данных обеспечивает более скоростную и качественную передачу сообщений.

Факсимильная связь и ее разновидность – передача газетных полос – обеспечивают передачу оптических сообщений в виде неподвижных изображений.

Такие виды электросвязи, как *телефонная связь* и *звуковое вещание*, предназначены для передачи звуковых сообщений. Телефонная связь обеспечивает ведение переговоров между людьми (абонентами), а звуковое вещание – одностороннюю и высококачественную передачу звуковых сообщений (радиопрограмм), предназначенных одновременно для многих слушателей.

Телевизионное вещание и *видеотелефонная связь* обеспечивают одновременную передачу оптических и звуковых сообщений. При этом теле-

видение обеспечивает одностороннюю передачу массовых сообщений, а видеотелефонная связь – двустороннюю передачу индивидуальных сообщений, позволяя вести переговоры, при которых собеседники видят друг друга. Правда, этот вид электросвязи не получил широкого распространения из-за относительно высокой стоимости передачи сообщений.

Виды электросвязи, предназначенные для передачи документальных сообщений (записанных на каком-либо носителе), часто называются *документальными*. К таким видам связи относятся телеграфная и факсимильная связь, передача данных и газет.

В табл. 1.1 представлено подробное описание видов сообщений, сигналов и применяемых видов связи.

Таблица 1.1

Виды сообщений, сигналов и применяемые виды связи

Вид сообщения и его характеристики	Графическое представление сообщения	Графическое представление сигнала	Вид сигнала и его характеристика	Вид связи, использующей сигнал
Аналоговое сообщение: аудиоинформация (речь, музыка), видеоинформация (подвижные и неподвижные изображения)			Аналоговый сигнал: непрерывная функция непрерывного времени	Телефонная, радиосвязь, радиовещание, телевидение, фото-телеграф
Аналоговое сообщение: показания приборов			Дискретизированный сигнал: непрерывная функция дискретного времени $\Delta t = \text{const}$	Телеметрия, телеконтроль
Дискретное сообщение: видеоинформация (сигнал светофора)			Квантованный сигнал: дискретная функция непрерывного времени $\Delta t_1 \neq \Delta t_2 \neq \Delta t_3$	Телеуправление, телесигнализация
Дискретное сообщение: видеоинформация (текст), данные			Дискретный сигнал: дискретная функция дискретного времени $\Delta t = t_0 = \text{const}$	Телеграфия передачи данных

Однако рассмотренные основные виды электросвязи охватывают далеко не все области ее использования в современной жизни.

В заключение следует сказать, что все виды электросвязи не конкурируют, а дополняют друг друга, удовлетворяя различные потребности человека в передаче сообщений, позволяя выбрать наиболее удобный и выгодный способ передачи сообщения в каждом конкретном случае.

Современные системы электросвязи могут быть классифицированы по разным признакам.

По виду передаваемых сообщений и связанных с ними сигналов различают аналоговые и дискретные системы связи.

К аналоговым относятся аудиосообщения, полутоновые видеосообщения (фотографии, видеоизображения) и используемые для их передачи такие виды связи, как телефонная, звуковое вещание, фототелеграф, телевидение. Дискретные сообщения представлены текстовыми сообщениями (телеграф), неподвижными графическими сообщениями (факсимильная связь, электронная почта), цифровыми данными для работы ЭВМ (передача данных).

По способу представления услуг различают массовые службы связи и индивидуальные. В первом случае услуги связи предоставляются пользователям через специальные бюро (отдел доставки). Это клиентские службы. Во втором случае услуги связи доводятся непосредственно до каждого пользователя, имеющего в своем распоряжении личный терминал. Это абонентские службы.

По временному режиму доставки сообщений различают системы работы в реальном времени, когда абоненты работают в режиме диалога (телефон и пр.), и системы с отложенной доставкой (электронная почта, записанные программы звукового и телевизионного вещания и др.).

По функциональному назначению различают оперативные виды связи и связь общего пользования. Такое деление чаще всего ведется в технологических видах связи.

По охватываемой территории различают глобальные (широкомасштабные) сети связи (Wide Area Networks – WAN), развернутые на территориях отрасли, континента, и локальные сети связи (Local Area Networks – LAN), действующие в пределах одного здания, замкнутого технологического процесса.

На железнодорожном транспорте к этому добавляется ещё *административное деление*. Различают магистральные связи (ОАО «РЖД» и его филиалы, управление дороги), дорожные связи (в пределах каждой железной дороги), отделенческие связи (оперативные в пределах отделения) и станционные связи (оперативно-технологические и общие в пределах станции).

По способу пользования различают стационарные и мобильные средства связи. В первом случае терминалы сети привязаны к какому-либо одному месту и пользователь должен сам обеспечить доступ к ним. Во втором случае связь может быть обеспечена с подвижными объектами, когда средство взаимодействия с сетью перемещается вместе с пользователем.

По технологии работы различают сети с закреплением ресурсов на время сеанса связи и сети с динамическим распределением ресурсов. В первом случае для любой пары абонентов в сети резервируется часть ресурсов, а при их отсутствии абоненты получают отказ в обслуживании. Во втором случае ресурсы сети предоставляются по мере надобности на том или ином ее участке и отказов не бывает.

На рис. 1.9 приведена классификация видов связи и сервисных услуг. Вся диаграмма разделена на четыре квадранта по признакам временного режима работы и способу предоставления услуг с учетом вида передаваемых сообщений (аудио, видео, текст). Приведенная классификация достаточно условна, так как в последнее время наметилась тенденция к объединению услуг сети связи в единую интегральную систему на основе цифровых методов передачи и коммутации для передачи всех видов сообщений.

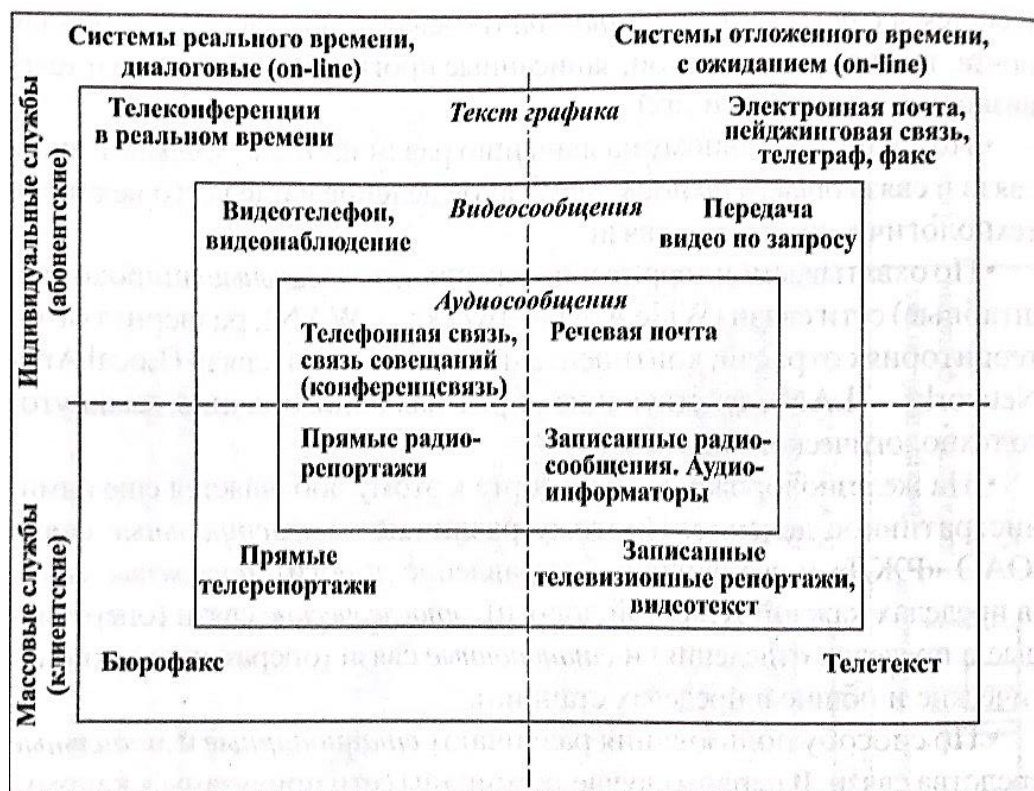


Рис. 1.9. Классификация видов связи и услуг

Интенсивное развитие цифровых систем передачи объясняется их существенными достоинствами по сравнению с аналоговыми системами передачи. Это высокая помехоустойчивость, слабая зависимость качества передачи от длины линии, стабильность электрических параметров, эффективность использования пропускной способности и др.

Цифровые системы коммутации позволяют унифицировать оборудование, а следовательно, снизить его стоимость, значительно расширить номенклатуру дополнительных видов услуг и повысить их качество. Это приводит к увеличению телефонной плотности (количество телефонов,

приходящееся на 100 пользователей), к замене телеграфной связи такими видами документальной связи, как электронная почта, факсимильная связь, передача данных. Одновременно с количественным расширением услуг происходит переход от моносервиса к мультимедиасервису, который может быть обеспечен цифровыми интегральными сетями.

Основным направлением развития сейчас считается создание глобального информационного общества, основой которого станет глобальное информационное пространство. Глобализация связи и её персонализация – основные взаимосвязанные проблемы, успешно решаемые в настоящее время. Дальнейшая эволюция телекоммуникационных технологий, наращивание количества услуг будут связаны с увеличением скорости передачи, интеллектуализацией сетей, обеспечением мобильности пользователей.

Высокие скорости передачи необходимы для интеграции различных видов информации в мультимедийных приложениях, при организации связи между локальными сетями, для передачи изображений, в том числе телевизионных. Пользователь перестанет быть пассивным потребителем услуг и сам сможет управлять сетью, заказывая нужные ему услуги. Мобильность сделает реальностью предоставление услуг связи каждому в любое время и в любом месте.

На железнодорожном транспорте по мере достижения более развитого состояния автоматизированной информационно-управляющей системы степень использования речевой связи будет уменьшаться прежде всего в диспетчерском руководстве. Этому должны способствовать переход диспетчерского руководства от функций непрерывного анализа поездного положения к сеансовым функциям рассмотрения предлагаемых автоматизированной системой оперативных планов, организация передачи оперативных заданий исполнителям на их АРМы по межмашинным каналам связи, автоматизация непрерывного контроля исполнения заданий, возможность оперативного вызова справочной и текущей информации на экраны мониторов.

Необходимость переговоров диспетчера с исполнителями сохраняется лишь при неудовлетворительных результатах контроля за выполнением заданий, в случае отказа программных или технических средств автоматизированной информационной системы, при крушениях и авариях, в чрезвычайных ситуациях.

Объем информации, передаваемой через средства связи в мире, увеличивается вдвое каждые 2...3 года.

Появляются и развиваются новые отрасли информационной индустрии, существенно возрастает влияние информационных технологий на научно-технический и интеллектуальный потенциал общества. Начало XXI века рассматривается как период перехода к информационному обществу, требующий для своего эффективного развития создания глобальной информационно-коммуникационной инфраструктуры.

По степени оснащенности современными техническими средствами и системами телекоммуникаций железнодорожный транспорт стал одной

из передовых отраслей в стране. Создана современная телекоммуникационная система на основе цифровых систем передачи и коммутации, волоконно-оптических линий связи и спутниковых каналов.

Единая информационная среда транспортного комплекса, обеспечивающая равноправный доступ к информации как для операторов перевозок, так и для их клиентов, создает необходимые предпосылки для здоровой конкуренции на рынке транспортных услуг. Взаимоувязанная информационная среда является необходимым условием для эффективной работы планируемых в перспективе логистических центров на базе инфраструктуры железнодорожного транспорта, которые помогут ускорить организацию мультимодальных и комбинированных перевозок грузов.

1.3 Системы электросвязи

Каждый вид электросвязи реализуется с помощью определенной системы, обеспечивающей передачу на расстояние конкретных сообщений. Поэтому в электросвязи существуют системы телефонной, телеграфной, факсимильной, видеотелефонной связи, передачи газет, передачи данных, а также звукового и телевизионного вещания.

Системы электросвязи, в которых в результате прямого преобразования сообщений получается непрерывный (аналоговый) сигнал, называются непрерывными или аналоговыми системами.

Системы телефонной, факсимильной, видеотелефонной связи, звукового и телевизионного вещания относятся к непрерывным системам.

Условное преобразование сообщения в сигнал (*кодирование*) – признак системы для передачи данных. Такими в электросвязи являются системы телеграфной связи и передачи данных.

Телефонные, телеграфные, видеотелефонные системы и системы передачи данных обеспечивают одновременную двухстороннюю передачу сообщений между абонентами, т.е. позволяют вести переговоры. Для этого каждый абонент должен иметь как передатчик, так и приемник, связанные между собой двумя каналами связи, один из которых обеспечивает передачу сигналов в одном направлении, а другой – в другом (обратном) направлении. Упрощенная структурная схема таких систем приведена на рис. 1.10.

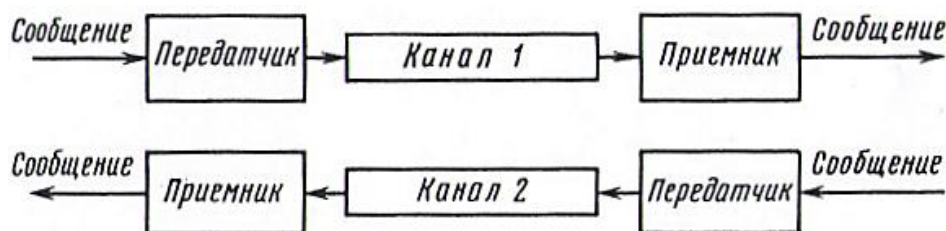


Рис. 1.10. Структурная схема системы электросвязи

Как видно из рис. 1.10, система состоит из двух подсистем, каждая из которых обеспечивает передачу сообщений в одном направлении.

Системы звукового и телевизионного вещания, а также передачи газет обеспечивают одностороннюю передачу сообщений, предназначенных одновременно для большого числа абонентов. Каждый слушатель или группа слушателей, находящиеся у одного приемника, пользуются «своей» системой связи, состоящей из передатчика, канала связи и приемника.

Системы телефонной связи предназначены для передачи на расстояние звуковых сообщений, создаваемых голосовыми связками и воспринимаемых органом слуха человека. Поэтому в качестве передатчиков используются устройства, которые преобразуют звуковые колебания, происходящие в воздушном пространстве, в электрические сигналы, передаваемые на расстоянии. Такие акустоэлектрические преобразователи называются микрофонами.

В телефонных системах чаще всего применяются угольные микрофоны, в которых основным функциональным элементом является угольный порошок, заполняющий пространство между двумя электродами (рис. 1.11).

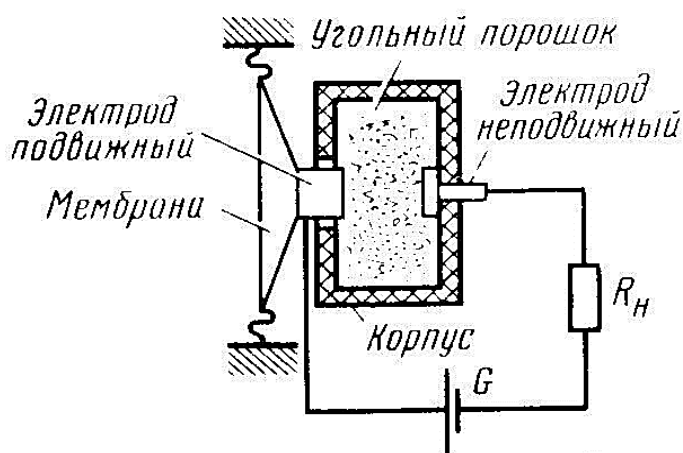


Рис. 1.11. Устройство угольного микрофона

Один из электродов неподвижен, второй совместно с мембраной совершает колебательные движения, соответствующие изменению звукового давления. При этом изменяется плотность порошка, что приводит к определенному изменению его электрического сопротивления. В результате по цепи будет протекать электрический ток – сигнал, параметры которого будут изменяться аналогично изменению параметров звукового сообщения.

Приемник в системе телефонной связи выполняет обратное преобразование электрических сигналов в звуковые колебания. Такой электроакустический преобразователь называется телефоном (рис. 1.12).

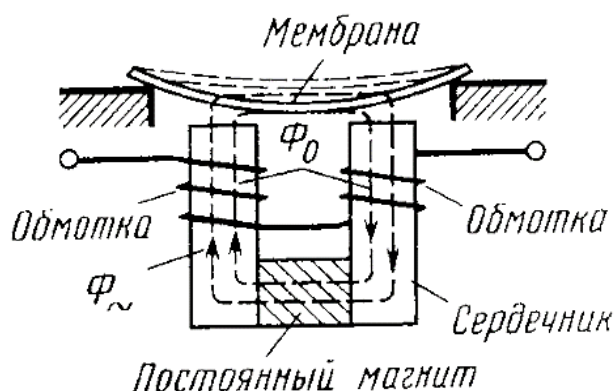


Рис. 1.12. Устройство телефона

В телефоне имеются электромагнит, состоящий из сердечника с обмоткой, и подвижный элемент – металлическая мембрана. На обмотку подается сигнал, под влиянием которого создается магнитное поле, притягивающее мембрану к сердечнику. Сигнал непрерывно меняется, и мембрана совершает колебательные движения. Эти движения мембраны приводят к колебаниям частиц окружающего воздуха, которые воспринимаются ухом человека как звук.

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

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

Системы звукового вещания обеспечивают одностороннюю передачу звуковых сообщений от источника до большого числа слушателей, рассредоточенных в пространстве. В зависимости от технических средств, используемых для этого, различают системы радиовещания и проводного вещания.

В системах радиовещания сигналы передаются по радиоканалу, в котором средой распространения является открытое пространство. *Радиоканал* образуется из радиопередатчика, передающей антенны, приемной антенны и радиоприемника.

Радиопередатчик преобразует первичный низкочастотный сигнал на выходе микрофона в высокочастотный сигнал, излучаемый передающей антенной в окружающее пространство в виде электромагнитных волн. Можно получить излучение при любой частоте, однако для эффективного излучения отношение линейного размера антенны к длине волны должно быть порядка единицы. Для низких частот это приводит к технически неприемлемым размерам антенн. Верхняя граница спектра первичного сигнала на выходе микрофона не превышает 15...20 кГц, что соответствует длинам волн 15...20 км, поэтому в системах радиовещания применяются высокие частоты, позволяющие получить эффективное излучение при помощи антенн приемлемых размеров.

В системах проводного вещания сигналы звукового вещания доставляются до слушателей по так называемым проводным каналам, использующим в качестве среды распространения специальные направляющие устройства – проводные линии передачи. Иногда часть канала реализуется радиотехническими средствами, а часть – проводными. При этом сообщения также преобразуются в сигнал с помощью микрофона, устанавливаемого в специальных помещениях-студиях. Передача сигналов между микрофоном и приемником осуществляется по проводам, проходящим через специальные узлы проводного вещания.

Сообщения, передаваемые по системам факсимильной связи, представляют собой неподвижные изображения, выполненные на специальных носителях определенного формата, таких как бумага, пленка и др.

Передатчик 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 или 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 «облачко» электронов.

Фотоэлектрические преобразователи, использующие это явление, называются **фотоэлементами**.

На рис. 1.13 фотоэлемент имеет два электрода, помещенных в стеклянный баллон, из которого откачан воздух. Электроды могут быть различными по конструкции. На рисунке они изображены в виде плоских металлических пластин, расположенных параллельно друг другу в вакуумном пространстве баллона. Один из электродов (фотокатод) покрыт слоем вещества, обладающего свойством внешнего фотоэффекта. Если к электродам подключить источник ЭДС так, чтобы «-» был соединен с фотокатодом, а «+» со вторым электродом (анодом), то заряженные отрицательно электроны будут двигаться от катода к аноду. Это направленное движение электронов замыкается по цепи фотоэлемента и представляет собой электрический ток (фототок), величина которого пропорциональна интенсивности светового потока, падающего на фотокатод.

Фототоки в цепях фотоэлементов очень слабы, поэтому их необходимо усиливать. Более мощными фотоэлектрическими преобразователями являются фотоэлектронные умножители (ФЭУ), широко применяемые в современных факсимильных системах связи.

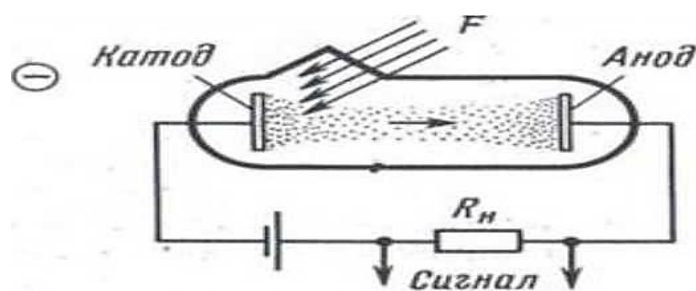


Рис. 1.13. Фотоэлемент

Преобразование изображений в электрический сигнал с помощью фотоэлектрических преобразователей выполняется поэлементно. Для этого поверхность бланка с изображением разбивается на большое число маленьких участков, называемых элементарными площадками (рис. 1.14). Размеры площадок выбираются с таким расчетом, чтобы отражательная способность в их пределах была однородной, т.е. характеризовалась одним значением коэффициента отражения. Далее элементарные площадки поочередно освещаются источником света через специальные линзы.



Рис. 1.14. Разложение изображения на элементарные площадки

Световой поток, отраженный от каждой площадки, собирается с помощью 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 с помощью специальных развертывающих устройств. В результате в цепи фотоэлектрического преобразователя получается изменяющийся во времени сигнал $u(t)$. Такое поэлементное и последовательное преобразование изображения в сигнал называется анализом изображения. Соответственно передатчик факсимильной системы (рис. 1.15) называется анализирующим устройством.

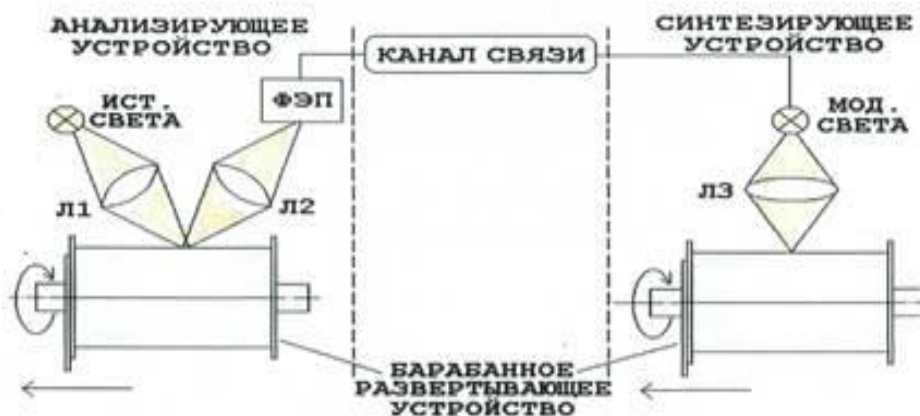


Рис. 1.15. Структурная схема факсимильной связи

Анализирующее устройство состоит из светоптической системы, фотоэлектрического преобразователя ФЭП и развертывающего устройства.

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, такие как карандаши, ролики, шарики, трубочки, способные оставлять след на бумаге. При этом работой пишущего устройства управляет сигнал, обеспечивая касание пишущего элемента с определенными участками бланка.

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

К третьей группе относятся способы, в которых процесс преобразования сигнала в изображение состоит из двух этапов. Вначале электрический сигнал, получаемый из канала, преобразуется в световой сигнал, который затем фиксируется на светочувствительном материале.

Телевизионная связь предназначена 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.

На рис. 1.16 приведена упрощенная схема одной из передающих трубок (видикона). В стеклянном вакуумном баллоне трубки расположены два своеобразных электрода – электронный прожектор и мишень. Прожектор создает электронный луч, направленный в сторону мишени. Поперечное сечение луча формируется фокусирующей системой (ФС).

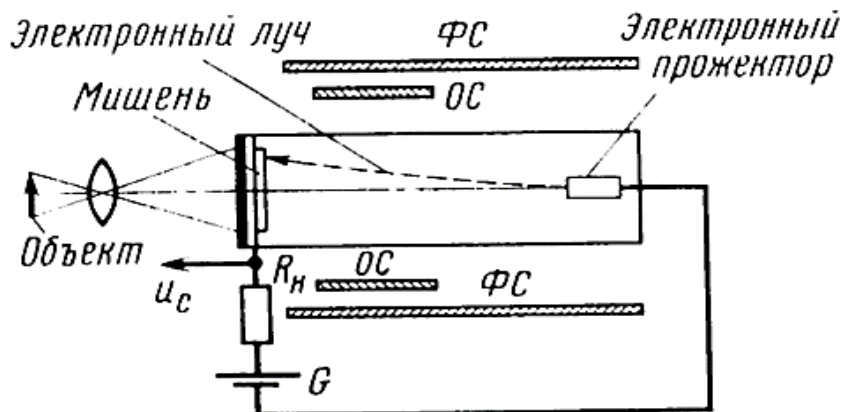


Рис. 1.16. Передающая телевизионная трубка (видикон)

Направление луча, определяющее место его встречи с мишенью, задается отклоняющей системой (ОС). Источник напряжения G , прожектор, электронный луч, мишень и нагрузка (резистор R_M) образуют электрическую цепь. Мишень имеет два слоя. Первый является прозрачным для света и обладает постоянной электропроводностью. Второй, обращенный к прожектору, изготавливается из вещества, обладающего внутренним фотоэффектом. Движущееся изображение проецируется на мишень с помощью объектива. При этом отдельные участки мишени освещены по-разному, поэтому вследствие внутреннего фотоэффекта будут иметь разную электропроводность. Ток в цепи будет пропорционален электропроводности участка мишени, которого в данный момент касается электронный луч. Отклоняющая система трубки обеспечивает безынерционное перемещение электронного луча по горизонтали и вертикали. Тем самым обеспечивается последовательное преобразование лучистой энергии, отраженной от участков подвижного изображения, в сигнал, который принято называть видеосигналом.

На рис. 1.17 изображена структурная схема систем телевизионного вещания. Телевизионные сигналы, как правило, передаются по радиоканалу. Радиоканал содержит телевизионный радиопередатчик $РПер$. Передающую антенну, среду распространения радиоволн, приемную антенну и телевизионный радиоприемник $РПр$. Спектр видеосигнала содержит низкие частоты, поэтому его невозможно передать в открытом пространстве. Преобразование видеосигнала в радиочастотный сигнал, способный излучаться передающей системой в окружающее пространство в виде радиоволн, осуществляется в телевизионном радиопередатчике.

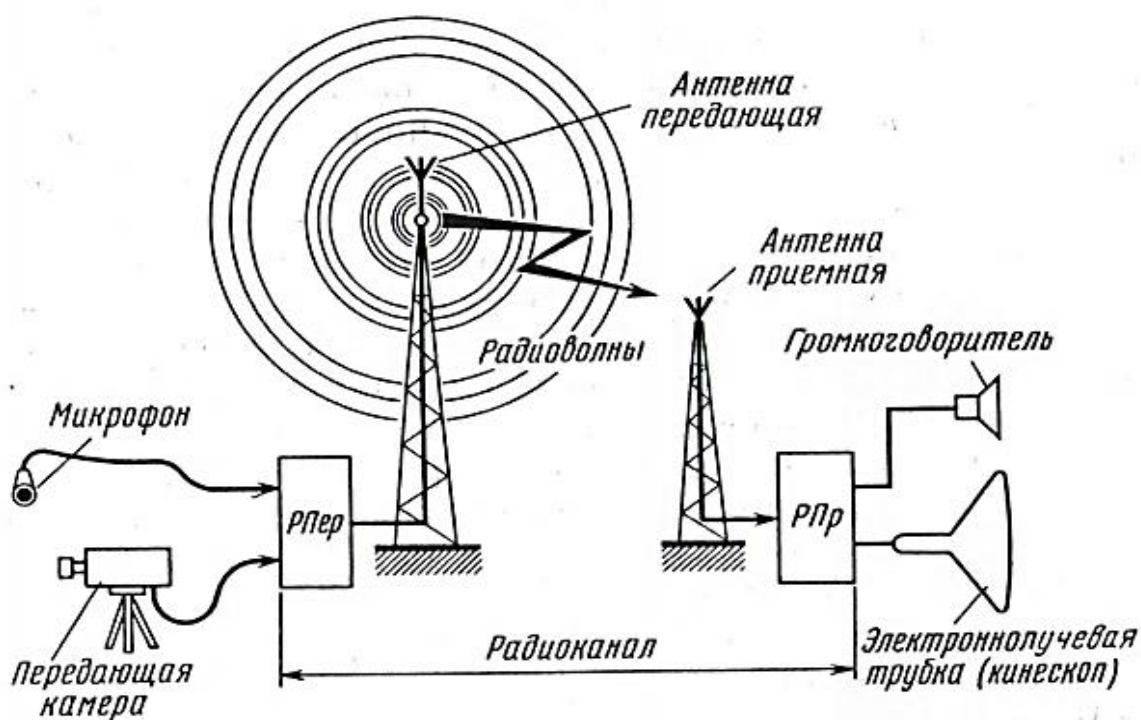


Рис. 1.17. Структурная схема систем телевизионного вещания

На рис. 1.18 приведена упрощенная схема, поясняющая устройство приемной телевизионной трубки (кинескопа). Слой люминофора нанесен на внутреннюю поверхность широкой части стеклянного баллона. Электронный луч создается прожектором, формируется и ускоряется специальными электродами (на рисунке не показаны). Интенсивностью электронного луча управляет видеосигнал.

Луч направляется на люминофор и высвечивает поэлементно строку за строкой. Движение луча по горизонтали и вертикали задается отклоняющей системой. Поскольку интенсивность луча изменяется в соответствии с изменением сигнала, яркость свечения каждой строки будет изменяться. Ввиду большой скорости перемещения луча по строкам и определенной инерционности зрения человек наблюдает на экране цельное оптическое изображение.

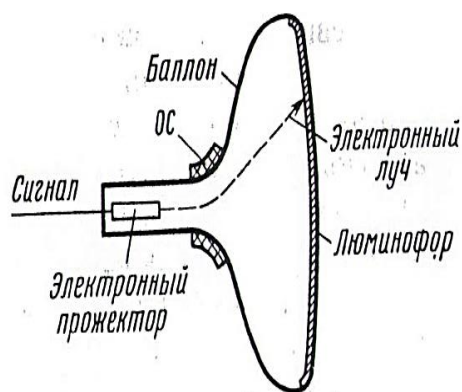


Рис. 1.18. Приемная телевизионная трубка (кинескоп)

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

Системы телеграфной связи предназначены для двухсторонней передачи дискретных сообщений. При этом на каждом конце системы необходимо иметь передатчик и приемник. Эти два устройства обычно конструктивно объединяются и образуют устройство, называемое оконечным телеграфным аппаратом. Следовательно, телеграфная связь реализуется системой, состоящей из двух оконечных телеграфных аппаратов, соединенных каналом связи. В системах передачи дискретных сообщений используется кодовый метод преобразования в сигнал и обратно. Смысл этого метода 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 состоят из двух различных элементов – *точка* и *тире*.

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 определенной последовательности. Вначале элементы сигнала поочередно принимаются, преобразуются в элементы кодовой комбинации и запоминаются. Затем определяется знак, соответствующий принятой кодовой комбинации, т.е. выполняется операция, обратная кодированию, называемая декодированием. Процесс приема заканчивается записью знака на бумаге. Все перечисленные операции выполняются специальными устройствами приемной части оконечных телеграфных аппаратов.

В системах передачи данных используют условный метод преобразования сообщений в сигнал и обратно.

Одна часть аппаратуры передачи данных (АПД), выполняющая различные преобразования сигналов при передаче, размещается на передающем, а вторая, обеспечивающая прием, корректировку и другие преобразования сигналов и кодовых комбинаций, – на приемном конце системы передачи данных.

Системы передачи данных используют двухсторонний канал; обратный канал используется для борьбы с ошибками. На рис. 1.19 приведена схема системы передачи данных для передачи сообщений в одном направлении (слева направо).



Рис. 1.19. Структурная схема системы передачи данных

Существуют специальные системы, отличающиеся по устройству от описанных ранее устройств. К ним относятся системы телеметрии (телеизмерений), телесигнализации, телеуправления, радиолокации, радионавигации и др.

Системы телесигнализации и телеуправления предназначены для передачи специальных сообщений – приказов на отдаленные или недоступные объекты из центра управления. Сообщения при этом имеют дискретный характер и представляют собой, как правило, цифровые данные. В передатчиках этих систем сообщения с помощью кодов преобразуются в дискретные сигналы, передаваемые по каналу связи. Приемники в соответствии с принятыми сигналами производят автоматическое включение устройств, выполняющих определенные функции по сигнализации, регулированию, настройке и управлению различными процессами.

Системы телеметрии, телесигнализации и телеуправления часто работают взаимосвязано, образуя комплексы, получившие названия автоматизированных систем управления (АСУ). Сегодня автоматизированные системы управления имеют самое широкое применение на различных уровнях управления экономикой страны.

Электросвязь широко используется для обнаружения неподвижных и подвижных объектов при отсутствии видимости или большой удаленности, для наблюдения, измерения и исследования параметров движения или процессов, происходящих на объектах. Это направление развития электросвязи получило название **радиолокация**.

Принцип **радиолокации** основан на приеме отраженных от наблюдаемых объектов радиоволн, излучаемых передатчиком. Излучение и прием радиоволн производятся остронаправленной антенной. При этом положение антенны будет указывать направление на цель, а дальность до цели будет определяться скоростью распространения радиоволн ($3 \cdot 10^8$ м/с) и временем, прошедшим с момента излучения импульса до приема отраженной волны. Именно эти отраженные волны фиксируются приемной частью радиолокационной системы и используются для получения нужной информации.

Электросвязь применяется также для определения кораблями, самолетами и другими объектами своего местоположения на поверхности Земли или в космосе. Эти задачи выполняют специальные системы электросвязи, называемые радионавигационными. Они состоят из двух или нескольких стационарных и постоянно работающих радиопередающих стан-

ций с известными координатами расположения, называемых радиомаяками. Бортовые радиоприемные и другие устройства по сигналам, принимаемым от радиомаяков, определяют местоположение подвижного объекта. Например, объекту O , изображенному на рис. 1.20, для определения своего положения относительно радиомаяков M_1 и M_2 достаточно определить величины углов α_1 и α_2 .

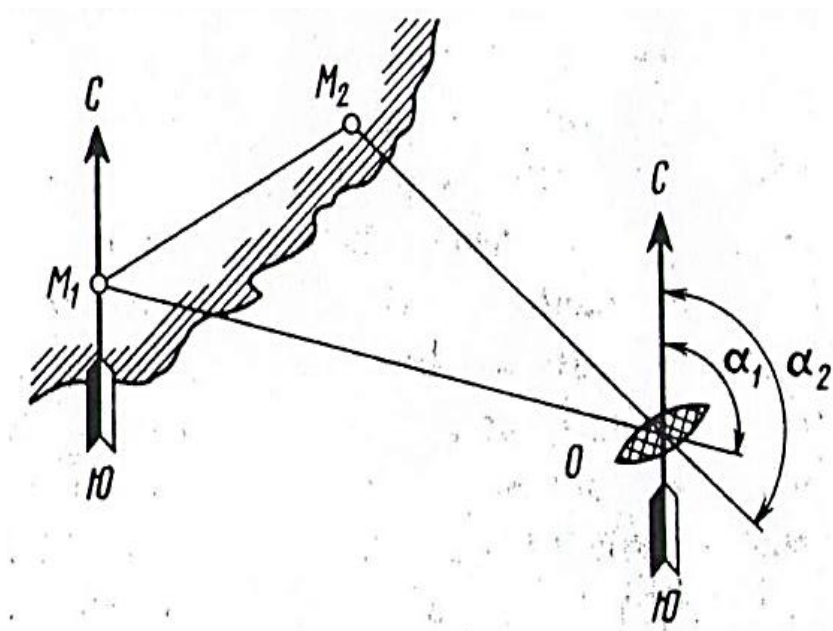


Рис. 1.20. Принцип радионавигации

Во многих отраслях народного хозяйства применяются специальные промышленные телевизионные системы, улучшающие условия, обеспечивающие безопасность и повышение производительности труда.

2 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ И СИСТЕМ СВЯЗИ

2.1 Предыстория электросвязи

Первобытное общество могло сформироваться только путем непосредственного трудового и речевого общения. По мере развития человеческого обществу нужны были такие средства связи, которые позволяли бы передавать информацию на большие расстояния и в кратчайшие сроки. Этого требовало развитие производительных сил и расширение торговых и других контактов между людьми. Эти потребности возникли уже в первобытном обществе, поэтому вся история человеческого общества неразрывно связана с историей развития средств связи.

На заре человечества, когда не было еще письменности, когда человек пользовался примитивными орудиями труда, необработанный камень или палка могли послужить и первыми техническими средствами связи. Удары ими по какому-нибудь гулкому предмету – прекрасный способ звуковой сигнализации, который можно было использовать в тех случаях, когда голоса не хватает, чтобы предупредить своего ближнего о грозящей опасности.

Звуковая сигнализация явилась, по-видимому, исторически первым техническим средством связи.

Вместе со звуковой сигнализацией родилась идея кодирования передаваемой информации: частые удары – «тревога!», редкие удары – «все спокойно».

Шли века, совершенствовались средства звуковой сигнализации, усложнялись способы кодирования информации. Барабаны и свистки, колокола и гудки, звонки и сирены используются и по сей день.

Огонь, предмет поклонения древних народов, вырвал человека из тьмы, холода и относительного одиночества. Увидеть днем дым, а ночью огонь костра можно значительно дальше, чем услышать дробь барабана. Именно поэтому на смену и в дополнение к звуковой сигнализации пришла сигнализация оптическая, т.е. сигнализация, основанная на дистанционной зрительной регистрации световых сигналов.

Уже первые примитивные средства сигнализации поражали воображение людей. Неудивительно поэтому, что даже поэты не обходили вниманием технические средства связи.

Древнегреческий поэт *Эсхил* не одну строфу посвятил вестовому огню, т.е. огню, предназначенному специально для передачи вестей.

Сигнальный дым костра упомянут и древнегреческим историком *Геродотом*, описавшим торговлю Карфагена с Ливией в середине первого тысячелетия до нашей эры.

Дальность оптической сигнализации возрастает, если сигнальный огонь поднять выше. И для сигнальных костров и факелов стали строить высокие сигнальные башни. Изображения таких башен с факелами мы находим на остатках сооружений древнего Рима.

Выдающимся достижением античной культуры явился *оптический телеграф*, который позволял дистанционно передавать любые тексты. Две его разновидности – водяной и факельный телеграфы – описаны древнегреческим историком *Полибием*.

Водяной телеграф, изобретенный *Энеем Тактиком* в IV в. до н. э., остроумен по замыслу. Каждая из сигнальных башен – передающая и приемная оборудовались идентичными сигнальными сосудами, дополняющими сигнальные факелы.

Передача сообщения в водяном телеграфе происходила с помощью сигнального сосуда, имеющего перекрываемое выпускное отверстие в нижней части. В сосуд, заполненный водой, помещался пробковый поплавок, на котором укреплялась разграфленная линейка. В каждой ее графе находился определенный текст. Это позволило расширить количество передаваемых сообщений, хотя оно и оставалось ограниченным.

Для передачи сообщения каждый сигнальный сосуд наполняли водой доверху. Сигналом вызова, оповещающим о предстоящей передаче, служил факел, зажженный на одной из башен. Наблюдатель на второй башне, заметив вызов, зажигал свой факел. По этому сигналу оба наблюдателя одновременно открывали выпускные отверстия сосудов, после чего факелы убирали. Когда на опускающейся линейке графа с нужным сообщением достигала верхнего края сосуда, первый наблюдатель сигнализировал факелом. По этому сигналу второй наблюдатель закрывал выпускное отверстие сосуда, в котором поплавок с линейкой опустился до того же уровня. Телеграмма принята!

Но та ли телеграмма будет принята, если уровень воды в сигнальных сосудах будет изменяться неодинаково? А такая ситуация возможна, например, если сосуды не одинаковые или, когда в одном из сосудов имеется утечка воды. В этом случае мы впервые сталкиваемся на практике сразу с двумя проблемами, возникшими на заре техники связи, но оставшимися актуальными и в наши дни. Обе эти проблемы сводятся к сохранению информации, передаваемой по каналу связи.

Первая проблема возникает, когда передаваемая информация нарушается за счет несовершенства самого канала связи. Это проблема предотвращения искажений сигнала, несущего информацию, тех искажений, которые возникают при неправильных значениях параметров канала связи.

Неправильные же значения параметров могут получиться и по вине инженера-исследователя, который не заметил, что скорость истечения воды из сигнальных сосудов будет разной при неодинаковой их форме, и по вине инженера-конструктора, который спроектировал сигнальный сосуд с таким быстрым истечением воды, что наблюдатель на приемной башне не успевает вовремя перекрыть выпускное отверстие, и по вине инженера-

технолога, который не обеспечил повторяемости формы и размеров отверстий при производстве сигнальных сосудов, и по вине инженер-эксплуатационника, который, возможно, один из сигнальных сосудов установил наклонно или залил в сосуд непроцеженную воду, вследствие чего засорилось выпускное отверстие.

Вторая проблема возникает, когда передаваемая информация нарушается за счет влияния различных помех. Это проблема обеспечения помехоустойчивости канала связи, той помехоустойчивости, которая гарантирует правильный прием телеграммы при наличии помех. Такие помехи могут возникнуть как внутри канала связи, так и вне него.

Виновником низкой помехоустойчивости канала связи может быть и инженер-эксплуатационник, который не прикрыл сигнальный сосуд от дождя, и инженер-технолог, выпустивший сигнальные сосуды с трещинами, через которые утекает вода, и инженер-конструктор, который не снабдил сигнальные башни визирной трубкой для наблюдения сигнальных факелов, устраняющей влияние посторонних огней, и инженер-исследователь, не сумевший найти такой способ кодирования информации, который обеспечил бы минимальное влияние на сигнал различных случайных помех.

Если бы Эней Тактик закодировал передаваемые сообщения не целыми фразами, а отдельными буквами, расположенными в разных графах линейки, то он не только расширил бы возможности своего телеграфа для передачи произвольных сообщений, но и возросла бы помехоустойчивость его телеграфа, так как искажение одной или даже нескольких букв в тексте может не помешать правильному восприятию смысла сообщения.

Однако при таком изменении кодирования резко снизилась бы скорость передачи сообщений. И сейчас существует противоречие между требованиями высокой скорости передачи сообщений и высокой помехоустойчивости канала связи. Приходится чем-то жертвовать либо идти на компромисс, либо изыскивать новые решения проблемы.

Оптимальную для своего времени систему оптического телеграфа изобрели в III в. до н. э. александрийские инженеры *Клеоксен* и *Демоклит*.

Для передачи буквы выставлялись две факельные группы, первая из которых означала номер ряда в алфавитной таблице, а вторая – номер буквы в ряду. За факелами наблюдали в приемном пункте с помощью пары соответственно направленных визирных труб.

Система кодирования букв в факельном телеграфе является прообразом современной *регистровой системы передачи* телеграфных знаков.

Регистровая система кодирования заключается в том, что в разных регистрах один и тот же передаваемый знак имеет разное смысловое значение. Для различения смысла переданного знака его передаче должна предшествовать передача регистрового символа, указывающего номер регистра. В факельном телеграфе пять рядов букв в алфавитной таблице как раз и соответствуют пяти регистрам по современной терминологии.

В факельном телеграфе помехоустойчивость была выше, чем в водяном. В то же время он обеспечивал и достаточную скорость передачи лю-

бых сообщений. Эти его достоинства были обусловлены и рациональной конструкцией, и рациональным кодированием передаваемых сообщений. Именно этим объясняется то, что факельный телеграф без существенных изменений использовался на протяжении ряда веков.

В Римской империи факельный телеграф применяли для дальней передачи сообщений по цепочке сигнальных башен, которые можно считать предками современных радиорелейных линий связи.

Дальнейшее совершенствование оптического телеграфа связано с использованием вогнутых зеркал и подзорных труб, появившихся в эпоху Возрождения. Эти приспособления позволили увеличить помехоустойчивость оптического телеграфа. Новые же способы кодирования оптических сигналов еще предстояло изобрести.

Французский инженер *Клод Шанн* после ряда попыток в 1781 г. сконструировал удачную телеграфную систему, включающую в себя и новый способ кодирования передаваемых сообщений.

Оптический телеграф Шаппа состоял из трех сигнальных планок. Различным положениям планок соответствовало различное значение передаваемых знаков. В этом заключалась система кодирования сообщений.

Первая линия такого телеграфа Париж – Лилль (протяженностью около 225 км) с 22 приемно-передающими пунктами вступила в строй в конце 1794 г. Передача одного знака по этой линии занимала около 2 мин. Аналогичные линии были построены не только во Франции (например, Париж – Тулон протяженностью свыше 1000 км), но и в ряде других стран, в том числе Италии, Испании, Германии, Индии, Египте, России и др. В Англии использовалась другая система воздушного телеграфа, разработанная Мурреем.

Интересно отметить, что в 1794 г. русский механик-самоучка И. П. Кулибин усовершенствовал оптический телеграф, упростив привод к сигнальным планкам и изменив сигнальный код. Однако телеграф Кулибина не был применен и нашел свое место лишь в Кунсткамере. На линии Санкт-Петербург – Варшава (1200 км) в 1839 г. был установлен телеграф системы Шаппа, однако в скором времени на смену ему пришёл телеграф электрический.

2.2 Рождение и развитие электросвязи

Несмотря на то что электрические и магнитные явления наблюдались еще в глубокой древности, их изучение и использование началось относительно недавно. В XVIII в. научились добывать электричество с помощью электростатических машин. В 50-х годах XVIII в. пытались осуществить электрическую связь, известны, например, опыты с электроскопами женева физика Жоржа Л.

Однако эти опыты были неудачными. Для осуществления электрической связи нужен электрический ток, который был еще неизвестен в те годы. В 1800 г. итальянский ученый *А. Вольт* изобрёл первый электрохимический источник постоянного тока. И уже в 1801 г. испанский инженер *Франциско Сальва* попытался создать электрохимический телеграф. В 1809 г. баварский анатом *С. Т. Земмеринг* представил Мюнхенской академии наук свой проект электрохимического телеграфа. Этот проект и получил наибольшую известность.

В телеграфе Земмеринга, как и раньше, использовался сигнальный сосуд, но с водой не простой, а подкисленной. В сосуде размещались электроды. Сигнал о виде электрического тока посылался по проводам и обнаруживался по пузырькам газа, выделявшимся на электродах при электролизе подкисленной воды. Но регистрация сигналов с помощью пузырьков и неудобна, и ненадежна. О кодировании сигналов Земмеринг поначалу не догадывался: в его телеграфе для каждой буквы алфавита был отдельный сигнальный сосуд со своей телеграфной линией. Проект был сдан в архив, хотя впоследствии количество сосудов и было сокращено. Для электрической связи нужен был не только ток, но и удобный способ регистрации сигналов.

В 1820 г. датский ученый Ганс-Христиан Эрстед открыл магнитное действие тока. В том же году французский физик Андре Мари Ампер нашел, как усилить действие тока на магнитную стрелку: для этого надо провод намотать спиралью. Датой рождения электромагнитного телеграфа можно считать 1832 г., когда русский офицер, герой Отечественной войны 1812 г. *Павел Львович Шиллинг* продемонстрировал в Петербурге работу изобретенного им устройства связи (рис. 2.1).

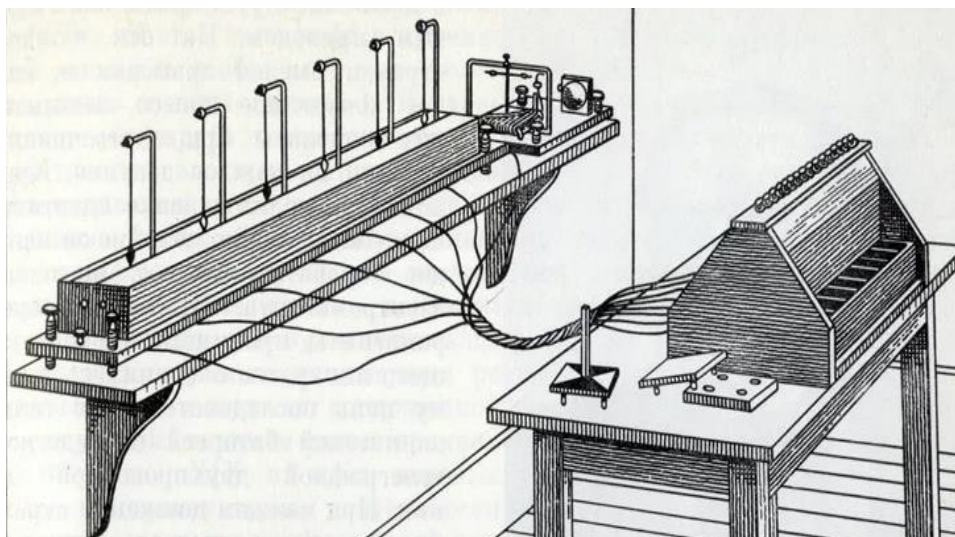


Рис. 2.1. Электромагнитный телеграф Шиллинга

Первой отличительной особенностью этого устройства являлось использование магнитного действия тока. Вторая отличительная особенность

телеграфа Шиллинга – применение комбинационного кода. По современной терминологии такой код может быть назван параллельным (одновременная передача кодовых знаков), шестизначным или шестиэлементным (шесть кодовых знаков) и бинарным (каждый кодовый знак имеет одно из двух значений). Впоследствии, усложнив код, П. Л. Шиллинг обходился одной стрелкой и одной парой проводов. Затем появилось много модификаций стрелочного телеграфа, которые находили практическое применение.

В конструкциях стрелочных телеграфных аппаратов различных авторов были и удачные находки, такие как электромагнитное реле *Ч. Уитстона* и однопроводная система передачи *К. А. Штейнгеля*. Реле служило для своеобразного усиления слабых токов, позволяя с их помощью коммутировать (включать и выключать) цепь с относительно большим током. Однопроводная же линия связи упрощала соединение передающей и приемной станций.

В такой линии один из пары проводов был убран и заменен заземлением закопанными в землю металлическими пластинами, к которым были присоединены освободившиеся концы проводов на передающей и приемной станциях. При использовании заземления ток течет только по одному проводу линии связи, а избыток зарядов на передающей и приемной станциях стекает в землю.

Стрелочный телеграф имел ряд недостатков, в частности он не позволял автоматически записывать принятые сигналы. Несмотря на это, даже в конце XIX и начале XX в. он использовался для передачи команд на больших кораблях.

Для создания самопишущего электромагнитного телеграфа нужны были новые идеи. Пришли они, однако, не от ученых и не от инженеров.

Новая идея родилась у американского художника *Сэмуэля Ф. Б. Морзе*, который в 1837 г. изобрел конструкцию самопишущего телеграфного аппарата. В следующем году С. Морзе разработал и код для своего телеграфа. В разработке конструкции аппарата и телеграфного кода Сэмуэлю Морзе оказывал помощь американский эксперт *Альфред Вейл*. Наконец-то телеграф оправдал свое название и стал писать на расстоянии.

В 1844 г. первая коммерческая телеграфная линия системы Морзе соединила столицу США Вашингтон с Балтимором на атлантическом побережье. И с тех пор электромагнитный телеграф начал свое победное шествие по всем странам мира. Этот успех был обусловлен как широкими возможностями самопишущей телеграфии, так и простотой конструкции нового телеграфного аппарата в сочетании с простотой *азбуки Морзе*.

Принципиальная схема телеграфной линии с самопишущим аппаратом электромагнитного типа и телеграфный ключ показаны на рис. 2.2.

Телеграфная система Морзе позволяла увеличить скорость передачи до десятков букв в минуту (около 15 слов в минуту).



Рис. 2.2. Схема телеграфа С. Морзе

Следующий этап в становлении телеграфа заключался в объединении телеграфа и пишущей машинки. Вместо телеграфного аппарата, пишущего азбукой Морзе, получился буквопечатающий телеграфный аппарат. Такие аппараты разных конструкций были изобретены в 1850 г. Академиком *Б. С. Якоби* (рис. 2.3), в 1855 г. американским физиком *Д. Э. Юзом*, в 1872 г. французским механиком Жаном М. Э. Бодо. Аппарат Юза давал двукратный, а аппарат *Ж. Бодо* – десятикратный выигрыш в скорости передачи по сравнению с аппаратом С. Морзе.



Рис. 2.3. Буквопечатающий телеграфный аппарат

Чтобы понять принцип работы буквопечатающей телеграфии, представим себе два вращающихся диска (рис. 2.4).

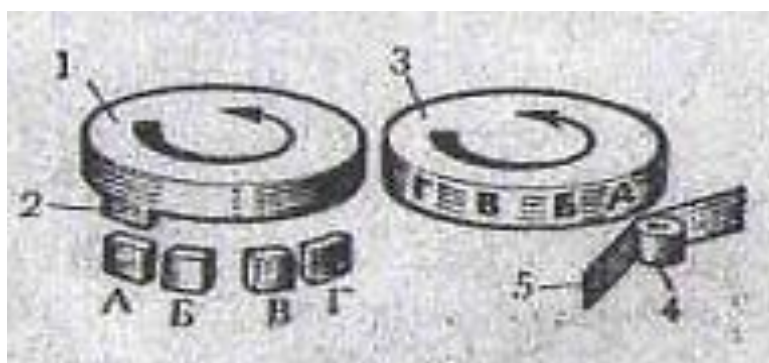


Рис. 2.4. Принцип работы буквопечатающего телеграфа

Контактный диск 1, находящийся на передающей станции, снабжен контактными выступами 2, который расположен с некоторым зазором над контактами А, Б, В, Г и т.д. (по числу передаваемых символов). Литерный диск 3; находящийся на приемной станции, имеет выпуклые литеры (подобные литерам на печатающих рычагах пишущей машинки), которые при вращении диска смачиваются краской. Перед этим диском расположен с некоторым зазором ролик 4, вокруг которого натянута бумажная лента 5. Контактный и литерный диски вращаются с одинаковой скоростью (делая, например, два оборота в секунду), причем так, что литеры А, Б, В, Г и т.д. проходят перед роликом 4 как раз в тот момент времени, когда контактный выступ 2 проходит над контактами А, Б, В, Г и т.д. (такое вращение называется синхронным и синфазным).

На передающем пункте имеется клавиатура (как и на пишущей машинке), связанная системой рычагов с контактами А, Б, В, Г. При нажатии некоторой клавиши соответствующий контакт приподнимается. Если клавиша нажата хотя бы в течение полусекунды, то контактный выступ 2 успеет за то время один раз прикоснуться к приподнятому контакту. При этом замыкается цепь батареи, ток от которой поступает по линии связи на приемный пункт. Здесь ток проходит через обмотку реле, подключающего местную батарею к электромагниту, якорь которого через систему рычагов прижимает ролик 4 вместе с лентой 5 к диску 3, и не просто к диску, а как раз к нужной букве. Буква отпечаталась, и при обратном ходе ролика бумажная лента через лентопротяжный механизм перемещается на одну позицию, аппаратура готова к передаче и приему следующего сигнала.

В современных системах буквопечатающей телеграфии используется для передачи разных символов специальный трехрегистровый пятизначный код. Такой же код используется при информации в ЦВМ.

Телеграф начал рисовать в 1839 г., когда академик Б. С. Якоби создал самопишущий телеграф (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Телеграфный аппарат Якоби

Но по-настоящему рисовать электричество научилось, когда начиная с 1843 г. стали возрождать в новом обличье электрохимический телеграф, который искусно копировал и передавал любые изображения.

Практическое применение получил вариант телеграфа, который изобрёл итальянский аббат *Казелли* и назвал его *пантелеграф*. Принцип действия такого телеграфа прост (рис. 2.6): два железных острия 3 на передающей и приемной станциях движутся синхронно по металлическим поверхностям, прочерчивая на них густую сеть параллельных линий. На передающей станции под острие подкладывают лист металлической фольги 2, на котором токонепроводящими чернилами нанесено передаваемое изображение. На приемной станции под острие подкладывают лист бумаги 15, пропитанный водным раствором железосинеродистого калия. При протекании тока такой раствор разлагается, окрашивая бумагу в синий цвет.

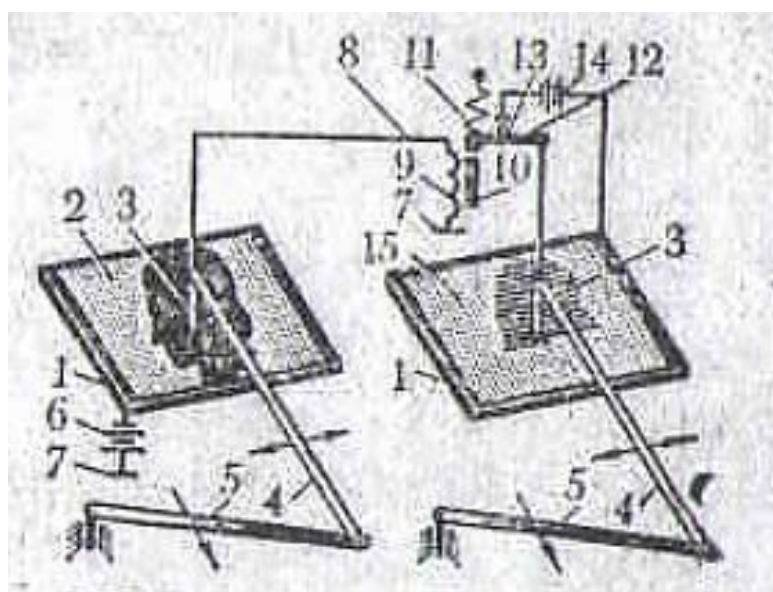


Рис. 2.6. Пантелеграф Казелли

Когда непроводящий участок изображения на фольге 2 разрывает электрическую цепь, в реле на приемной станции замыкаются контакты 13. Таким образом, под действием тока от местной батареи 14 на листе 15 под движущимся металлическим острием остается след в виде параллельных цветных штрихов, воспроизводящих передаваемое изображение.

В современной фототелеграфии считывающее острие заменено оптическим лучом (рис. 2.7), который отражается непосредственно от бумаги с изображением и затем преобразуется фотоэлементом в электрический сигнал.

В приемном фототелеграфном аппарате металлическое острие также заменено оптическим лучом от лампы, которая светится под действием принятого и усиленного электрического сигнала. Этот луч и рисует изображение на фотобумаге. Изменена также кинематика сканирования (перемещения) оптического луча: вместо качания маятника и поворота рычага

использовано вращение барабана вокруг оси 0-0 и его поступательное перемещение вдоль этой оси. При этом линия сканирования луча имеет вид густой спиральной линии.

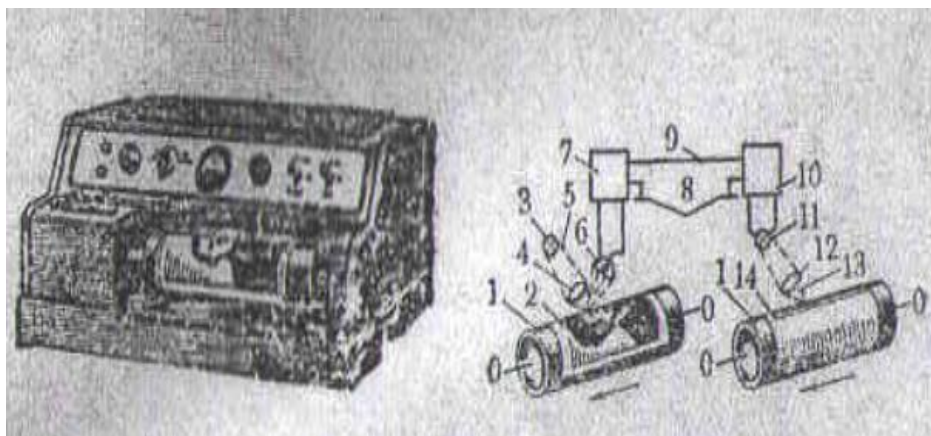


Рис. 2.7. Внешний вид и схема фототелеграфа

Такие изменения существенно повысили быстродействие рисующего телеграфа, а заодно позволили ему рисовать изображения в полутонах. Сам же принцип построения развертки изображения путем его прочерчивания густой сетью параллельных линий остался неизменным и по сей день. Этот принцип применим не только в фототелеграфе, где изображение создается оптическим лучом, но и в телевидении, где изображение образуется с помощью электронного луча.

В 1876 г. американский изобретатель *Александр Белл* запатентовал устройство для передачи речи по проводам – **телефон** (рис. 2.8).

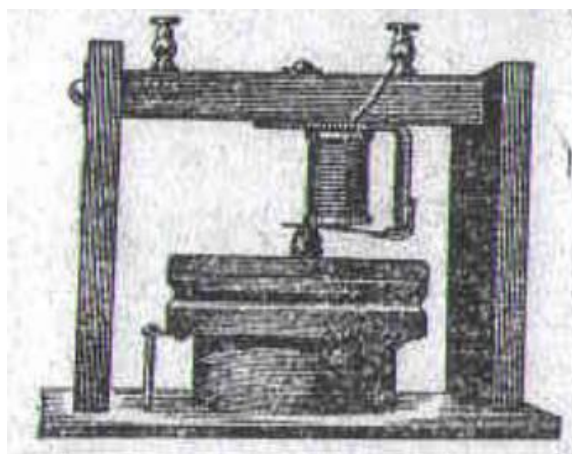


Рис. 2.8. Телефон Белла

В телефоне Белла звук преобразовывался в электрические колебания, которые индуцировались в электромагните вибрирующей металлической жесткой пластинкой, замененной впоследствии гибкой пластинкой – мембраной. Индуцированный ток, а следовательно, и звук были очень слабыми.

Этот недостаток был вскоре устранен. Уже в 1877 г. Д. Э. Юз изобрел стержневой угольный микрофон, а в 1878 г. русский изобретатель *М. Махальский* сконструировал более чувствительный порошковый угольный микрофон. Телефон заговорил в полный голос. Схема такого телефона показана на (рис. 2.9).

На первых порах для телефонной связи использовались телеграфные линии. Но из-за резкого ухудшения качества связи вследствие индуцирования токов от соседних линий пришлось вернуться к двухпроводной линии передачи, в которой помехи, наведенные в каждом из проводов, взаимно компенсировались. Такая линия между Петербургом и Москвой была спроектирована в 1895 г. преподавателем (впоследствии профессором и ректором) Петербургского электротехнического института П. Д. Войнаровским и построена в 1898 г.

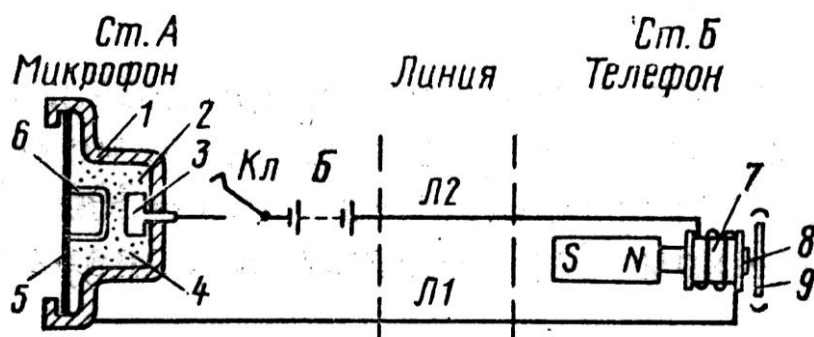


Рис. 2.9. Схема телефона Махальского

В дальнейшем возникла задача телефонизации домов, а вместе с ней и проблема коммутации каналов связи. Коммутация каналов связи достигается соединением отдельных телефонных аппаратов с центральной телефонной станцией, где на время переговоров подключают друг к другу два телефонных аппарата. При этом и громоздкую батарею можно использовать только одну для всех телефонных аппаратов, поставив ее на центральной станции.

Такое предложение было сделано русским изобретателем *П. М. Голубицким*, крупным специалистом в области телефонии. Им были изобретены также разные конструкции чувствительных угольных микрофонов, коммутатор для попарного соединения нескольких телефонных линий и т.д. Благодаря П. М. Голубицкому телефонная связь была внедрена на железной дороге.

Впервые телефонная станция была построена в 1879 г. в Нью-Хейвене (США). В России телефонные станции были открыты в 1882 г. в Петрограде, затем в Москве, Риге, Варшаве и Одессе.

Первые телефонные станции были ручными (РТС): соединения на них производили телефонистки вручную по вызову одного из абонентов. Но одна телефонистка могла обслужить не больше двухсот аппаратов.

Кроме того, на каждое соединение уходило слишком много времени. Потребовалось автоматизировать процесс коммутации. И уже в 1879 г. американские изобретатели *Кеннеди* и *Т. И. Мак-Тай* запатентовали устройство, в котором сигналы вызывающего абонента управляли автоматом, установленным на центральной станции: автоматический коммутатор, осуществлял поиск нужного абонента и соединение с ним.

Затем для телефонного аппарата был изобретён номеронабиратель. С его помощью создавалась серия импульсов, посылаемых на автоматическую телефонную станцию (АТС) для управления коммутатором.

В 1887 г. русский инженер *К. А. Мосцицкий* предложил оригинальную конструкцию релейной АТС. Первая АТС была открыта в 1900 г. в Нью-Бедфорде (США).

Однако на первых порах АТС были далеки от совершенства и являлись редкостью. Повсеместное их строительство началось лишь в 20-е годы XX в. В Риге, например, первая АТС была сдана в эксплуатацию в 1926 г. В Советском Союзе первая АТС отечественного производства была построена в 1929 г. в Ростове-на-Дону.

В XIX столетии трансатлантические телеграфные кабели уже соединили (в 1858, 1866 и 1898 гг.) европейский и американский континенты. Однако проводная связь не могла удовлетворить запросы быстро растущей промышленности, торговли, транспорта и в первую очередь судоходства, поскольку проводная связь с судами вообще не может быть осуществлена. Человечество испытывало острую нужду в беспроводной электрической связи.

Первые опыты по беспроволочному телеграфированию начались с попыток использовать медленно меняющееся магнитное поле. В 80-х годах XIX в. английский инженер *Прис* попытался передать телеграфные знаки Морзе с помощью магнитного поля, возникающего вокруг проводника, когда по нему протекал ток. При этом он использовал явление электромагнитной индукции, открытое еще в 1831 г. английским физиком *Майклом Фарадеем*.

Однако дальность такой связи не превышала 500...2000 м. Дело в том, что в соответствии с законом *Кулона* и согласно закону *Био-Савара* напряженность электрического и магнитного статических полей убывает в свободном пространстве пропорционально квадрату расстояния. Вследствие же влияния побочных факторов напряженность таких полей в реальных условиях убывает пропорционально кубу расстояния. Поэтому на больших расстояниях от источника напряженность электрического и магнитного статических полей получается ничтожно малой и связь с их помощью оказывается невозможной.

Дальняя беспроводная связь могла появиться только после открытия электромагнитного поля, представляющего собой совокупность взаимосвязанных переменных полей – электрического и магнитного.

Основные положения теории электромагнитного поля были разработаны математически английским ученым Джеймсом Клерком Максвеллом

и опубликованы в 1873 г. Впервые экспериментально электромагнитные волны наблюдал немецкий физик Генрих Герц, который опубликовал результаты своих опытов в 1888 г. Эксперименты Герца показали способность электромагнитных волн преломляться на границе двух сред и отражаться от металлических поверхностей.

Английский физик *О. Лодж* применил для обнаружения электромагнитных волн стеклянную трубку с металлическими опилками, названную им когереном. На концах этой трубки помещены контакты, через которые опилки включаются в цепь батареи. Когерер обладает замечательным свойством: его сопротивление электрическому току может меняться под действием электромагнитного поля.

В обычном состоянии проводимость когерера мала вследствие большого переходного сопротивления между отдельными частицами опилок. Но при включении расположенной вблизи индукционной катушки, создающей электромагнитное поле, проводимость когерера значительно ниже электродвижущей силы, под действием которой между частицами возникают электрические разряды, приводящие как бы к «спеканию» опилок. Для восстановления нормального состояния когерера его надо встряхнуть, нарушив связь между частицами опилок.

Вышеперечисленные работы создали предпосылки к созданию радиотелеграфа.

Рождение радио – заслуга талантливого русского ученого *Александра Степановича Попова*.

Первая публичная демонстрация устройства А. С. Попова для приема электромагнитных волн состоялась в Петербурге на заседании Русского физико-химического общества 7 мая 1895 г. Этот день и вошел в историю как день изобретения радио.

Внешний вид приемника с электрическим звонком и схема приемника А. С. Попова показаны на рис. 2.10.

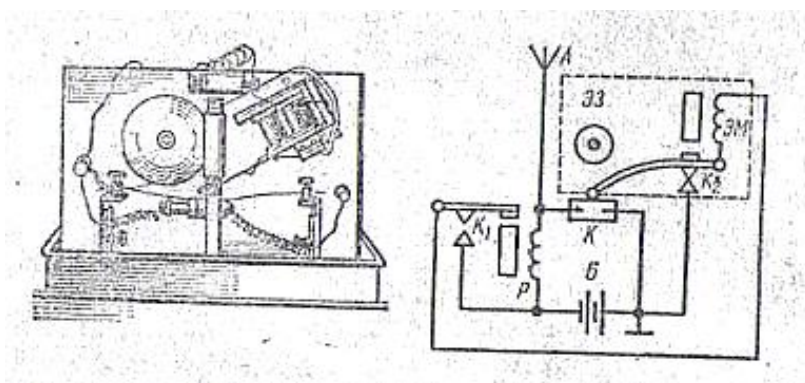


Рис. 2.10. Приемник А. С. Попова

Впоследствии А. С. Попов присоединил к звонку электромагнитный самописец для регистрации грозových разрядов. В другом варианте приемника А. С. Попов присоединил к звонку телеграфный аппарат Морзе, кото-

рый использовал при приеме телеграфных радиосигналов. Наконец, А. С. Попов создал приемник с углесталистым детектором и телефонами для слухового приема радиотелеграфных сигналов, который изготовляла французская фирма «Дюкрете».

В 1899 г. А. С. Попов построил телеграфную радиолинию протяженностью в 43 версты (52 км). Эта радиолиния (рис. 2.11) между о. Гогланд и г. Котка была предназначена для организации спасательных работ по снятию с мели броненосца «Генерал-адмирал Апраксин».

В результате своих дальнейших работ А. С. Попов совместно со своим ассистентом П. Н. Рыбкиным значительно увеличил дальность радиосвязи, доведя ее в 1901 г. до 148 км.

Увеличению дальности радиосвязи способствовало изобретение А. С. Поповым углесталистого детектора, заменившего когерер, и открытие П. Н. Рыбкиным возможности слухового приема радиотелеграфных сигналов.



Рис. 2.11. Первая практическая линия радиосвязи

Кроме А. С. Попова, радиотелеграфией занимались многие другие ученые и инженеры, а также и предприниматели. Наибольшего успеха при этом добился итальянский изобретатель и предприниматель *Гульельмо Маркони*, который в июне 1896 г. запатентовал в Англии «усовершенствования в передаче электрических импульсов и сигналов и в аппаратуре для этого».

Схема приемника Г. Маркони показана на рис 2.12 Г. Маркони, работавший с группой ученых и инженеров, довел дальность связи в 1901 г. до 350 миль (свыше 560 км). Вскоре состоялась радиопередача через Атлантику на расстояние в 2800 км.

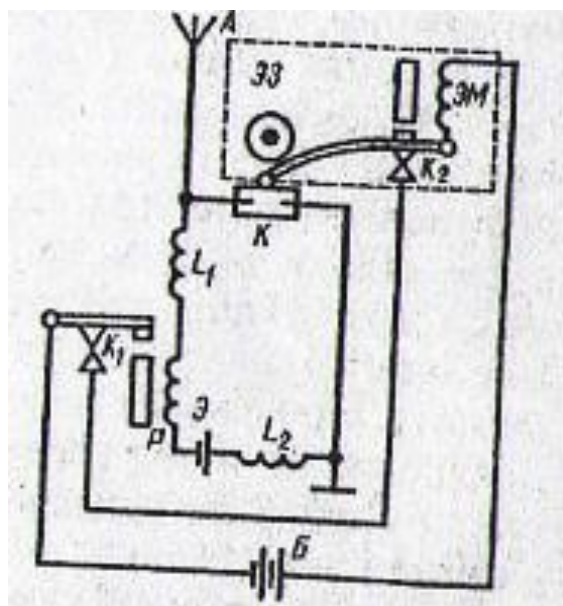


Рис. 2.12. Схема радиоприемника Г. Маркони

Следующий этап в развитии радио связан с его переходом от радиотелеграфии к радиотелефонии. Эта задача была решена в 1901 г. американским ученым *Р. Фессенденом*. Он заменил искровой разрядник Герца дуговым источником незатухающих электрических колебаний (в котором использовалась вольтова дуга), что позволило ему передать по радио речь. Но расцвет радиотелефонии был еще впереди. Он стал возможным после появления электронной вакуумной лампы.

Двухэлектронная лампа (диод), заменившая углесталистый детектор, была изобретена в 1904 г. английским ученым *Джоном А. Флемингом*, который в 1901 г. участвовал в первой трансатлантической радиопередаче, а в 1906 г. американским радиоинженером *Ли Де Форестом* была изобретена **трехэлектродная лампа (триод)**.

Данная лампа произвела революцию в радиотехнике. Она позволила усиливать сигналы произвольной формы, а не только телеграфные сигналы, поэтому с заменой электромагнитных реле триодами стала возможной дальняя радиотелефония.

Низкая надежность работы радиоустройства с большим количеством вакуумных электронных ламп заставила вспомнить, что кристаллический детектор, подобный углесталистному детектору *А. С. Попова*, обладает не менее широкими возможностями, чем электронная лампа. Еще в январе 1922 г. сотрудник Нижегородской радиолaborатории *О. В. Лосев* обнаружил возможность получения незатухающих колебаний с помощью полупроводникового кристаллического диода. На этой основе он создал различные полупроводниковые усилители для радиоприемников.

В дальнейшем стали использовать не только диоды, но и трехэлектродные усилительные приборы – транзисторы. Надежность радиоэлектронных устройств значительно возросла, что явилось существенным фактором не только для радиооборудования, но и для других радиоустройств.

Благодаря полупроводниковым приборам стали возможны искусственные спутники Земли, которые подняли ретрансляционные станции на высоту, недоступную сигнальным башням Древнего Рима. Космические радиоретрансляционные станции типа «Молния» несут свою вахту с апреля 1965 г. Радиоканалы спутников связи являются одной из важнейших составных частей ЕАСС.

2.3 История связи на железнодорожном транспорте

Первые железные дороги оборудовались сначала телеграфной, а затем и телефонной связью, используемой при организации движения поездов. Первые опыты по применению телефонов на железных дорогах России относятся к 1880 г. и связаны с именем известного изобретателя в области телефонии *П. М. Голубицкого*. Работая инженером на Бендеро-Галацкой дороге, он организовал разработку и испытания на этой дороге своих многополюсных телефонов и коммутаторов.

Для этой цели в 1880 г. были использованы телеграфные провода, по которым одновременно передавались телеграфные и телефонные сообщения. Телефонные и телеграфные цепи разделялись конденсаторами. В 1883 г. *П. М. Голубицкий* оборудовал первую телефонную станцию на 10 линиях в Петербургском паровозном депо, а в 1884 г. разработал специальные телефонные аппараты для связи остановившегося в пути поезда с железнодорожной станцией, которые в 1886 г. прошли успешные испытания на Николаевской дороге. Телефонный аппарат машиниста локомотива подключался одним проводом к земле, а другим – к телеграфному проводу на воздушной линии связи.

Инженер *Е. И. Гвоздев* усовершенствовал систему одновременного телефонирования и телеграфирования, которая в 1891 г. стала широко применяться на железных дорогах.

В 1892 г. инженер *Ф. И. Балюкевич* изобрел телефонно-железную систему железнодорожной сигнализации, в которой применил для телефонного сообщения по телеграфным проводам телефонный аппарат – **фонопор**. В нем вместо индуктора для вызова применялся вибратор с индукционной катушкой, а приемником служил электромагнит с якорем, издающий звук подобно рожку.

Начиная с 1913 г. на железнодорожных станциях стали организовывать сети стрелочной связи, были предприняты попытки организовать связь нескольких станций между собой по одному проводу с кодированием вызывного сигнала, посылаемого индуктором телефонного аппарата системы МБ (с местной батареей).

В октябре 1923 г. на двухпутном участке Москва – Александров Северной дороги впервые было введено диспетчерское руководство движением поездов. Участок был оборудован поездной диспетчерской связью с

применением американской аппаратуры с селекторным вызовом. Испытания диспетчерской системы на этом участке прошли успешно, и в 1925 г. было налажено серийное производство отечественной аппаратуры поездной диспетчерской связи.

Для увеличения дальности передачи по цепям избирательной связи под руководством инженера *А. Ф. Булата* в 1930 г. были созданы диспетчерские трансляции с управляемыми односторонними усилителями. К 1941 г. почти вся сеть железных дорог протяженностью 88 000 км была оборудована поездной диспетчерской связью.

Создание промежуточных и узловых трансляций позволило в 1932–1933 гг. приступить к организации на дорогах дорожной и магистральной диспетчерской связи. Наличие указанных видов связи сделало возможным осуществление так называемых «селекторных» совещаний в масштабе сети железных дорог. Впоследствии для связи совещаний была разработана специальная аппаратура.

В 1930 г. была создана постанционная телефонная связь с селекторным вызовом, и к 1941 г. такой связью было оборудовано 70 % железных дорог. Для работников дистанций пути в 1934 г. была создана линейно-путевая связь с взаимоизбирательным вызовом. Затем для этого вида связи в сороковых годах прошлого века стали применять аппаратуру постанционной связи.

Возрастающая интенсивность работы крупных и в особенности сортировочных станций потребовала организовать диспетчерское руководство внутри станции. Для этого в 1931 г. было освоено производство коммутаторов станционной связи системы ЦБ (с центральной батареей). Они предназначались для связи станционного диспетчера и дежурного по станции со стрелочными постами.

В период Великой Отечественной войны на дистанциях прифронтовых дорог были организованы восстановительные колонны; установлен единый порядок очередности восстановления цепей связи, в первую очередь поездной диспетчерской связи и одной из цепей многоканальной связи с управлением дороги. На заводе «Трансвязь» были созданы переносная аппаратура для поездной диспетчерской и постанционной связи, передвижные узлы связи в специальных вагонах.

В послевоенные годы продолжалось восстановление устройств связи на транспорте, и в первую очередь, технологической связи на перегонах и станциях.

Уже в 1948 г. хозяйство проводной связи достигло довоенного уровня. До 1960 г. заводы Министерства путей сообщения выпускали несколько поколений модернизированной аппаратуры избирательной связи с селекторным вызовом и с применением полупроводниковых приборов, а также коммутаторов станционной связи; была разработана аппаратура для передачи селекторного вызова по каналам тональной частоты. Однако в связи с недостатками систем с электромеханическими селекторами, большой разнотипностью коммутаторов, переходом на кабельные линии связи

возникла необходимость широкой модернизации аппаратуры технологической связи, которая началась в 1958 г.

В 1958–1960 гг. во Всесоюзном научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) и на заводе «Трансвязь» разработали аппаратуру с тональным избирательным вызовом.

К началу восьмидесятых годов был завершен перевод всех видов избирательной связи на тональный вызов. В 1974 г. была проведена унификация аппаратуры станционной связи и созданы три ее типа: КАСС-ДСП, КАСС-ДЦ и КАСС-ДСЦ.

С 1965 г. начался новый этап развития связи на железнодорожном транспорте на основе замены воздушных линий кабельными. К 1990 г. были заменены кабельными линиями 80 % линий связи на основных направлениях. В результате появилась возможность значительно увеличить количество магистральных и дорожных каналов связи, организовать новые виды магистральной, дорожной и отделенческой технологической связи, такие как: вагонная диспетчерская, билетная диспетчерская, служебная диспетчерская в дистанциях сигнализации и связи, перегонная связь, связь транспортной милиции, военизированной охраны и др.

Появилась возможность организации на кабельных линиях технологической связи каналов с частотным и временным разделением. Были разработаны специальные системы передачи К-24Т и К-3Т, позволяющие иметь групповые каналы тональной частоты для технологической связи. С начала 90-х годов на сети связи железнодорожного транспорта начали проводиться работы по применению *волоконно-оптических линий связи* (ВОЛС).

Первая магистральная линия Москва – Ростов-на-Дону – Краснодар – Новороссийск – Сочи протяженностью в 2200 км была проложена в 1993 г.

К 2005 г. была создана сеть магистральной связи протяженностью свыше 50 000 км с резервированием каналов связи по географически разнесенным маршрутам, охватывающая все 17 железных дорог России.

Сеть имеет уникальную географическую инфраструктуру, проходит через несколько тысяч населенных пунктов, а используемое на ней технологическое оборудование полностью отвечает международным стандартам и поддерживает протоколы обмена между существующими информационными системами и телекоммуникационной сетью связи железнодорожного транспорта России.

В связи с началом совершенствования структуры управления работой железнодорожного транспорта в конце 90-х годов прошлого века, вызванного необходимостью замены морально и технически устаревших аналоговых аппаратных средств технологической связи, широким внедрением ВОЛС, потребовалась разработка цифровой сети технологической связи (ТС) железнодорожного транспорта России, удовлетворяющей существующей и перспективной потребности железных дорог.

Целью организации цифровой сети ТС ЖТ является создание инфраструктуры для внедрения перспективных информационных технологий,

обеспечивающих высокие скорости перевозок и повышение эффективности функционирования отрасли.

Первая линия цифровой оперативно-технологической связи была построена в 1999 г. на участке Санкт-Петербург – Торфяное на базе аппаратуры комплекса ОТС-ДСС. К началу 2005 г. цифровыми системами ОТС было оборудовано более 25 000 км на сетях ТС железнодорожного транспорта.

При внедрении цифровой сети технологической связи используется несколько типов аппаратуры, разработанных российскими предприятиями. Замена устаревшего аналогового оборудования на сетях связи железнодорожного транспорта на цифровые системы связи будет способствовать совершенствованию перевозочного процесса, повышению качества оперативного управления перевозочной работой на всех уровнях.

Использование радиосвязи на железнодорожном транспорте имеет более чем вековую историю. В 1897 г. изобретатель радио А. С. Попов делает доклад «О телеграфировании без проводов» на четвертом съезде железнодорожных электротехников и представителей службы телеграфа. Позже на Юго-Западной железной дороге предпринято использование «искрового телеграфа» для нужд железнодорожного транспорта.

В 30-е годы прошлого столетия проводятся эксперименты по применению телевидения на железнодорожном транспорте. В 1931 годы испытывают систему радиосигнализации машинисту горочного локомотива, а в 1936 г. начала работать магистральная КВ-радиосвязь Наркомата путей сообщения с управлениями железных дорог.

В 1937–1938 гг. впервые на железнодорожном транспорте была применена радиосвязь с движущимся локомотивом. В 1951 г. была разработана и внедрена первая железнодорожная радиостанция ЖР-1. Радиостанции этого типа имеют гектометровый диапазон (2 МГц) и относятся к первому поколению систем радиосвязи на железнодорожном транспорте.

С середины 1950-х гг. была освоена радиостанция ЖР-3, а с 1965 г. – станционная радиостанция ЖР-5М, которые представляют собой второе поколение радиосредств железнодорожного транспорта. В начале 1970-х гг. была разработан комплекс железнодорожных унифицированных радиостанций – ЖР-У, использующих метровые и дециметровые диапазоны радиоволн. Радиосигнализации ЖР-У-СС, ЖР-У-ЛС, ЖР-УК-СП, ЖР-УК-ЛП относятся к радиосистемам третьего поколения.

В конце 1980-х г. прошлого столетия на железнодорожном транспорте появились радиосредства четвертого поколения – система «Транспорт», в основу которой положены радиосредства нового поколения с широким использованием интегральных схем и микросборок, а также средств микропроцессорной техники.

Данная система позволила организовать поездную, стационарную, ремонтно-оперативную радиосвязь в диапазоне гектометровых, метровых и дециметровых радиоволн в симплексном и дуплексном режимах с групповым и индивидуальным вызовами, а также существенно увеличить чис-

ло каналов метрового диапазона (132 канала) и получить шесть частотных групп в диапазоне дециметровых волн.

Поездная радиосвязь в основном работает на гектометровом диапазоне волн, что позволяет использовать направляющие свойства линий электрообеспечения, контактной сети, воздушных линий связи, специального «волноводного» провода, расположенных вдоль железнодорожного полотна, для канализации электромагнитной энергии.

Сеть радиорелейных линий связи на железнодорожном транспорте появилась в 1956 г. Она предназначена для резервирования на некоторых определяющих направлениях железнодорожных проводных систем передачи с использованием как отечественной, так и зарубежной аппаратуры.

В середине 90-х гг. прошлого столетия было принято решение о проведении информационной реформы, направленной на внедрение информационных технологий во все сферы деятельности железнодорожного транспорта, на основе широкого применения вычислительной техники и передовых технологий телекоммуникаций.

В настоящее время решается ряд задач по программе создания цифровых сетей интегрального обслуживания (ЦСИО) железнодорожного транспорта. Разрабатываются различные варианты систем спутниковой связи с целью существенного увеличения каналоёмкости сети железнодорожной связи до уровня, позволяющего создать общесетевую ЦСИО. Для цифровой сети интегрального обслуживания на железнодорожном транспорте большое значение имеет создание высокоскоростного цифрового канала для связи с поездом.

В настоящее время осуществляется ряд разработок сотовых и *транкиговых* сетей связи, управляющих подвижными объектами железнодорожного транспорта. Проведены экспериментальные исследования цифровой мобильной радиолинии СВЧ-диапазона для передачи на локомотив цифрового потока 2 Мбит/с. Цифровые мобильные радиолинии СВЧ и КВЧ-диапазонов являются одним из основных средств объединения стационарной ЦСИО с бортовыми локальными цифровыми сетями. Перспективным является применение на железнодорожном транспорте технологии Radio-Ethernet в сочетании с излучающими триаксильными кабелями.

В настоящее время стратегия развития технологической радиосвязи Федерального железнодорожного транспорта основывается на применении цифровых транкиговых сетей *TETRA*, сотовых сетей стандарта *GSM-R* и технологий *DMR*.

3 ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

3.1 Системы телекоммуникации как составная часть транспортной инфраструктуры

Железнодорожный транспорт Российской Федерации является основным в транспортном комплексе страны, обеспечивая основную часть перевозок грузов и пассажиров. На его долю приходится свыше 80 % грузооборота (более 1,5 млрд тонно-км в год) и свыше 40 % пассажирооборота (более 170 млрд пассажиров в год).

Не менее сложной является и внутренняя структура перевозочного процесса, призванная обеспечить количественные и качественные показатели всей отрасли. Она включает в себя технический комплекс, систему управления перевозками, систему обеспечения движения и вспомогательные службы (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Внутренняя структура перевозочного процесса

Технический комплекс решает задачи «По чему возить? Чем возить? В чем возить?». Это путевое (дорожное) оборудование (рельсы, шпалы, земляное полотно, мосты и пр.), тяговое хозяйство (грузовые и пассажирские локомотивы, электропоезда, дизельные поезда), вагонное хозяйство (грузовые и пассажирские вагоны, вагоны специального назначения).

Система управления перевозками решает задачи: «Как возить? Каким путем возить?» (оперативное управление) и «Что возить? Куда возить? Как взаимодействовать с клиентурой?» (административное управление). Это служба управления перевозками и диспетчерская система управления движением.

Данные системы дополняются *системами тяги поездов* (свыше 50 % эксплуатационной длины электрифицированных участков) и средствами регулирования движения и обеспечения безопасности (сигнализация, централизация, блокировка, связь, вычислительная техника).

Вспомогательные службы обеспечивают перевозочный процесс ресурсами, безопасность обслуживающего персонала, экономическую безопасность, следят за сохранностью грузов и безопасностью пассажиров и т.д.

В целом **перевозочный процесс** – сложное, многофункциональное хозяйство, раскинувшееся на огромной территории, с привлечением множества специалистов разной квалификации и большого количества сложной техники.

С учётом вышесказанного возникают проблемы управления таким огромным хозяйством, проблемы обеспечения взаимодействия его отдельных частей, мониторинга, постоянного контроля за продвижением грузов к пунктам назначения.

Следовательно, в составе системы управления перевозками должна быть структура, обеспечивающая снабжение управляющего органа информацией. Такой структурой является сеть связи или телекоммуникационная сеть.

Управление неотделимо от информации и протекает в информационном пространстве, которое в общем виде может быть представлено состоящим из трех частей: прикладные процессы, область взаимодействия и физические средства информационного обмена (взаимодействия) (рис. 3.2).

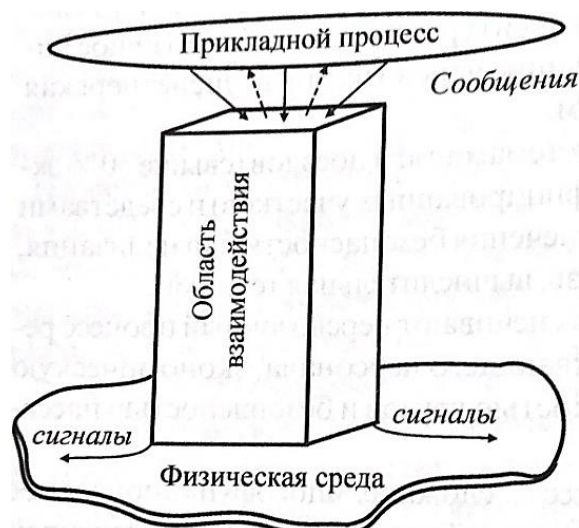


Рис. 3.2. Составляющие информационного пространства

Информационный обмен происходит как внутри одного прикладного процесса, так и между разными прикладными процессами. И для правиль-

ного его течения, его завершенности и эффективности нужны какие-то правила, условия на всех ступенях информационного взаимодействия от формы представления, преобразования и контроля до трансляции в нужное место, восприятия информации и выполнения неких действий.

Все эти процедуры, преобразования, контроль за их выполнением управление процессом информационного обмена осуществляет область взаимодействия, являясь связующим звеном между прикладными процессами и физическими средствами информационного обмена.

Прикладные процессы могут располагаться вблизи или вдали друг от друга, но области взаимодействия каждого из них должны опираться на единую для всех физическую среду, где могут существовать и распространяться сигналы, несущие информацию (воздушные, кабельные, волоконно-оптические и другие линии связи).

В любом случае триада: прикладной процесс, область взаимодействия и физическая среда неразрывна, а их множество составляет информационное поле, информационное пространство. Применительно к нуждам железнодорожного транспорта это может быть представлено в виде схемы, показанной на рис. 3.3.

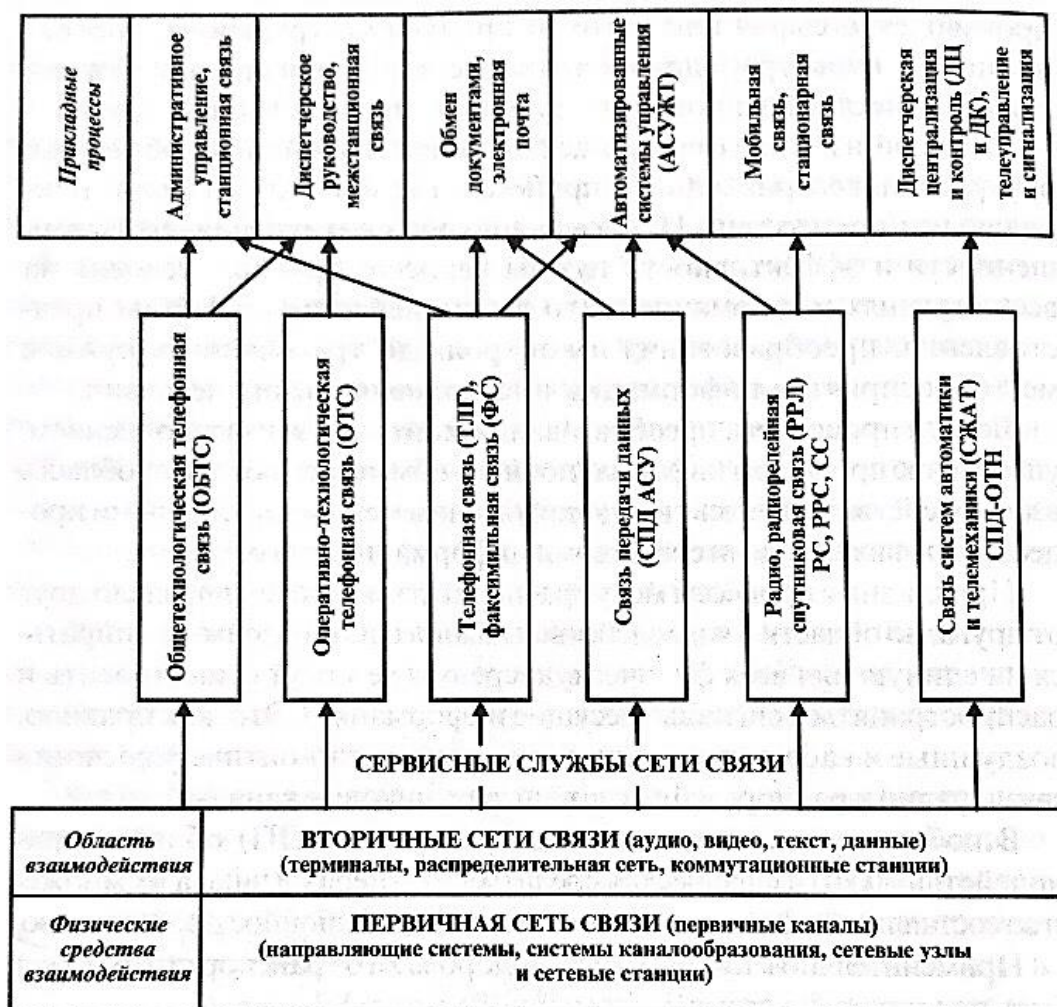


Рис. 3.3. Общая структура информационной поддержки перевозочного процесса

Физические средства взаимодействия образуются первичной сетью, создающей множество стандартных каналов, по которым можно передавать любую информацию.

Область взаимодействия представлена вторичными сетями. С их помощью на базе стандартных каналов организуется обмен аудио- или видеоинформацией, документальной информацией (текст или графика), данными между вычислительными машинами и др. С помощью вторичных сетей осуществляется распределение информации в соответствии с адресом и взаимодействие пользователей с сетью связи посредством различного рода терминалов (телефонные и телеграфные аппараты, автоматизированные рабочие места (АРМ), компьютеры, вычислительные машины и пр.).

На основе первичной и вторичных сетей организуются сервисные службы, формируются услуги связи, потребляемые прикладными процессами. Основными среди них являются следующие.

Общетеchnологическая телефонная связь (ОбТС), обеспечивающая передачу речи в системе административного управления, обмен аудиосообщениями между работниками различных служб в подразделениях транспорта, обмен сообщениями между работниками транспорта и клиентурой и др.

Оперативно-технологическая телефонная связь (ОТС), являющаяся составной частью технологического процесса в системе диспетчерского руководства движением поездов, энергохозяйстве, хозяйстве сигнализации и связи и пр. Кроме того, это связь в технологических процессах на станциях.

Телеграфная связь (ТЛГ) и факсимильная связь (ФС) обеспечивают обмен документальными сообщениями (распоряжения, приказы, предупреждения и пр.) как в системе административного управления, так и в технологических процессах.

Связь передачи данных (СПД) обеспечивает передачу информации в автоматизированной системе управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ) между вычислительными машинами, базами, банками данных и потребителями.

Радиосвязь (РС), радиорелейная связь (РРС) и спутниковая связь (СС) дают возможность организовать взаимодействие между труднодоступными территориями и служат надежным резервом для проводных средств связи в случае выхода их из строя. Могут использоваться для оперативного руководства, в станционной работе, для громкоговорящего оповещения пассажиров на станциях. В последнее время распространение получает мобильная связь с подвижными объектами.

Связь системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) обеспечивает работу устройств диспетчерской централизации (ДЦ) и диспетчерского контроля (ДК), передачу информации в системах телеуправления и телесигнализации (ТУ-ТС).

В целом это *инфокоммуникационная сеть*, обеспечивающая существование информационного пространства отрасли и обмен информацией

между ее подразделениями. Составной частью этой сети является сеть связи, необходимая для транспортировки информационных сигналов между любой парой пользователей. Структурная схема системы связи в общем виде представлена на рис. 3.4.

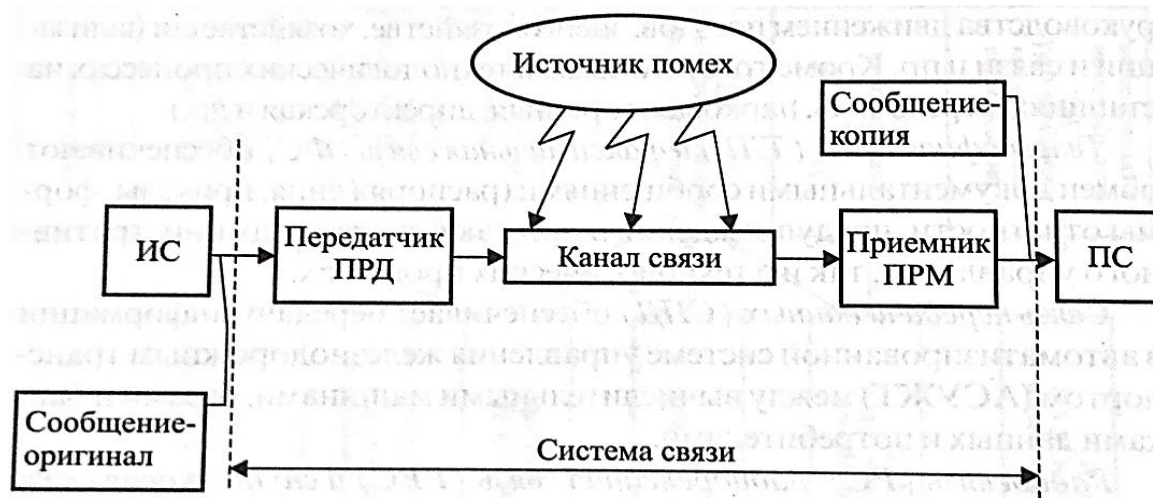


Рис. 3.4. Структурная схема системы связи

К основным элементам системы связи относятся *передатчик, канал связи и приемник*.

Источник сообщения (ИС) предъявляет для передачи сообщение-оригинал (звук, текст, изображение и др.). **Передатчик** осуществляет преобразование сообщения в сигнал. Это может быть электрический (в случае использования металлических кабелей или радиотракта) или оптический (в случае использования волоконно-оптических кабелей) сигнал. Этот сигнал распространяется в помехоактивной среде и каналом связи доносится до нужного места, где попадает в приемник. **Приемник** преобразует принятый сигнал в сообщение-копию (телеграмма, факсимиле, неподвижное или подвижное изображение и др.), которая выдается получателю сообщения (ПС).

Источник помех действует на передаваемые сигналы не только в канале связи. Некоторые погрешности могут вносить передатчик и приемник в процессе преобразования сообщения в сигнал и обратного преобразования. Поэтому сообщение-копия на приеме не соответствует сообщению-оригиналу на передаче. Основная задача системы связи состоит в выполнении преобразования и переноса информационного сигнала таким образом, чтобы отличие сообщения-копии от сообщения-оригинала было минимальным.

Показанная на рис. 3.4 структурная схема отражает одноканальную, однонаправленную систему связи. В целях эффективного использования дорогостоящих линейных сооружений системы передачи строят многоканальными. В них по одной паре проводов организуется множество каналов передачи информации.

Для обмена информацией, т.е. возможности передавать информацию во встречных направлениях, для возможного ведения диалога (вопрос-ответ) передатчики и приемники располагаются на корреспондирующих станциях.

С использованием специальных терминов однонаправленная передача называется симплекс, двунаправленная поочередная – полудуплекс и двунаправленная одновременная – дуплекс.

Система связи (см. рис. 3.4) обеспечивает обмен сообщениями между двумя пунктами. Для возможности обмена сообщениями между любыми парами абонентов организуются сети связи.

Оперативно-технологическая связь (ОТС) является видом электрической связи, посредством которой обеспечивается оперативное руководство технологическими процессами на станциях и перегонах железных дорог. Она предназначена для управления движением поездов и руководства производством работ по текущему содержанию пути, энергоснабжения, подвижного состава, устройств СЦБ, связи, сооружений и других объектов инфраструктуры. Оперативно-технологическая связь является также одним из средств обеспечения безопасности движения.

Учитывая линейное расположение объектов управления вдоль железнодорожных линий и малую нагрузку, возникающую в этих пунктах, оперативно-технологическую связь целесообразно строить по *групповому принципу* (рис. 3.5). При этом имеется распорядительная станция (РС) и промежуточные пункты (ПП), которые включаются параллельно в общий групповой канал.



Рис. 3.5. Групповой принцип организации ОТС

Групповой канал является наиболее экономичным с точки зрения использования линии в случае линейного расположения промпунктов. Однако параллельное включение ПП в одну цепь вызывает необходимость дополнения системы устройствами избирательного вызова.

К особенностям групповых связей относятся:

- оперативный характер пользования связью определенным кругом лиц;
- необходимость организации по одному каналу *индивидуального, группового и циркулярного (общего)* обмена информацией;

- двухсторонний поочередный способ обмена, обуславливающий включение переговорных приборов на РС и ПП по переменной схеме;
- необходимость в системе избирательного вызова.

Так как групповые каналы используются для оперативной связи, входят составной частью в технологический процесс управления и находятся в ведении руководителя на распорядительной станции, то наиболее рациональным оказалось создание такой системы, при которой право посылки избирательного вызова на промежуточный пункт имеет только РС.

Применение системы взаимоизбирательного вызова экономически нецелесообразно вследствие усложнения аппаратуры на каждом ПП, а для многих видов командной связи, где вызов осуществляется только со стороны РС, система взаимоизбирательного вызова оказывается ненужной. Таким образом, в групповых каналах избирательность вызова обеспечивается только в одном направлении – от РС к промежуточным пунктам. Вызов РС со стороны ПП осуществляется посылкой вызывного сигнала или голосом.

По назначению и району действия оперативно-технологические связи разделяются на следующие виды: *магистральные, дорожные, отделенческие и станционные*.

Магистральные связи организуются в пределах всей или части сети ОАО «РЖД». К ним относятся: магистральная распорядительная связь (МРС), магистральная связь совещаний (МСС), магистральная связь транспортной полиции и военизированной охраны.

Дорожные связи организуются в пределах сети связи на каждой железной дороге. Это дорожная связь совещаний (ДСС) и дорожная распорядительная связь (ДРС), дорожные диспетчерские связи служб энергоснабжения, пути, СЦБ и связи, дорожная связь транспортной полиции и военизированной охраны.

Отделенческие связи организуются в пределах опорного центра на полигоне отделений. К ним относятся: поездная диспетчерская (ПДС), энергодиспетчерская (ЭДС), постанционная (ПС), линейно-путевая (ЛПС), служебная диспетчерская для дистанций сигнализации и связи (СДС), вагонная диспетчерская (ВДС), билетная диспетчерская (БДС) и др.

Диспетчерские связи действуют при централизованном размещении поездных и локомотивных диспетчеров в Едином центре диспетчерского управления дороги при условии нахождения диспетчерского участка (ЕДЦУ) в нескольких сотнях и даже тысячах километров от него. Диспетчеры остальных служб, грузовые и маневровые диспетчеры располагаются в опорных центрах (центры управления местной работой – ЦУМР). На них возлагается управление районными перевозками и исполнение сетевых, дорожных и районных перевозок в границах линейного района.

Станционные связи организуются в пределах железнодорожных станций. Они предназначены для оперативной работы дежурного по станции (ДСП), станционного диспетчера (ДСЦ), диспетчера вагонного депо (ДВД) и др.

По принципу построения и применяемой аппаратуре все виды ОТС можно объединить в три группы: *диспетчерские связи, общеслужебные связи и связи совещаний*.

К ***диспетчерским связям*** относятся: поездная диспетчерская, энергодиспетчерская, вагонная диспетчерская, служебная диспетчерская, магистральная и дорожная распорядительная, которые находятся в распоряжении одного лица – диспетчера.

К ***общеслужебным связям*** относятся: линейно-путевая, стационарная, связь транспортной полиции и военизированной охраны и подобные виды групповой связи, предназначенные для связи между промежуточными станциями.

Связь совещаний организуется также по групповым каналам, в которые включается специальная аппаратура. Для проведения совещаний в ОАО «РЖД», управлениях дорог и на крупных станциях оборудуются специальные помещения – студии с несколькими микрофонами и громкоговорящим приемом. В настоящее время студии также оборудуют системами видеоконференцсвязи. Для связи совещаний нет специальных каналов, а используются каналы магистральной или дорожной связи.

На железнодорожном транспорте устройства радиосвязи используются в основном для связи с подвижными объектами и обеспечивают улучшение управления технологическими процессами, а также повышение безопасности движения. По технологическому назначению радиосвязь подразделяется на поездную, станционную и ремонтно-оперативную.

Поездная радиосвязь (ПРС) относится к участковым видам и обеспечивает обмен информацией между машинистом поездного локомотива и диспетчером, ближайшей к локомотиву станции, а также машинистами встречных и попутных локомотивов.

Станционная радиосвязь предназначена для оперативного управления технологическими процессами работы станции. Включает маневровую и горочную радиосвязь, связь работников, обеспечивающих обработку составов (списчики вагонов, составители) и др.

Ремонтно-оперативная радиосвязь предназначена для организации оперативного управления проведением ремонтных и восстановительных работ, а также работ по текущему содержанию устройств путевого хозяйства, энергоснабжения, автоматики и связи и т.д.

3.2 Роль телекоммуникаций в организации управления на железнодорожном транспорте

Роль связи в обеспечении основных показателей работы железных дорог вытекает непосредственно из определения транспортного процесса. Это общее понятие эксплуатационной работы, которое связано с выполнением транспортных операций (погрузка, выгрузка, оформление провозных

документов, передвижение поездов по станциям и участкам, формирование и расформирование поездов и др.), а также с массовой передачей, приемом и переработкой информации об этих операциях.

В любом из технологических процессов транспортной отрасли используются средства связи, прямо или косвенно влияя на их успешное функционирование.

В обеспечении безопасности движения поездов на станциях и перегонах систему связи никак нельзя отделять от систем автоматики и телемеханики, они совместно решают эту задачу.

Проблема безопасности возникла с появлением на одном участке (перегоне) двух поездов. Она заключается в необходимости исключения их столкновения и решается путём разграничения поездов во времени или в пространстве.

Первым нашел применение метод разграничения во времени. Отправление очередного поезда на перегон разрешается не ранее установленного интервала попутного следования, определяемого временем прохождения перегона при известном расстоянии и средней скорости.

Второй способ обеспечения безопасности появился тогда, когда началось развитие средств связи. Сначала это была телеграфная постанционная связь на аппаратах Морзе, а позднее межстанционная телефонная связь.

Затем разграничение поездов по расстоянию стало осуществляться с помощью электрожелезной системы, являющейся комбинацией средств блокировки и связи.

Отличительная черта систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (СЖАТС) – пространственное разделение объектов управления. Именно поэтому неотъемлемым элементом СЖАТС являются средства связи. Они обеспечивают взаимодействие объектов управления, расположенных на значительных расстояниях друг от друга, через каналы связи.

Отказы транспортного комплекса по природе их возникновения можно разделить на два класса (рис. 3.6).

К первому классу относятся отказы технических средств: устройства пути, подвижного состава, среда в СЦБ и связи, оборудования энергоснабжения и др. Ко второму относятся организационно-технологические отказы: заполнение графика движения в какой-либо период суток, нарушение плана формирования, отсутствие локомотивов или локомотивных бригад, ошибки в доставленной средствами связи информации и пр.

Таким образом, средства связи имеют непосредственное влияние как на безопасность движения поездов, так и на безотказность работы транспортного комплекса.

Средства связи непосредственно влияют на пропускную способность железнодорожных участков. Она определяется наибольшим числом пар поездов (на однопутном участке) или поездов в каждом направлении (на

двухпутных участках) при имеющейся технической оснащенности и принятой организации движения.



Рис. 3.6. Отказы транспортного комплекса

Способ управления движением на участке также зависит от средств передачи информации. Именно поэтому для работы современных систем диспетчерской централизации применяют выделенные цифровые каналы связи, обеспечивающие быструю и надежную доставку управляющих и известительных сигналов на значительные расстояния.

С пропускной способностью тесно связана и провозная способность, определяемая количеством груза (млн т нетто), перевезенным на участке в каждом направлении за год.

Увеличение массы поездов также повышает провозную способность. Однако формирование поездов повышенной массы и длины требует особых мер обеспечения безопасности движения.

Ужесточаются требования и по информационному обеспечению проводки таких поездов по участкам. Здесь предъявляются более высокие требования по полноте, своевременности и достоверности передачи информации, что необходимо для точного прогноза поездного положения на станциях и участках.

Внедрение новых видов связи (факсимильная связь, электронная почта), новых сетевых технологий (коммутация пакетов, услуги Intranet), увеличение количества дополнительных видов обслуживания (ДВО) и качества сервиса (КЧС) приводят к оперативности управления, а следовательно, в целом влияют на все показатели работы железных дорог.

Транспортная система России в настоящее время претерпевает качественные изменения. С одной стороны, изменяется ее структура: отдельные виды транспорта объединяются под единым управлением, в крупных

транспортных узлах и административных центрах создаются независимые транспортные логистические центры.

С другой стороны, в условиях развивающихся рыночных отношений остро встают вопросы повышения эффективности работы транспорта, снижения издержек, уменьшения стоимости перевозок, соблюдения сроков доставки грузов и обеспечения их сохранности. Эти обстоятельства выдвигают принципиально новые требования к системе управления перевозками.

На железных дорогах страны разработан и успешно внедряется комплекс многоцелевых информационных технологий, позволяющий выполнять коммерческие и эксплуатационные процедуры перевозок на базе электронного обмена данными.

Оптимальное использование возможностей информационной системы железных дорог в интересах всего транспортного комплекса страны позволяет существенно снизить затраты на управление и связь при организации и осуществлении внутренних и международных перевозок различными видами транспорта, обеспечивает существенное повышение качества транспортных и логических услуг.

Поэтапно развиваемая информатизация железнодорожного транспорта способствует: выполнению важнейшей социально-экономической задачи повышения производительности труда железнодорожников и качества перевозочного процесса, исключению потерь времени, более рациональному использованию трудовых и материальных ресурсов.

Рассмотрим понятие информационных технологий. Термин «технология» имеет множество толкований. В широком смысле под технологией понимают науку о законах производства материальных благ, деля ее на три основные части:

- идеологию, т.е. принципы производства;
- орудия труда, т.е. станки, машины;
- кадры, владеющие профессиональными навыками.

Эти составляющие соответственно называют информационной, инструментальной и социальной технологией.

Информационная технология (ИТ) – процесс, использующий совокупность методов и средств реализации операций сбора, регистрации, передачи, накопления и обработки информации на базе программно-аппаратного обеспечения для решения управленческих задач экономического объекта.

Основная цель автоматизированной информационной технологии – получать посредством переработки первичных данных информацию нового качества, на основе которой вырабатываются оптимальные управленческие решения. Это достигается за счет интеграции информации, обеспечения ее актуальности и непротиворечивости, использования современных технических средств для внедрения и функционирования качественно новых форм информационной поддержки деятельности аппарата управления.

Разработанная в системном проекте функциональная структура АСУЖТ рассматривается как совокупность четырёх комплексов информа-

ционных технологий. Система нового поколения представлена в виде укрупненной двухуровневой структуры (рис. 3.7), обеспечивающей решение основных задач железнодорожного транспорта.



Рис. 3.7. Структура информатизации железнодорожного транспорта

Первый уровень (обеспечивающий) включает в себя:

- информационную среду;
- инфраструктуру для ее поддержки.

Информационная среда отражает состояние объектов и процессов управления. Это совокупность баз данных и знаний для построения прикладных задач.

Инфраструктура – это телекоммуникационно-вычислительная сеть, обеспечивающая подготовку, передачу, хранение, обработку и выдачу информации всем пользователям по всем аспектам деятельности железнодорожного транспорта.

Второй уровень – пользовательский, содержит прикладные задачи, охватывающие все виды деятельности железнодорожного транспорта. Он условно разделен на четыре подуровня (комплексы информационных технологий).

Архитектура информационной системы также является двухуровневой.

Основной задачей информационной системы является повышение эффективности работы отрасли, которое должно обеспечиваться за счет информационной поддержки основных транспортных процессов, включая технологические процессы, процессы управления и принятия решений.

Информационное обеспечение управления отраслью осуществляется в условиях реструктуризации системы управления, изменения функций и форм собственности, повышения самостоятельности предприятий, увеличения и развития хозяйственных связей на новой экономической основе.

Достичь этого без построения системы согласованных моделей базовых и технологических процессов и определения основных информационных потребностей для их осуществления не представляется возможным.

Комплекс информационных технологий управления перевозочным процессом представлен информационными технологиями по грузовым и пассажирским перевозкам. По управлению грузовыми перевозками выделены 17 базовых функций, в том числе:

- сменно-суточное планирование;
- текущее планирование;
- диспетчерское руководство поездной работы;
- управление грузовой и коммерческой работой;
- операции с грузовыми перевозочными документами;
- информационное обслуживание клиентов;
- управление локомотивными парками;
- управление вагонными парками.

По управлению пассажирскими перевозками выделены 13 функций, из них:

- организация обслуживания пассажиров;
- управление информационно-справочным обслуживанием;
- планирование пассажирских перевозок;
- управление организацией перевозок пассажиров;
- управление билетно-кассовыми операциями ЭКСПРЕСС;
- управление багажными и почтовыми перевозками.

Техническое обеспечение АСУЖТ представляет собой комплекс технических средств (ТС), применяемых для функционирования автоматизированной системы управления (АСУ), взаимосвязанных неразрывным процессом преобразования данных и ограничениями, налагаемыми процессами управления.

В соответствии с основными этапами информационной технологии все технические средства можно разделить на следующие группы:

- средства регистрации, сбора и подготовки;
- средства обработки;
- средства выдачи и отображения.

Следует отметить, что указанное деление комплекса ТС АСУ является в настоящее время до некоторой степени условным, так как создан ряд устройств, совмещающих в себе функции преобразования данных.

Оптимизация перевозочного процесса и инфраструктуры, используемой для перевозок, обеспечит высокую эффективность работы железных дорог в условиях реформирования отрасли, будет способствовать сокращению эксплуатационных затрат и прибыльной работе ОАО «Российские железные дороги».

Фундаментальной основой повышения эффективности эксплуатационной работы железных дорог в условиях реформирования является внедрение новых методов управления перевозочным процессом на базе информационных и управляющих технологий.

Реализация указанных технических параметров тесно связана с созданием централизованной системы управления перевозками.

Для эффективного управления грузовой и поездной работой сети железных дорог построена трехуровневая централизованная структура управления на основе новой эксплуатационной модели.

В данную структуру входят:

- Центр управления перевозками ОАО «РЖД»;
- Дорожные центры управления перевозками (ЩЦУ);
- Центры управления местной работой (ЦУМР).

Центр управления перевозками (ЦУП) ОАО «РЖД» решает следующие задачи для организации перевозочного процесса:

- управление грузопотоками и вагонопотоками на транзитных транспортных коридорах сети, на подходах к портам и пограничным переходам;
- регулирование парка грузовых вагонов и локомотивов между дорогами;
- взаимодействие с представительствами всех видов транспорта РФ;
- взаимодействие с крупнейшими грузоотправителями и грузополучателями;
- взаимодействие с операторами перевозок.

Внедрение новой эксплуатационной модели централизованного управления перевозочным процессом дает возможность обеспечить возрастающий объем грузовых перевозок без увеличения парка подвижного состава, сократить эксплуатационные расходы, добиться улучшения эксплуатационных показателей работы и в конечном счете приведет к повышению качества транспортного обслуживания.

Автоматизированная система оперативного управления перевозкам (АСОУП) на железных дорогах создавалась как типовая в соответствии с основными принципами и на основе использования опыта всех внедренных ранее систем. Дорожная АСОУП не только использовала опыт предшествующих систем, но и обеспечивала их взаимодействие, позволяла сделать шаг к объединению всех систем оперативного управления в единую многоуровневую отраслевую автоматизированную систему управления грузовыми перевозками.

Создание динамической информационной модели требует выполнения ряда условий.

Во-первых, для этого необходим определенный технический уровень средств вычислительной техники, обработки данных, подготовки и передачи информации.

Во-вторых, должен быть реализован комплекс технических и технологических мер, обеспечивающих получение данных соответствующего уровня

полноты и достоверности. К ним относятся: технология подготовки и обработки данных, автоматизация управления технологическими процессами, автоматический съем информации на уровне линейных предприятий.

В-третьих, необходимость технологических решений в большинстве случаев может быть закреплена получением технологических документов.

Концепция информационной базы АСОУП предполагает следующие этапы создания банка данных:

- поездная и локомотивная модель дороги;
- модель погрузки и выгрузки вагонов;
- модель дислокации и работы локомотивных бригад;
- станционные модели вагонов, не организованных в поезда;
- повагонная модель дороги;
- модель контейнерного парка и отправок грузов.

В базе данных должны моделироваться два типа объектов:

- подвижные объекты, участвующие в перевозочном процессе (поезда, локомотивы, вагоны);
- территориальные объекты, участвующие в организации и управлении перевозочным процессом (станции, депо, участки).

Таким образом, состав данных ПМД позволяет автоматизированно решить любую задачу для работников станций, управления дороги.

Создание полных моделей для станций, которые являются детализированными дублями соответствующих частей ПМД, осуществляется в рамках разработок нижнего уровня АСУЖТ.

В состав АСОУП входит около 6000 программ. АСОУП обеспечила выдачу оперативным работникам станций и управлений дорог комплекса технологических документов по каждому поезду. Она стала фундаментом для создания ряда новых автоматизированных систем и комплексов задач в системе управления перевозочным процессом.

Транспортная стратегия России до 2025 г. определила основные направления развития железнодорожного транспорта. Предусмотрено обеспечение таких условий, при которых будут реализованы следующие инвестиционные проекты:

- создание единого информационного пространства для взаимодействия органов управления транспортным комплексом и клиентов рынка транспортных услуг;
- создание системы логистических центров и информационного сопровождения перевозок в международных транспортных коридорах;
- создание государственного информационного ресурса транспортного комплекса Российской Федерации;
- создание системы сбора и обработки статистической информации по транспортному комплексу.

Новая технология подачи заявок на перевозку грузов, разработанная специалистами системы фирменного транспортного обслуживания (СФТО) вместе с другими департаментами, расширит возможности и повысит уровень сервиса для грузоотправителей.

Реализация новой технологии предусматривает и использование таких процедур, которые позволяют передавать заявки из офиса клиента или оттуда, откуда ему это удобно.

Создается информационная база для компьютеризированной системы планирования перевозок грузов. Уже появилась технология согласования объемов смешанных и международных перевозок грузов, совместимая с информационными сетями Министерства транспорта и связи РФ и некоторыми иностранными железными дорогами. Обмен данными осуществляется по электронной почте.

Сегодня устранены многие проблемы, связанные с отсутствием правовой базы для дальнейшего развития электронного документооборота. Созданы условия для того, чтобы клиентам было проще общаться с железными дорогами.

В ОАО «РЖД» разработан новый подход к организации информационного обслуживания клиентов всего комплексного сервиса, какие бы системы ни избирались отдельными пользователями, их можно концентрировать на единой программно-аппаратной платформе, основанной на веб-технологиях.

Работы по созданию современной взаимосвязанной телекоммуникационной инфраструктуры на российских железных дорогах продолжают проводиться. Проложено 26 тыс. км волоконно-оптического кабеля, 8 тыс. км магистральных сетей связи, создается спутниковая подсистема ОАО «РЖД» и организуется единая сеть передачи данных (СПД) российских дорог. Завершается первая очередь систем повагонного учета ДИСПАРК и автоматизированного контроля за использованием контейнеров. При этом данные контейнерной системы будут увязаны в общий пул с ДИСПАРК. Есть идея объединить ДИСПАРК с управляющей системой ОАО «РЖД».

В перспективе все данные, которые можно снять с датчиков по мере движения вагона, будут сниматься. Причем система будет функционировать так, чтобы информация вводилась только один раз. Предстоит решить и то, как обеспечить доступ к данным для пользователей. Существенным продвижением в этом направлении является создание сертифицированного ФАПСИ – щита Интернет, который позволит закрыть несанкционированный доступ в служебные сети ОАО «РЖД».

Другим методом, позволяющим существенно ограничить доступ внешних клиентов к информационным ресурсам ОАО «РЖД», является создание на базе ГВЦ информационного обслуживания пользователей услуг железнодорожного транспорта.

С технической точки зрения высокие требования к эффективности управления перевозками формируют потребность в более высоком уровне информатизации. Информационные технологии сегодня – это не просто средства поддержки управления, а один из важнейших элементов инфраструктуры транспорта. Из разряда вспомогательных средств они стали основными технологиями и оказывают существенное влияние на совершенствование процесса управления перевозками.

С технической точки зрения высокие требования к эффективности управления перевозками формируют потребность в более высоком уровне информатизации. Информационные технологии сегодня – это не просто средства поддержки управления, а один из важнейших элементов инфраструктуры транспорта. Из разряда вспомогательных средств они стали основными технологиями и оказывают существенное влияние на совершенствование процесса управления перевозками.

В качестве приоритетных направлений внедрения информационных технологий определены:

- информационная интеграция на транспорте и в логистике на основе сетевых технологий с целью обеспечения мониторинга движения грузов;
- электронные формы контрактов, перевозочных документов и платежей.

Проблемы простоя вагонов на пограничных переходах решают путем внедрения технологий, основанных на электронном документообороте.

Поэтапно внедряемая информатизация железнодорожного транспорта способствует:

- повышению производительности труда;
- исключению потерь времени;
- более рациональному использованию трудовых и материальных ресурсов.

Оптимальное использование возможностей информационной системы железных дорог позволяет существенно снизить затраты на управление при организации и осуществлении внутренних и международных перевозок различными видами транспорта, обеспечивает повышение качества транспортных и логистических услуг.

3.3 Значение телекоммуникаций в создании цифровой железной дороги

Основной задачей оперативного управления перевозками является обеспечение выполнения плана перевозок и оптимального использования технических средств в реальных условиях эксплуатации. Реализация этой задачи осуществляется через диспетчерский аппарат на всех уровнях управления.

Основной принцип диспетчерского руководства состоит в том, что вся оперативная работа по обеспечению движения поездов сосредоточена в руках ответственного, опытного, обладающего полными правами работника – диспетчера определенного уровня и направления деятельности, отвечающего за работу вверенного ему участка.

Впервые диспетчерская система управления движением поездов была применена в России в 1918 г. на железных дорогах на Дальнем Востоке и в Сибири. Несколько позднее часть аппаратуры была снята с Забайкальской железной дороги и установлена на участке Москва – Мытищи –

Александров, где в ночь с 7 на 8 октября 1923 г. российскими связистами-железнодорожниками была организована диспетчерская связь и диспетчерское регулирование движением поездов поездным диспетчером.

В 1925 г. в Лондоне состоялась X сессия Международного железнодорожного конгресса, в решениях которой отмечалось, что «повсюду, где вводилась диспетчерская система, достигалось увеличение коммерческой скорости движения товарных поездов и улучшение экономических условий эксплуатации второстепенных линий или же оказывалось возможным обойтись без производства некоторых новых работ». Везде отмечалось, что расходы на введение и содержание диспетчерской системы с лихвой покрывались экономическими выгодами, являющимися следствием применения диспетчерской системы».

Пионером в деле внедрения диспетчерской системы на российских железных дорогах является *Д. И. Каргин*, который в статье «Диспетчерская система» дает точное определение её как «особой системы регулирования движения поездов на целом участке дороги, причем это регулирование осуществляется одним полномочным в своих распоряжениях лицом – так называемым диспетчером. Диспетчер имеет быструю и непосредственную связь со всеми станциями руководимого им участка и благодаря этому может вести на каждый момент исполненный график движения поездов».

Сегодня диспетчерское руководство прочно вошло не только в систему управления всеми видами транспорта, но и в систему управления инфраструктурой, административной работой, технологическими процессами.

В последние годы в связи с реорганизацией отрасли структура управления эксплуатационной работой на российском железнодорожном транспорте непрерывно изменяется и совершенствуется. Используются новые информационные технологии, внедряется новая вертикаль управления перевозками (рис. 3.8).

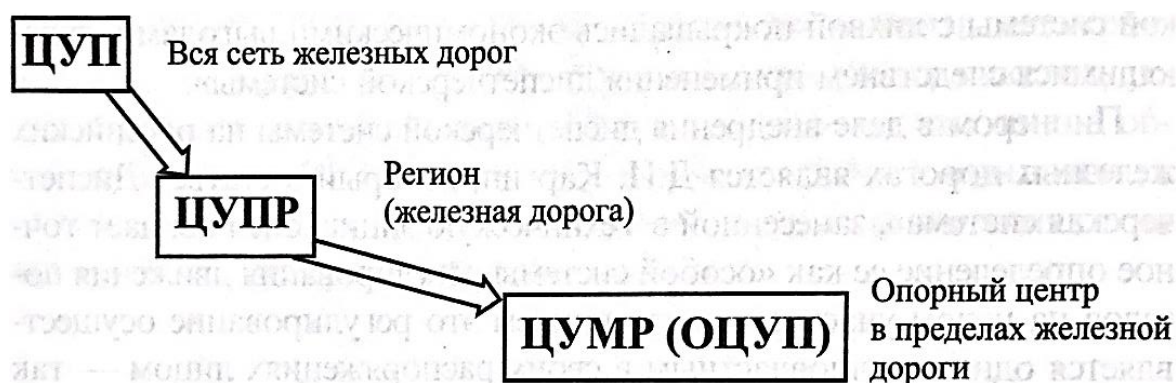


Рис. 3.8. Новая вертикаль управления

Новая вертикаль управления включает в себя **центр управления перевозками (ЦУП)** в составе ОАО «РЖД», обеспечивающий управление перевозками на уровне всей сети.

В пределах каждой железной дороги (региона) организуются **региональные (дорожные) центры управления перевозками (ЦУПР)** и **единые диспетчерские центры управления движением поездов (ЕДЦУ)**.

В пределах опорного района в рамках каждой железной дороги функционируют опорные **центры управления перевозками или центры управления местной работой (ЦУМР)**.

Новая вертикаль управления по данной схеме внедряется постепенно с учетом ее эффективности за счет непрерывного наращивания уровня автоматизации, информатизации, постановки новых задач и оптимизации самого процесса управления.

Взаимодействие подразделений в системе управления перевозками на уровне сети железных дорог показано на рис. 3.9.

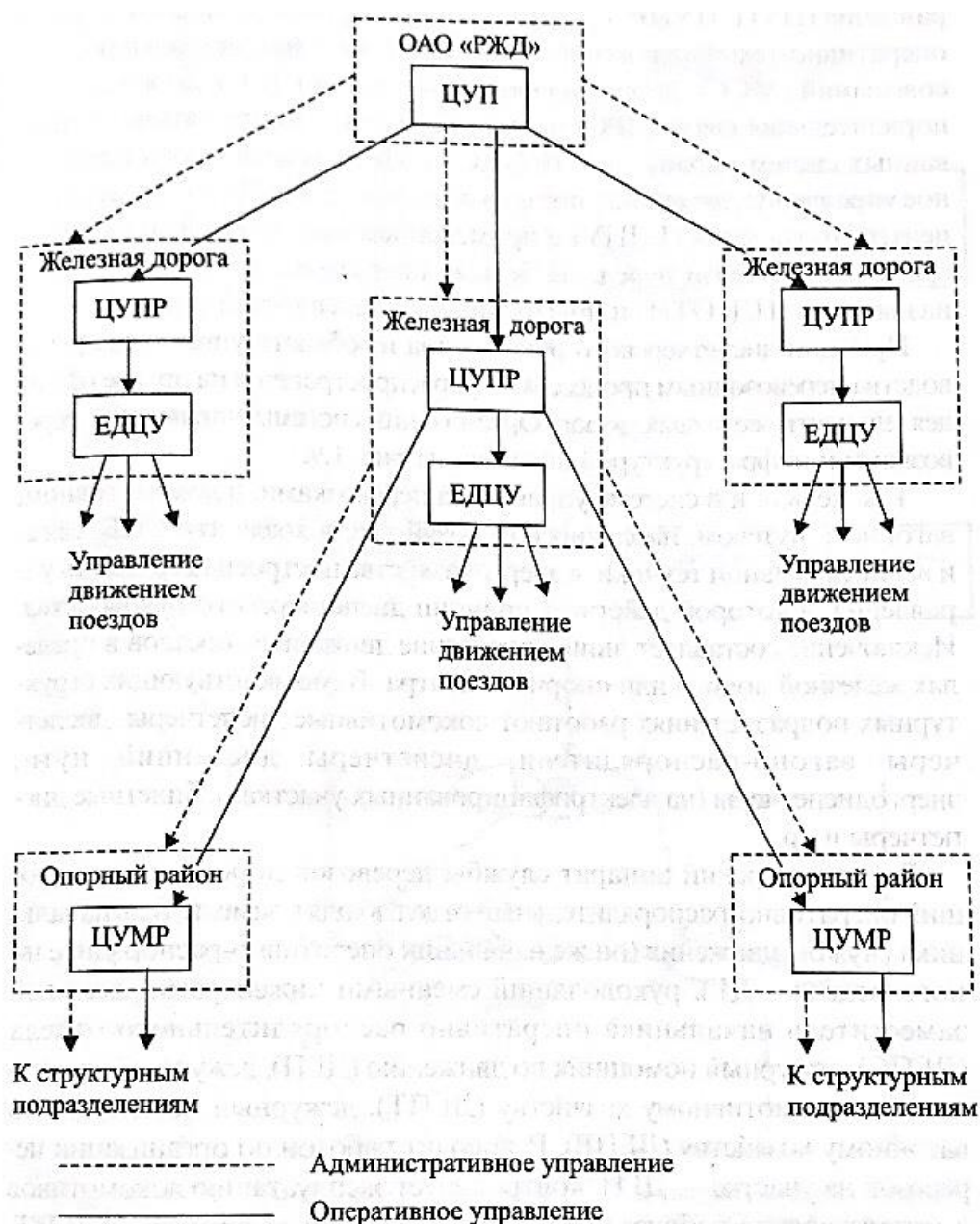


Рис. 3.9. Взаимодействие подразделений в системе управления перевозками

Управление перевозочным процессом осуществляется посредством составления и реализации технических норм эксплуатационной работы. Для этого необходимы следующие сведения:

- о заявленных объемах перевозок;
- о планах производства продукции;
- об ожидаемом выполнении этих планов;
- отчетные данные по производству.

Технология формирования сменно-суточных планов эксплуатационной работы предусматривает вертикальное и горизонтальное информационное обеспечение.

Вертикальное информационное обеспечение «снизу-вверх» предназначено для получения исходной информации. Горизонтальные информационные связи используются для согласования выполнения планов между смежными подразделениями. Вертикальное информационное обеспечение «сверху вниз» используется для передачи приказов на выполнение заданий.

При этом управление можно подразделить на административное и оперативное. Административное требует организации телефонной или телеграфной связи между административными структурами (ОАО «РЖД» – железная дорога – опорный район) и обеспечивается общетехнологической телефонной связью и документальными видами связи (факсимильная, телеграфная).

Оперативное обеспечивает взаимодействие пунктов новой вертикали управления (ЦУП – ЦУПР – ЦУМР) и требует организации специальной оперативно-технологической телефонной связи (магистральная связь совещаний, дорожная связь совещаний, дорожно-распорядительная связь и связи передачи данных автоматизированных систем управления).

Непосредственное оперативное управление движением поездов ведется из единого диспетчерского центра управления с применением поездной диспетчерской связи, связи передачи данных оперативно-технологического назначения и других видов отделенческой связи.

Принцип диспетчерского руководства из области управления руководством перевозочным процессом был распространен и на другие сферы деятельности железных дорог. Организация системы управления перевозками и инфраструктурой показана на рис. 3.10.

Так же, как и в системе управления перевозками, в локомотивном, вагонном, путевом, пассажирском хозяйстве, в хозяйстве СЦБ, связи и др. построена вертикаль управления, в которой действует принцип диспетчерского руководства. Исключение составляет лишь управление движением поездов в пределах железной дороги или опорного центра.

В диспетчерский аппарат службы перевозок дороги, составляющий оперативно-распорядительный отдел, входят: заместитель начальника службы движения (он же начальник оперативно-распорядительного отдела), руководящий сменными инженерами, дежурный помощник по движению, дежурный помощник по локомотивному и вагонному хозяйству и др.

Для выполнения своих функций работники диспетчерского аппарата

имеют в распоряжении местную телефонную связь, дальнюю телефонную и телеграфную связь, оперативно-технологическую дорожно-распорядительную связь, дорожную связь совещаний. Кроме того, в оперативно-распорядительных отделах оборудуются автоматизированные рабочие места диспетчера для обмена данными с дорожным информационно-вычислительным центром (ДИВЦ).

Аналогичная структура диспетчерского руководства действует и на уровне всей сети, в центре которой находятся департаменты ОАО «РЖД».

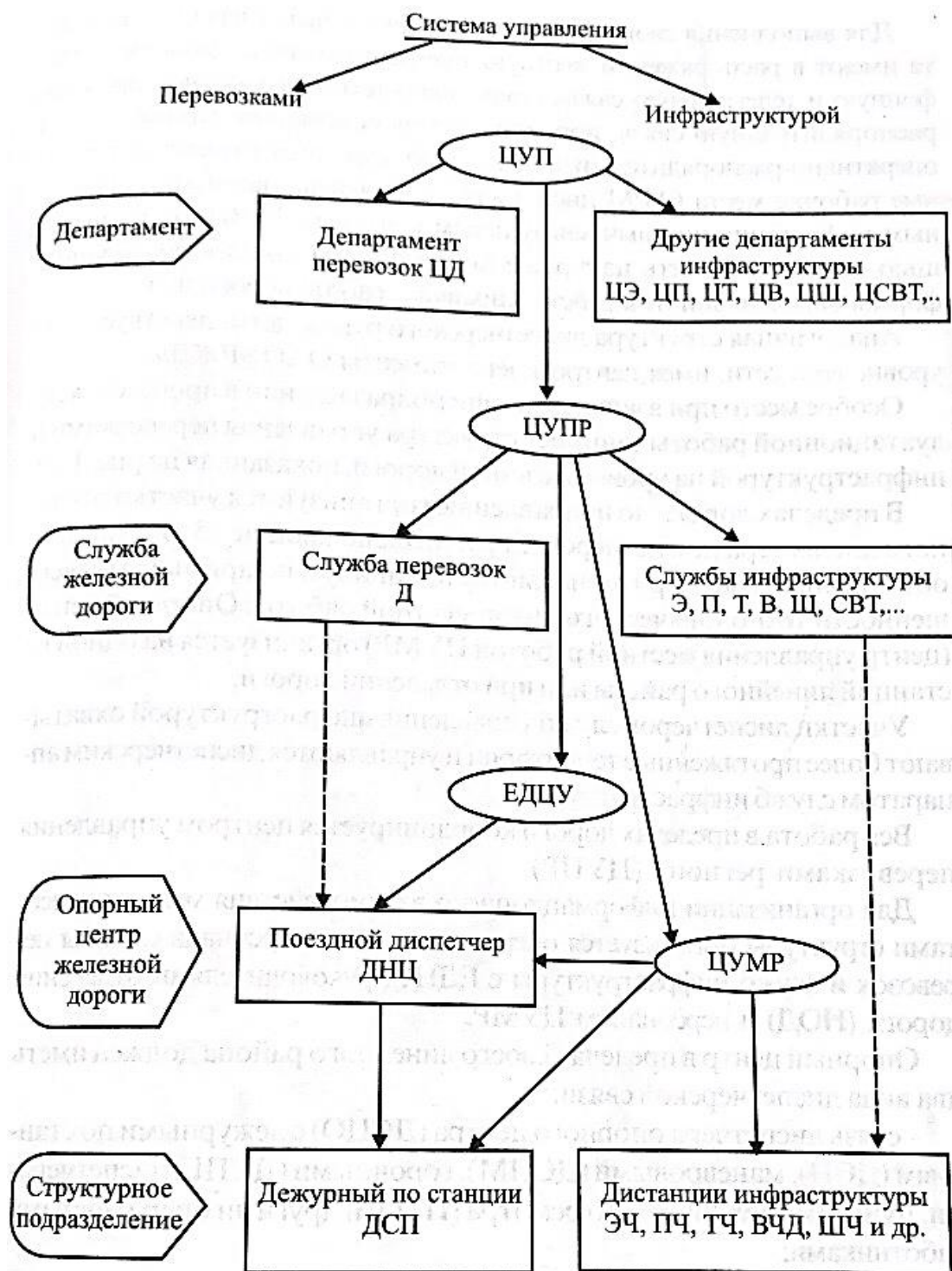


Рис. 3.10. Управление перевозками и инфраструктурой отрасли

Особое место при взаимодействии подразделений в процессе эксплуатационной работы занимает структура управления перевозками и инфраструктурой на уровне железной дороги (рис. 3.11).

Вся работа в пределах дороги координируется центром управления перевозками региона (ЦУПР).

Для организации информационного взаимодействия между элементами структуры обеспечивается оперативная связь персонала службы перевозок и служб инфраструктуры с ЕДЦУ, руководителями отделения дороги и персоналом ЦУМР.

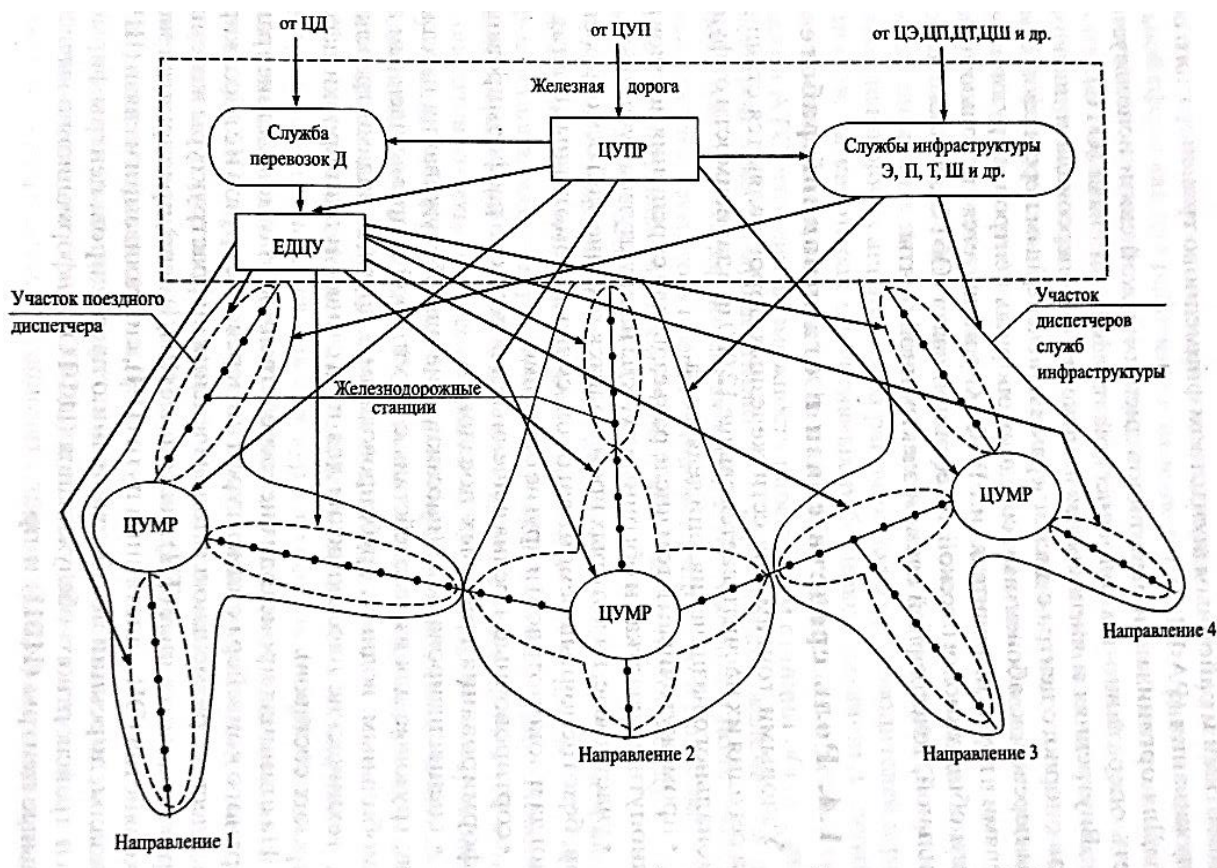


Рис. 3.11. Управление перевозками и инфраструктурой на полигоне дороги

Опорный центр в пределах своего линейного района должен иметь два вида диспетчерской связи:

- связь диспетчера опорного центра с дежурными по станциям (ДСП), маневровыми, горочными диспетчерами, пунктами технического осмотра (ПТО) и другими оперативными работниками;
- связь грузового диспетчера с приемосдатчиками (ПС), товарными кассирами, начальниками станций (ДС), с крупными клиентами и районным агентством фирменного транспортного обслуживания (РАФТО).

Для организации этих видов диспетчерской связи используется сеть оперативно-технологической телефонной связи.

Внутренняя и внешняя связь инженерного персонала и диспетчеров опорного центра с диспетчерами и инженерным персоналом службы перевозок, абонентами соседних опорных центров, грузополучателями и грузоотправителями, РАФТО организуется с использованием сети общетехнологической телефонной связи, а также факсимильной, телеграфной связи и электронной почты.

Узловыми точками на сети железных дорог являются станции. В настоящее время насчитывается свыше 12 000 станций, и в зависимости от функционального назначения они делятся:

- на промежуточные (в том числе разъезды для скрещения поездов на однопутных участках и обгонные пункты на двухпутных участках);
- участковые, на которых производится технический осмотр составов, безотцепочный ремонт вагонов, смена локомотивных бригад (а иногда и локомотивов) и другие операции;
- сортировочные, предназначенные для полного расформирования и формирования грузовых поездов;
- специализированные (пассажирские для обслуживания пассажиров; грузовые для взаимодействия с клиентурой и промышленными видами транспорта; технические пассажирские для подготовки и экипировки пассажирских составов).

На станциях происходит непосредственное взаимодействие транспортного конвейера с клиентурой по перевозке грузов и с пассажирами. Здесь же размещаются подразделения инфраструктуры железных дорог: локомотивные (ТЧ) и вагонные (ВЧД) депо, предприятия энергохозяйства (ЭЧ), дистанции пути (ПЧ), сигнализации и связи (ШЧ), вокзалы, дирекции по обслуживанию пассажиров, информационно-вычислительные центры (ИВЦ) и пр.

Для нормальной работы станций необходимо обеспечить как местную телефонную связь, так и оперативно-технологическую станционную связь, а также мобильную связь с подвижными объектами, видеонаблюдение, громкоговорящую вокзальную и станционную связь.

Местная телефонная связь организуется с использованием современных цифровых автоматических телефонных станций (АТС) с установкой телефонных аппаратов на рабочих местах руководителей и работников, на квартирах оперативных работников различных служб. Местная железнодорожная АТС в крупных городах соединяется с городской АТС, что дает возможность работникам станции общаться с клиентами, а местному населению – со справочными железнодорожными службами. Телефонная связь общего служебного пользования организуется не только в пределах одной станции, но и позволяет общаться работникам разных железнодорожных станции между собой.

Система станционной оперативной связи строится с применением специальных коммутаторов станционной связи, которые устанавливаются у руководящих работников станции. Помимо линий оперативных работников в эти коммутаторы включаются каналы оперативно-технологической

связи, что дает возможность руководству станции общаться с поездным и энергодиспетчером, работниками дистанций пути, связи, СЦБ, локомотивным и вагонным депо и соседними станциями.

К *станционной оперативной телефонной связи* относится: связь дежурного по станции (ДСП) со стрелочными постами и прямыми абонентами; связь станционного диспетчера (ДСЦС) с руководством станции, маневровым диспетчером, дежурным по горке и другими работниками станции.

Стрелочная связь организуется по радиальной схеме, как это показано для обгонного пункта на двухпутном участке на рис. 3.12. К ее проводам не разрешается подключать другие телефонные аппараты.

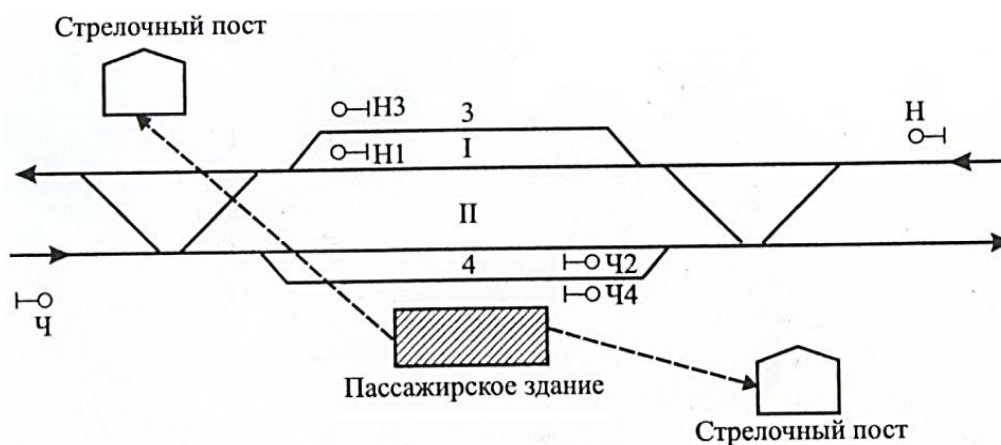


Рис. 3.12. Организация стрелочной связи на обгонном пункте

Директорская связь служит для прямой телефонной связи руководящих работников управления, отделения, крупных станций железных дорог, а также других предприятий железнодорожного транспорта с подчиненными им оперативными работниками. Для этой цели у руководителя устанавливают специальный кнопочный директорский коммутатор с усиленной установкой, а у абонентов – телефонные аппараты, подключенные к нему.

На вокзалах крупных пассажирских станций организуется билетно-диспетчерская кассовая связь для руководства работой билетных кассиров. При этом у билетного диспетчера устанавливается коммутатор оперативной связи, к которому подключаются абонентские громкоговорящие установки всех кассиров, начальника вокзала, дежурного по вокзалу.

Во всех помещениях вокзала, залах ожидания и на платформах организуется система громкоговорящей радиосвязи для извещения пассажиров о прибытии и отправлении поездов, работников транспортной милиции о происшествиях и пр. В залах ожидания для наблюдения за порядком организуется система телевизионного обзора.

Особое место занимает организация информационного обеспечения на сортировочных и крупных грузовых станциях. Здесь необходимо организовать и телефонную, и телеграфную связь, и передачу данных, и радиосвязь с подвижными объектами, и парковую громкоговорящую связь, и пр.

В качестве примера на рис. 3.13 показана организация информационного взаимодействия станционного технологического центра (СТЦ) с работниками станции, дорожным информационно-вычислительным центром (ДИВЦ) и ЕДЦУ для сортировочной станции с последовательным расположением парков.

Станционный диспетчер (ДСЦС) имеет прямую телефонную связь с дежурными по парку прибытия (ДСПП), дежурным по горке (ДСПГ), дежурным по паркам формирования (ДСПФ) и отправления (ДСПО), все они также имеют связь между собой. Кроме того, необходимо информационное взаимодействие ДСПП и ДСПО с пунктами технического (ПТО) и коммерческого (ПКО) осмотра вагонов.

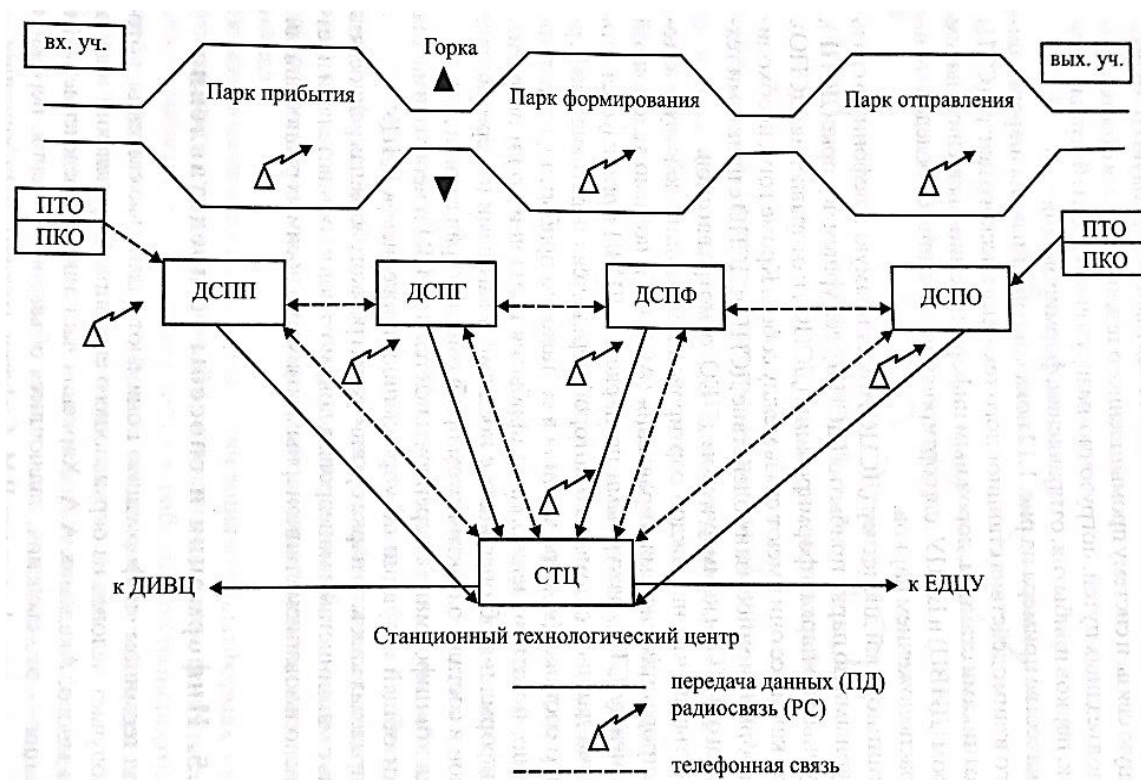


Рис. 3.13. Организация связи на сортировочной станции

Учитывая, что на каждой сортировочной станции действует автоматизированная система управления, помимо телефонной связи между СТЦ, дежурными по паркам и ДИВЦ организуется сеть передачи данных, с помощью которой передается оперативная информация о составах (номера вагонов в составах по прибытию, по формированию, по отправлению, план прибытия поездов и др.) и оперативная информация об операциях с поездами и вагонами (о перестановке вагонов в составе, о фактическом прибытии и отправлении и др.). Вся эта информация перерабатывается в ДИВЦ и необходима для оценки общей ситуации по управлению движением в ЕДЦУ. В пределах каждого парка организуется громкоговорящая радиосвязь, связь с машинистами маневровых локомотивов и составителями поездов с использованием стационарных, возимых и носимых радиостанций.

4 СЕТИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

4.1 Сети и направляющие системы электросвязи

Система электросвязи – это совокупность организационно-технических средств, состоящая из линий связи, систем передачи, узлов коммутации, оконечных пунктов, абонентских линий и магистральных каналов, обеспечивающих передачу сигналов от источников к получателям, расположенных в разных точках. Обобщенная структурная схема системы связи представлена на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Обобщенная структурная схема системы связи

В зависимости от применяемой среды распространения различают проводные каналы связи (металлические провода, оптическое волокно) и радиоканалы (открытое пространство).

Система связи (см. рис. 4.1) обеспечивает обмен сообщениями между двумя пунктами. Для возможности обмена сообщениями между любыми парами абонентов организуются сети связи. С их помощью происходит передача и распределение сообщений между любой парой потребителей (абонентов). Узлы распределения и абонентские пункты могут соединяться в сеть по-разному в зависимости от применяемой топологии.

Существует несколько топологических структур.

Полносвязная сеть («каждый с каждым», рис. 4.2, а) обладает очень высокой надежностью, оперативностью и качеством передачи, но при большом количестве узлов коммутации (УК) на большой территории становится неэкономичной.

Радиальная сеть («звезда», рис. 4.2, б) является самой экономичной структурой, но обладает малой надежностью, так как выход из строя центрального узла полностью парализует ее.

Радиально-узловая сеть («пирамидальная», рис. 4.2, в) строится по иерархическому принципу, когда узлы низшей степени подчиняются узлам

высшей ступени иерархии. Она имеет лучшие, чем радиальная, характеристики надежности и лучшие, чем полносвязная, по экономичности.

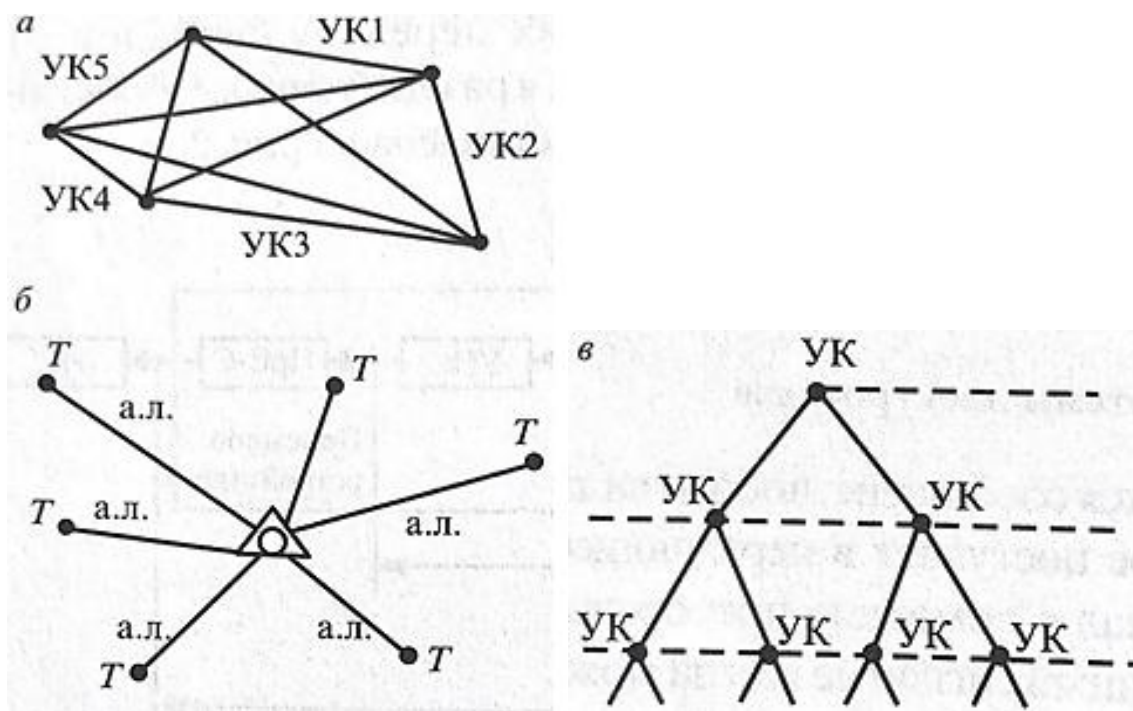


Рис. 4.2. Классические топологические структуры

Помимо упомянутых классических топологических структур, находят применение их разновидности и комбинации.

На железнодорожном транспорте часто встречаются линейные структуры с последовательным (рис. 4.3, а) или параллельным (рис. 4.3, б) включением терминалов. Так строятся сети диспетчерского руководства на участках, локальные сети в административных зданиях и на территориях замкнутых технологических производств. В локальных сетях часто применяют кольцевую (рис. 4.3, в) и древовидную (рис. 4.3, г) структуры.

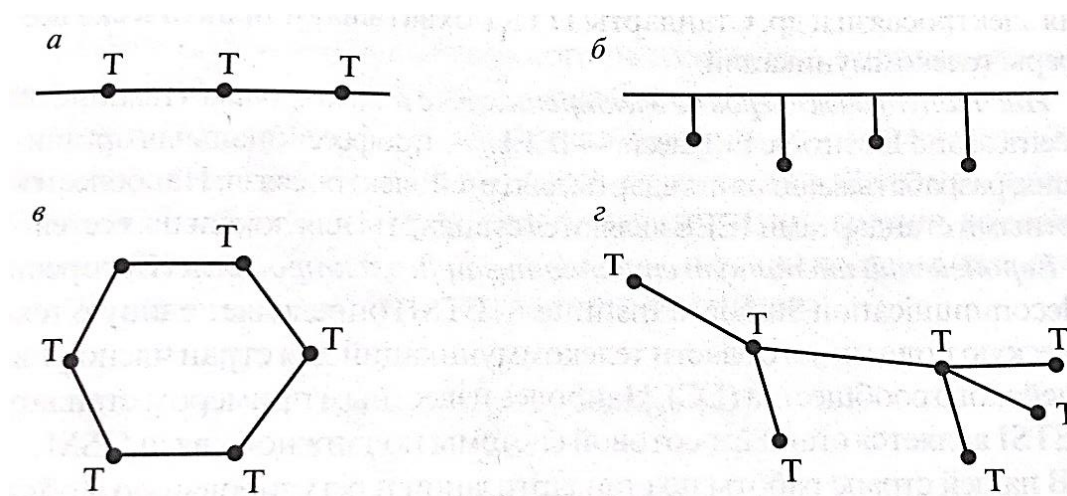


Рис. 4.3. Другие топологические структуры

Различают *первичную сеть связи (ПСС)* и *вторичные сети связи (ВСС)*.

Первичная сеть включает в себя направляющие системы и системы передачи, с помощью которых организуются стандартные каналы (аналоговые или цифровые) для передачи любых сообщений.

Вторичные сети, состоящие из узлов коммутации, специализированных терминалов, абонентских линий, используя предоставленные им стандартные каналы ПСС, обеспечивают распределение сообщений определенного вида (телефонные разговоры, телеграфные и факсимильные сообщения и пр.) и доведение их непосредственно до пользователя.

При строительстве и эксплуатации как первичной, так и вторичных сетей связи должны соблюдаться единые нормы и международные стандарты. Их отсутствие или несоответствие определенным требованиям может привести к невозможности информационного обмена как внутри любой страны, так и на международном уровне. Вот почему созданы и функционируют международные организации стандартизации в области телекоммуникаций.

Сектор стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи *МСЭ-Т (Telecommunication Standardisation Sector of International Telecommunication Union – ITU-T)* – специализированный орган ООН, с 1993 г. преемник *Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии (МККТТ)*.

В состав МСЭ-Т входит сектор радиосвязи (МСЭ-Р), сектор развития электросвязи и др. Стандарты ITU-T охватывают практически все сферы телекоммуникаций.

В нашей стране работы по стандартизации и регулированию в области связи под эгидой Государственного комитета по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт) ведет Министерство связи РФ и его подразделения: Государственная комиссия по электросвязи (ГКЭС), Государственная комиссия по распределению частот (ГКРЧ) и Главсвязьнадзор. На железнодорожном транспорте действуют еще ведомственные нормы и руководящие технические материалы (РТМ) на средства технологической связи.

Все сигналы могут быть подразделены на периодические и непериодические. Периодическим называют сигнал, значения которого повторяются через одинаковые промежутки времени. Для непериодических сигналов это условие не выполняется.

Простейшим периодическим сигналом является гармоническое колебание (рис. 4.4)

$$S(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где A – амплитуда синусоиды;

ω – угловая частота;

φ_0 – начальная фаза.

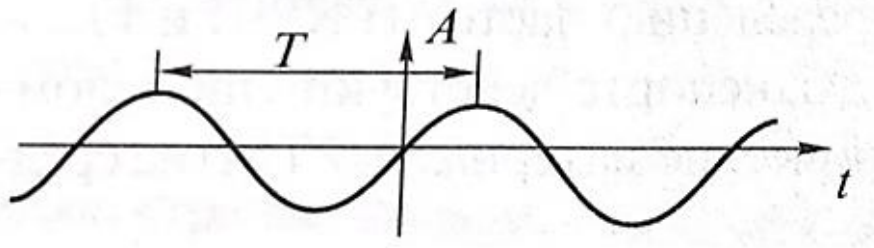


Рис. 4.4. Гармоническое колебание

Другим примером периодического сигнала является последовательность прямоугольных импульсов (рис. 4.5).

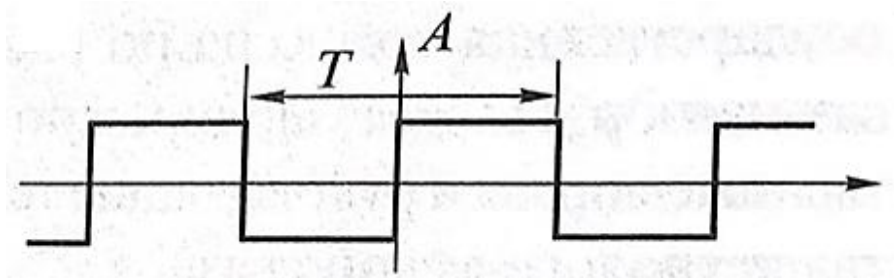


Рис. 4.5. Последовательность прямоугольных импульсов

Периодический сигнал произвольной формы можно представить как сумму синусоид с разными амплитудами и частотами. Факт, что любой периодический сигнал можно разложить на сумму синусоид, впервые доказал француз *Ж. Фурье*. Такой набор синусоид получил название спектра сигнала, который описывается *рядом Фурье*:

$$S(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(k\omega_1 t + \varphi_k),$$

где A_0 – постоянная составляющая сигнала;

ω_1 – угловая частота первой гармоники сигнала;

k – номер гармоники

Если изобразить амплитуду A_k и фазу φ_k каждой гармоники на рисунке линиями (рис. 4.6), то получим спектральные диаграммы сигнала.

Линии, соответствующие амплитудам и фазам гармоник, называют *спектральными линиями*.

Распределение амплитуд A_k гармоник по частоте называют спектром амплитуд (рис. 4.6, а), а распределение фаз φ_k – спектром фаз (рис. 4.6, б) этого сигнала.

Когда интересуются не значениями амплитуд и начальных фаз, а только их частотами, то говорят о *спектре частот сигнала*.

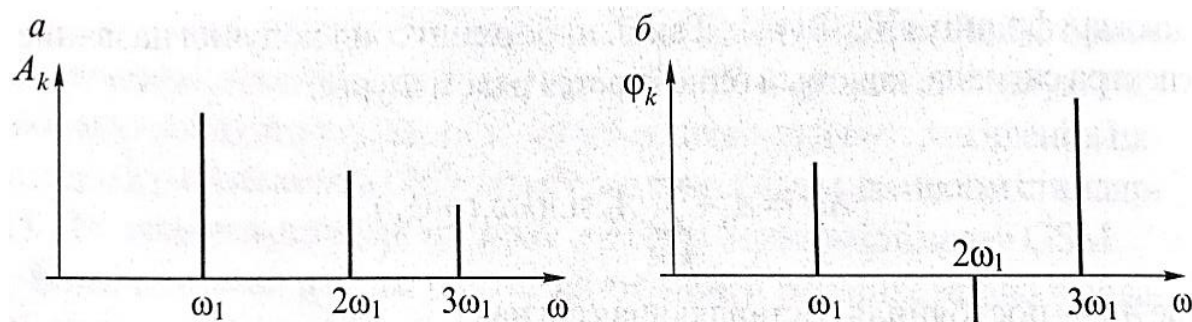


Рис. 4.6. Спектральная диаграмма сигнала

Так как спектр периодического сигнала состоит из отдельных спектральных линий, его называют **дискретным**.

Непериодический сигнал легко получить из периодического, увеличивая период до бесконечности. При этом частота первой гармоники понижается, спектральные линии становятся гуще, амплитуда гармоник уменьшается. Это происходит от того, что энергия сигнала, оставаясь неизменной, перераспределяется между большим числом гармоник. При этом доля каждой гармоники в общем сигнале падает. Следовательно, при переходе к непериодическому сигналу мы получаем в его спектре не отдельные гармоники, а бесконечное число синусоидальных колебаний с бесконечно близкими частотами, заполняющими всю шкалу частот.

Так как сравнивать бесконечно малые величины неудобно, то вместо амплитуд A_k по оси ординат откладывают произведение $A_k \cdot T$, которое с увеличением периода T остается постоянным.

Понятие *спектра амплитуд* здесь лишается смысла и заменяется понятием **спектральной плотности амплитуд $S(\omega)$** , которая указывает на удельный вес бесконечно малой амплитуды синусоидального колебания в любой бесконечно узкой полосе частот.

Понятие спектра фаз заменяется понятием **спектральной плотности фаз**.

Таким образом, спектр непериодического сигнала является в общем случае не дискретным, а непрерывным (рис. 4.7).

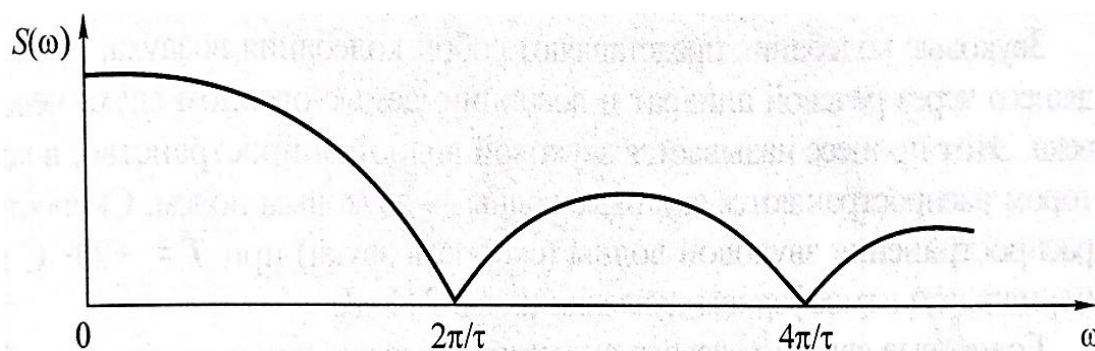


Рис. 4.7. Спектр непериодического сигнала

Существует очень важное понятие – практическая ширина спектра сигнала. Если полоса пропускания какого-либо устройства или линии недостаточно широка, чтобы пропустить все гармоники, существенно влияющие на форму сигнала, то сигнал на выходе этого устройства будет искажен. Следовательно, можно сказать, что ширина полосы пропускания любого элемента системы связи не должна быть меньше ширины спектра сигнала.

Сигналы в системе электросвязи можно разделить на две большие группы: *непрерывные* и *дискретные*.

К непрерывным сигналам относятся речевые, факсимильные, сигналы звукового и телевизионного вещания.

К дискретным относятся телеграфные и сигналы передачи данных. Каждый из них имеет свои особенности и характеристики.

Наиболее распространенными являются телефонные (речевые) сигналы.

Звуковые колебания представляют собой колебания воздуха, проходящего через речевой аппарат и воспринимаемые органом слуха человека. Этот процесс называется звуковой волной, а пространство, в котором распространяются звуковые волны, – звуковым полем. Скорость распространения звуковой волны (скорость звука) при $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нормальном атмосферном давлении равна 344 м/с.

Звуковые колебания сопровождаются изменением давления в звуковом поле, которое изменяется по закону колебания источника звука. Если источник создает колебания, изменяющиеся по синусоидальному закону, то и давление звука будет изменяться по тому же закону:

$$P = P_m \sin \omega t.$$

За единицу звукового давления принято давление с силой в 1 Н на единицу площади (Н/м²).

Для получения формы кривой звукового давления, создаваемого речью человека, нужно сложить синусоидальные кривые основного тона и обертонов. Из-за наличия большого числа обертонов форма результирующей кривой будет сложной, как это показано на рис. 4.8 для звука «А», произнесенного высоким мужским голосом с частотой основного тона 200 Гц (период основного тона 5 мс).

Органами речи и слуха человека воспроизводятся и воспринимаются звуки с частотами от 20 до 20 000 Гц. Однако хорошая разборчивость речи и удовлетворительная натуральность ее звучания сохраняется в диапазоне от 300 до 3400 Гц. Эта полоса частот рекомендована МСЭ-Т в качестве стандартной для телефонной передачи.

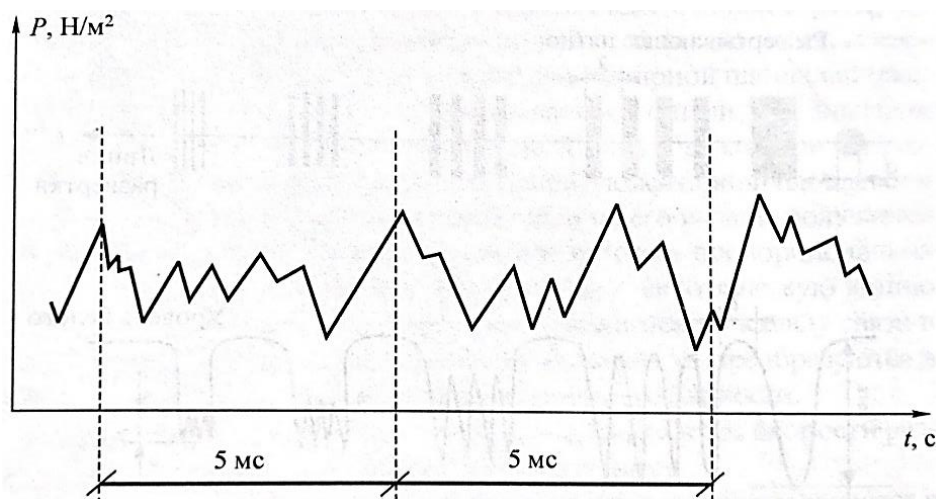


Рис. 4.8. Кривая звукового давления

Импульсы основного тона имеют много гармоник (рис. 4.9), причем их амплитуды убывают с увеличением частоты (кривая 1).

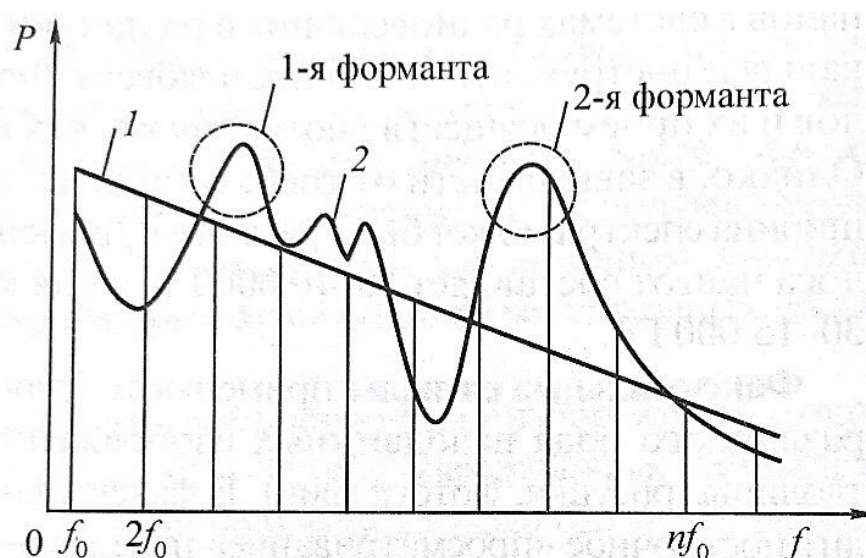


Рис. 4.9. Импульсы основного тона человеческого голоса

Некоторые частотные составляющие речи усилены (кривая 2), а другие ослаблены. Усиленные области спектра частот называют формантами. Звуки речи разных людей отличаются числом формант, которое колеблется от двух до шести. Форманты располагаются в области частот 250...6000 Гц, но большинство из них сосредоточено в диапазоне частот 300...3400 Гц. Между формантами лежат менее мощные частотные составляющие. Однако именно они придают голосу каждого человека индивидуальность, позволяющую узнавать говорящего.

Источниками звука при передаче сигналов в системах радиовещания и радиооповещения являются музыкальные инструменты или голос человека. Формирование этих сигналов и их прием осуществляются так же, как

и телефонных сигналов. Однако в зависимости от требований к качеству воспроизведения ширина спектра может быть различна. Для каналов первого класса полоса частот составляет 50...10 000 Гц, а для каналов высшего класса 30...15 000 Гц.

Факсимильные сигналы применяются для передачи на расстояние различного рода неподвижных изображений.

В факсимильных аппаратах происходит построчное «просматривание» передаваемого изображения световым пятном (рис. 4.10), формируемым системой оптических линз. Освещаемая площадка невелика по размеру (обычно $d = 0,02 \dots 0,04 \text{ мм}^2$).

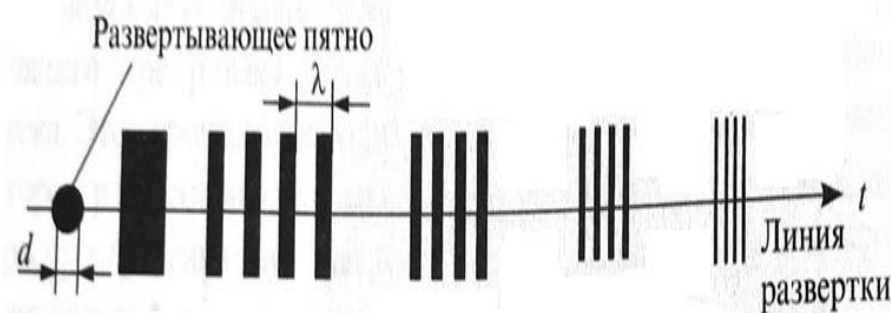


Рис. 4.10. «Просматривание» передаваемого изображения световым пятном

Это световое пятно перемещается сначала вдоль одной строки, затем переходит на другую и движется по ней до конца последней строки.

Свет, отражаясь от каждой элементарной площадки (рис. 4.11), попадает на фотоэлемент и вызывает в его цепи ток. Значения тока зависят от яркости отраженного света.

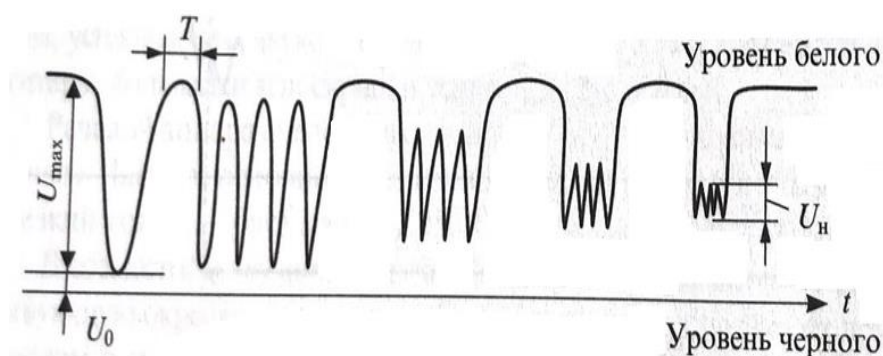


Рис. 4.11. Ток в цепи фотоэлемента

Таким образом, при переходе светового пятна на изображении от одной элементарной площадки к другой ток в цепи фотоэлемента изменяется и на его выходе получается последовательность импульсов, амплитуда которых пропорциональна яркости передаваемого участка. Мы получаем

электрическую копию изображения. Электрические импульсы передаются по каналу связи в пункт приема, где они в той же последовательности преобразуются в видимые элементы изображения соответствующей яркости.

Ширина спектра факсимильного сигнала зависит от скорости развертки изображения и размеров светового пятна.

Для сохранения хорошей степени «прямоугольности» импульсов нужно передавать, кроме основной гармоник, еще и несколько высших. Следовательно, ширина спектра факсимильного сигнала может колебаться в пределах 1000...3000 Гц.

Любое подвижное изображение – это смена через каждые 40 мс одного неподвижного изображения другим (25 кадров в секунду). Каждое неподвижное изображение содержит свыше полумиллиона элементарных площадок. Значит, каждый элемент изображения придется рассматривать в течение одной полумиллионной доли от отведенных на весь кадр 40 мс, т.е. на одном элементе развертывающий луч «задерживается» не более 80 миллиардных долей секунды (80 нс).

Если предположить, что передается черно-белое изображение, то всего будет 625 строк, их следует умножить на 833 элемента, в результате получим 520625 элементарных площадок. При передаче 25 кадров в секунду получаем $25 \times 520625 = 133015625$ элементов и при переходе черного на белое, или наоборот, происходит примерно 6 500 000 раз в секунду. Это верхняя граница ширины спектра. Нижней границей считают 50 Гц – частоту звукового сопровождения. Таким образом, *спектр телевизионного сигнала* лежит в пределах от 50 Гц до 6,5 МГц.

Данные сигналы относятся к дискретным. И в телеграфии, и в передаче данных используют импульсно-кодовый метод передачи.

Скорость передачи импульсов зависит от их длительности t_0 , определяется выражением

$$B = 1/t_0$$

и имеет размерность **Бод**, в честь француза Ж. Э. Бодо – изобретателя синхронного телеграфного аппарата.

В телеграфии используются скорости 50, 100, 200 Бод, в передаче данных 600, 1200, 2400 Бод и выше.

Импульсы можно уверенно фиксировать на приеме, если для их передачи используется ширина полосы частот, численно равная скорости передачи. Следовательно, для телеграфирования необходима полоса частот 50 Гц, а для среднескоростной передачи данных – примерно от 1200 Гц до 4800 Гц.

Составной частью системы электросвязи является линия связи, по которой распространяются электромагнитные сигналы. В зависимости от используемой среды распространения сигналов направляющие системы принято делить на проводные и радиолнии.

Линия связи – инженерное сооружение, проходящее по определенной трассе, снабженное устройствами защиты от внешних влияний.

К линиям связи предъявляются следующие основные требования:

- возможность осуществления передачи на требуемые расстояния;
- широкополосность, пригодность для передачи различных видов сигналов;
- защищенность от взаимного влияния и внешних помех, а также от физических воздействий;
- стабильность параметров во времени;
- экономичность при строительстве и эксплуатации.

Проводные линии связи подразделяются на *воздушные* и *кабельные*.

Воздушные линии связи (ВЛС) представляют собой неизолированные провода (стальные, медные, биметаллические) диаметром 3...5 мм, закрепленные на изоляторах на некотором расстоянии друг от друга, подвешенных на деревянных или железобетонных опорах. Роль изоляции между парой проводов выполняет воздух. Имеют малый частотный диапазон (до 150 кГц) и в настоящее время практически не применяются.

Кабель представляет собой довольно сложную конструкцию, состоящую из изолированных проводов, заключенных в общую оболочку. Сверху накладываются различные покровы, защищающие кабель от механических повреждений. В качестве материала проводов используются медь, алюминий. Изоляцией служит кабельная бумага или различные разновидности пластмасс. Оболочка делается из свинца или полихлорвинила. Кабели прокладываются под землей непосредственно в грунт или в кабельной канализации (асбоцементные или полиэтиленовые трубы), подвешиваются на стенах зданий, на опорах контактной сети железных дорог, на линиях электропередачи.

По конструкции, взаимному расположению проводников и используемому материалу различают симметричные городские и междугородные, коаксиальные, волоконно-оптические кабели (рис. 4.12).

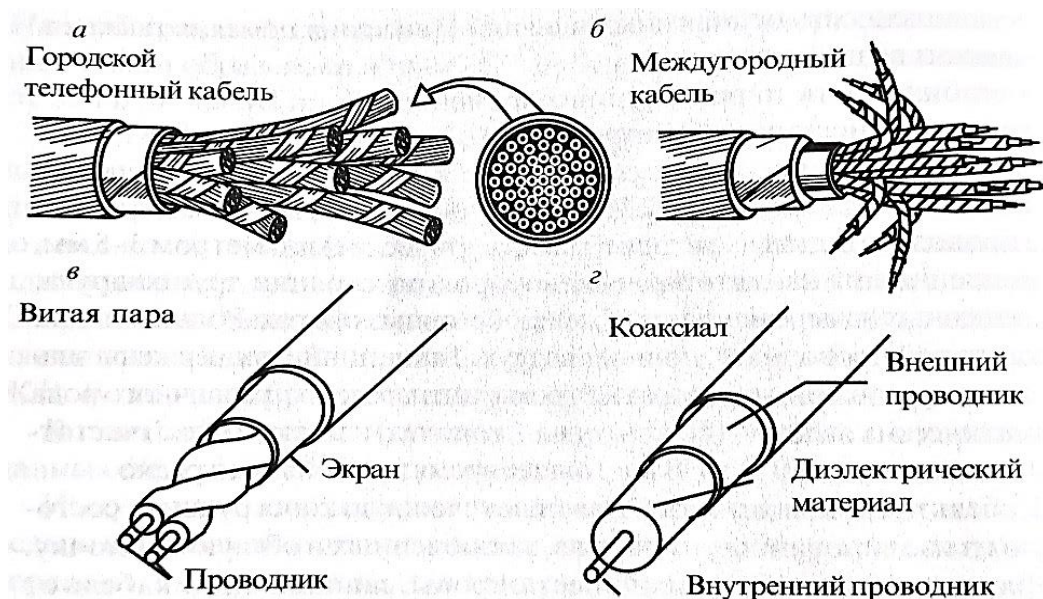


Рис. 4.12. Конструкция медножильных кабелей

Городские телефонные кабели (рис. 4.12, *а*) могут содержать от 10 пар жил (распределительные) до 500, 1000 и более пар жил (соединительные). Прокладываются в асбоцементных трубах. Это кабели с парной скруткой жил.

Междугородные кабели (рис. 4.12, *б*) содержат намного меньше пар проводов (10...20). Они имеют симметричную конструкцию с парной или четверочной скруткой жил. Прокладываются в грунте или в полиэтиленовых трубах. Диапазон частот магистральных кабелей составляет 252 кГц.

В локальных сетях, структурированных кабельных системах внутри зданий применяют кабели с парной скруткой (*витая пара Twisted Pair TP*), коаксиальные кабели и волоконно-оптические кабели (ВОК).

Витая пара (рис. 4.12, *в*) может быть двух видов: неэкранированная и экранированная.

Основные требования к симметричным кабелям определены в рекомендации МСЭ-Т G.613.

Коаксиальный кабель (рис. 4.12, *г*) представляет собой конструкцию из одного сплошного проводника, помещенного внутрь другого, который представляет собой полый цилиндр. Проводники изолированы друг от друга диэлектриком.

Существуют различные типы коаксиальных кабелей для работы в телефонных, телевизионных, компьютерных сетях. Основные характеристики коаксиальных кабелей приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Характеристики коаксиальных кабелей

Тип коаксиального кабеля	Диаметр проводника внутренний/внешний, мм	Рекомендация МСЭ-Т	Рабочая полоса частот, МГц
Мини-КК	0,7/2,9	G.621	0,2 – 20
Малобагабаритный КК (тонкий)	1,2/4,4	G.622	0,06 – 70
Нормализованный КК (толстый)	2,6/9,5	G.623	0,06 – 300

Волоконно-оптические кабели содержат проводники из кварцевого стекла (оксид кремния), состоящие из центрального проводника и внешнего проводника (оболочки) (рис. 4.13, *а*) с меньшим показателем преломления. Внутренний проводник называется сердцевинкой (Core), а внешний – оболочкой (Ceadding).

Распространение оптического излучения (рис. 4.13, *б*) вдоль волокна основано на отражении от границы сред с разными показателями преломления.

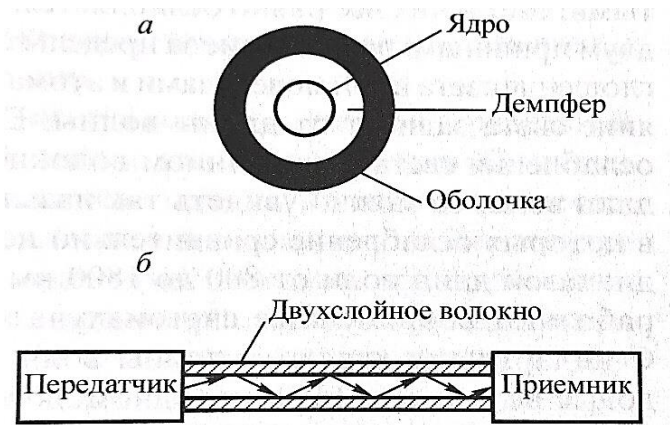


Рис. 4.13. Конструкция волоконно-оптического кабеля

Несмотря на то что кварцевые волокна стараются делать сверхчистыми, свет в них все равно ослабляется. Ослабление происходит по двум причинам: рассеивание за пределы одной стеклянной нити и поглощение света в ней молекулами и атомами вредных примесей.

Рассеяние света зависит от длины волны. Если посмотреть на график ослабления света в стеклянном волокне (рис. 4.14) для различных длин волн, то можно увидеть так называемые окна прозрачности, в которых ослабление сравнительно небольшое. Они охватывают диапазон длин волн от 800 до 1800 нм. Именно в этом диапазоне работают современные светоизлучатели (лазеры, светодиоды).

Стандартными являются длины волн 850 нм, 1300 нм (многомодовые волокна) и 1550 нм (одномодовые волокна).

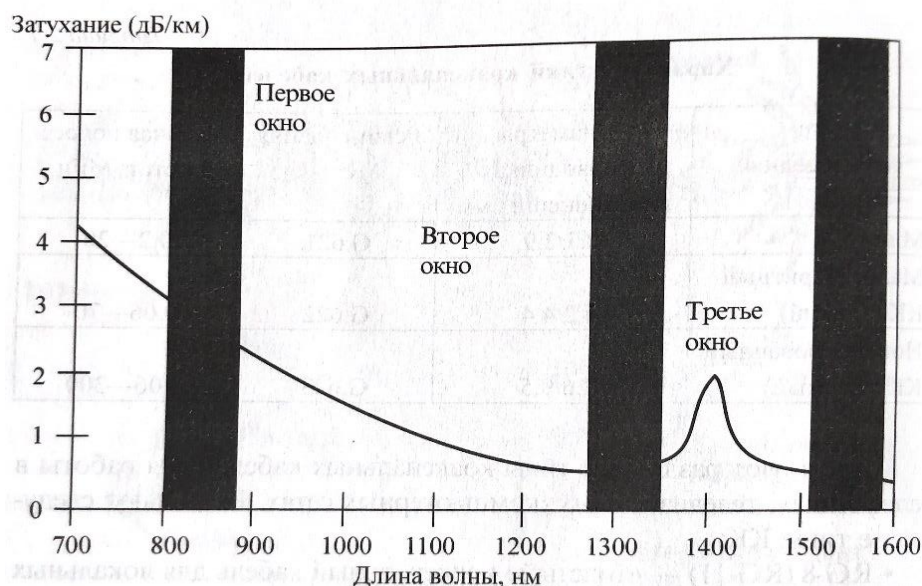


Рис. 4.14. График ослабления световых волн в стекловолокне

Термины «**многомодовый**» и «**одномодовый**» определяют количество световых лучей (мод), проходящих по сердцевине волокна.

Если сделать сердцевину очень тонкой (5...10 мкм, что тоньше человеческого волоса), то по ней сможет распространяться всего один луч или одна мода. Весь же волоконный световод вместе с оболочкой имеет стандартный диаметр 125 мкм. Такой световод называется одномодовым (рис. 4.15, а). В него лучше направлять острый луч полупроводникового лазера, так как рассеянный поток света от светодиода ввести в тонкую сердцевину очень трудно.

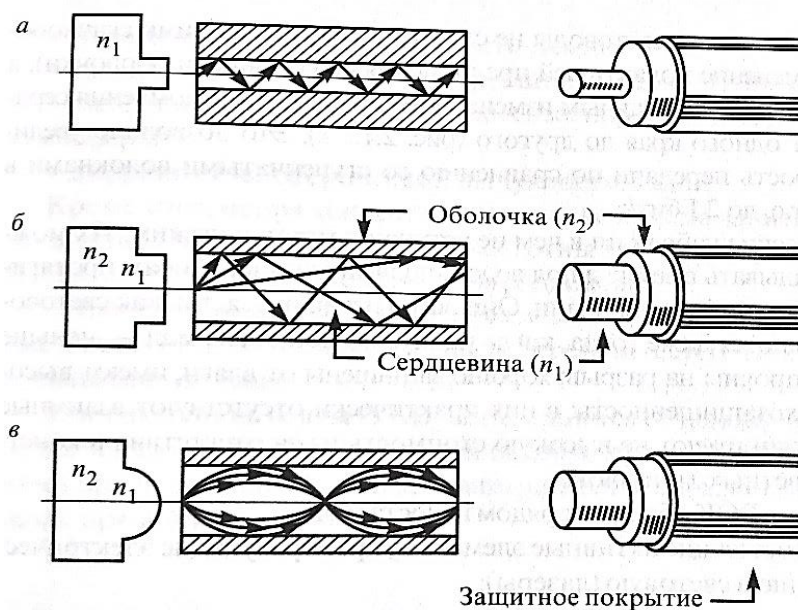


Рис. 4.15. Типы волокон

На практике широко применяются волокна с толстой сердцевиной (50...80 мкм) при неизменном внешнем диаметре в 125 мкм. С такими световодами легко работают недорогие, серийно изготавливаемые светодиоды. Так как в толстую сердцевину волокна могут войти и будут распространяться по ней сразу много лучей (мод), световод такой конструкции получил название многомодового (рис. 4.15, б).

Основным недостатком многомодовых световодов является ограничение скорости передачи из-за большой дисперсии световых лучей. Предельная скорость передачи цифровой информации по ним 20 Мбит/с против 100 Гбит/с для одномодовых волокон.

Чтобы избавиться от этого недостатка, предложили делать световоды не ступенчатыми (имеющими скачкообразное изменение показателей преломления сердцевины и оболочки), а градиентными с плавным изменением показателя преломления сердцевины от одного края до другого (рис. 4.15, в). Это позволило увеличить скорость передачи по сравнению со ступенчатыми волокнами в 1000 раз, т.е. до 2 Гбит/с.

Оптические кабели ни в чем не уступают металлическим. Их можно прокладывать в земле и под водой, подвешивать на опорах, протягивать в

кабельной канализации. Они легко изгибаются, так как световоды не ломаются даже тогда, когда радиус изгиба очень мал – меньше 1 см; они прочны на разрыв; хорошо защищены от влаги; имеют высокую помехозащищенность; в них практически отсутствуют взаимные влияния; они имеют невысокую стоимость из-за отсутствия в конструкции цветных металлов.

Конечно, ВОК обладают рядом недостатков:

- дорогостоящие активные элементы, преобразующие электрическую энергию в световую (лазеры);
- применение прецизионных, а следовательно, и дорогих оптических соединителей (коннекторов);
- высокая стоимость и сложность монтажа при строительстве линии;
- затраты на восстановление превышают аналогичные затраты для металлических кабелей.

Однако преимущества их столь значительны, что волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) находят сейчас очень широкое применение.

4.2 Сети мобильных систем связи

Средой распространения электромагнитных волн *радиолиний* является атмосфера Земли. Радиолиния может состоять из двух оконечных станций или содержать несколько переприемных, промежуточных станций.

Примером радиолинии первого типа являются линии сетей передачи сообщений массового характера (радиовещание, телевизионное вещание), а также связь поездного диспетчера с машинистом движущегося локомотива, маневрового диспетчера с машинистом маневрового локомотива, связь списчиков вагонов с дежурным по парку или по горке, связь поездного диспетчера с местом производства ремонта или восстановления путей на перегоне.

Радиоволны, излучаемые передающей антенной, прежде чем прийти в приемную антенну, проходят сложный путь. На значение напряженности поля в точке приема оказывает влияние множество факторов:

- отражение волн от поверхности Земли;
- преломление волн в ионизированных слоях атмосферы;
- рассеяние волн на диэлектрических неоднородностях нижних слоев атмосферы;
- дифракция на сферической выпуклости Земли.

Кроме того, напряженность поля в точке приема зависит от длины волны. От этого же зависит и частотный диапазон радиолинии. В табл. 4.2 приведена классификация радиоволн.

Примером радиолинии с переприемом могут служить радиорелейные линии (РРЛ) и спутниковые линии передачи (СЛП).

Классификация радиоволн

Вид радиоволн	Тип радиоволн	Диапазон радиоволн (длина волны)	Диапазон частот	Вид радиочастот	Дальность связи, км
Мириаметровые	Сверхдлинные	10–100 км	3–30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)	Тысячи
Километровые	Длинные	1–10 км	30–300 кГц	Низкие (НЧ)	
Гектаметровые	Средние	100–1000 км	300–3000 кГц	Средние (СЧ)	Сотни
Декаметровые	Короткие	10–100 м	3–300 МГц	Высокие (ВЧ)	Тысячи
Метровые	Ультракороткие	1–10 м	3–300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)	Десятки
Дециметровые		10–100 см	300–3000 МГц	Ультравысокие (УВЧ)	
Сантиметровые		1–10 см	3–30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)	Сотни
Миллиметровые		1–10 мм	30–300 ГГц	Крайневысокие (КВЧ)	
Дециметровые		0,1–1 мм	300–3000 ГГц	Гипервысокие (ГВЧ)	

Современная РРЛ состоит из ряда промежуточных станций и двух оконечных (рис. 4.16).

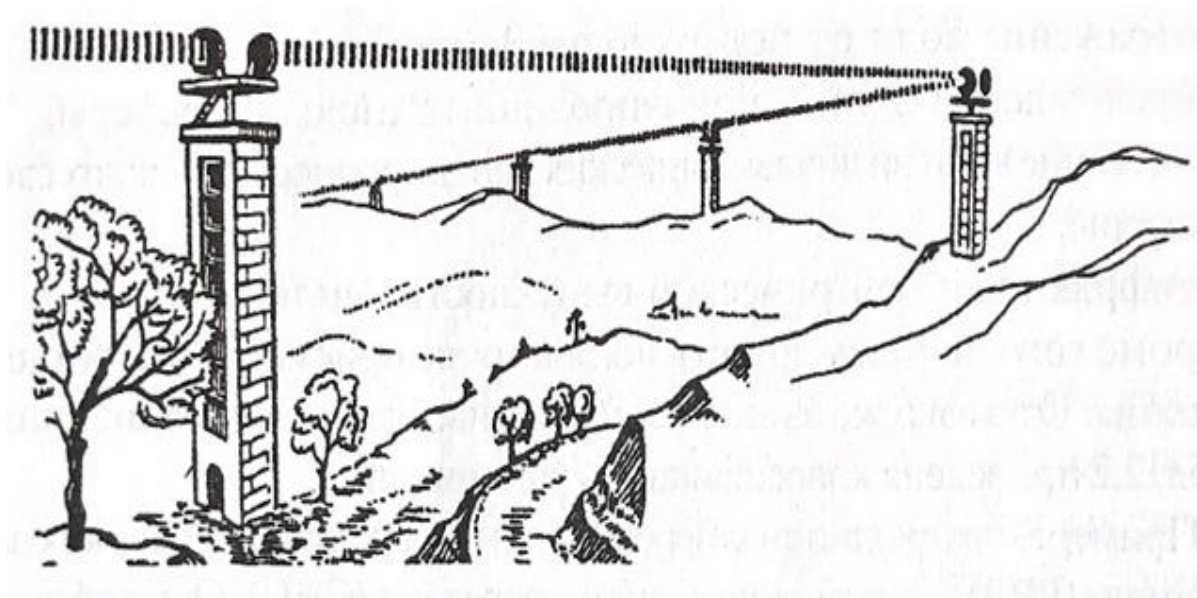


Рис. 4.16. Радиолинии с переприемом

Каждая из станций – это передатчик, приемник и высокая мачта с параболическими остронаправленными антеннами. С каждой промежуточной мачты видны две соседние. Расстояние между мачтами 40...70 км.

Радиоволны узким направленным лучом передаются от одной станции к другой, принимаются там, усиливаются и передаются к следующей. Протяженность РРЛ может составлять несколько тысяч километров.

Спутниковая линия связи (рис. 4.17) является разновидностью радиорелейной. В ней роль промежуточного пункта выполняет приемопередающий ретранслятор, установленный на искусственном спутнике Земли.

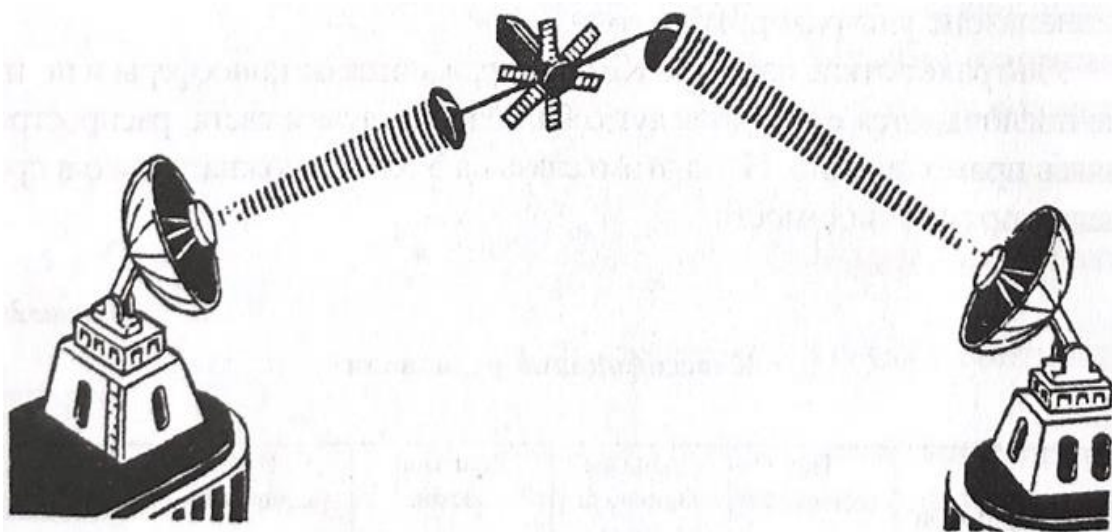


Рис. 4.17. Спутниковая линия связи

Спутниковые системы являются широкополосными и позволяют передавать телевизионные программы, осуществлять связь мобильных телефонов, организовывать связь с труднодоступными районами.

Современные системы мобильной радиосвязи (СМР) весьма разнообразны по спектру применений, используемым информационным технологиям и принципам организации. Поэтому предлагается классифицировать СМР по следующим признакам:

- 1) способ управления системой, иначе способ объединения абонентов: централизованный (координированный) или автономный (некоординированный). При централизованном объединении связь между абонентами производится через центральные (или базовые) станции. В противном случае связь между пользователями устанавливается непосредственно, без участия базовых станций;

- 2) зона обслуживания – радиальная (в пределах радиуса действия радиостанции), линейная (для линейно протяженных зон), территориальная (для определенных конфигураций территории);

- 3) направленность связи – односторонняя или двусторонняя связь между абонентом и базовой станцией;

4) вид работы системы – симплекс (поочередная передача от абонента к базовой станции и обратно) или дуплекс – одновременная передача и прием в каждом из двух названных направлений;

5) метод разделения каналов в системе радиосвязи, или метод множественного доступа: частотный, временной или кодовый;

6) способ использования частотного ресурса, выделенного системе связи: жесткое закрепление каналов за абонентами, возможность доступа абонентов к общему частотному ресурсу (транкинговые системы), повторное использование частот за счет пространственного разнесения передатчиков (сотовые системы);

7) категория обслуживаемых системой связи абонентов: профессиональные (служебные, корпоративные) абоненты, частные лица;

8) вид передаваемой информации: речь, кодированное сообщение и др.

Учитывая распространенность существующих типов СМР, а также перспективы их развития, можно предложить следующую систему классификации СМР, основу которой составляют три из перечисленных ранее отличительных признака:

- назначение системы и размер зоны радиопокрытия;
- метод множественного доступа;
- схема дуплексирования каналов радиолинии.

В зависимости от назначения системы, объема предоставляемых услуг и размеров зоны обслуживания можно выделить следующие четыре типа СМР:

- транкинговые системы связи (ТСС);
- системы персонального радиовызова (СГТРВ);
- системы персональной спутниковой связи (СПСС);
- сотовые системы мобильной связи (ССМС).

По способу организации множественного доступа, т.е. технологии распределения между отдельными каналами связи частотно-временного ресурса, выделяют СМР на основе одной из трех конкурирующих технологий:

- множественный доступ с частотным разделением каналов (МДЧР, англоязычная аббревиатура *FDMA – frequency division multiple access*);
- множественный доступ с временным разделением каналов (МДВР или *TDMA – time division multiple access*);
- множественный доступ с кодовым разделением каналов (МДКР или *CDMA – code division multiple access*).

Термин **транкинговая** (или **транковая**) связь происходит от английского слова *trunk* (ствол) и отражает то обстоятельство, что «ствол связи» содержит несколько каналов, причем жесткое закрепление каналов за абонентами отсутствует. В литературе можно найти различные определения транкинговых систем, общим для которых является именно предоставление в распоряжение абонента одного из свободных на данный момент каналов. В частности, к данному классу относят:

- радиально-зоновые системы наземной мобильной радиосвязи, использующие автоматическое распределение ограниченного частотного ре-

курса ретранслятора среди большого числа абонентов;

– системы массового применения, позволяющие при ограниченном частотном ресурсе обслуживать максимальное число абонентов.

Транкинговые системы связи (ТСС) могут строиться как системы с однозоновой или многозоновой структурой. Принимая во внимание специфический характер ТСС, т.е. ограниченность числа пользователей системы, переход от однозоновой к многозоновой структуре объясняется в первую очередь расширением географической зоны действия системы, а не стремлением к повышению числа абонентов (абонентской емкости) системы. При пересечении границ радиопокрытия ТСС отслеживают перемещение абонентов, обеспечивают их регистрацию и назначают им новый частотный канал. Однако, как правило, подобный переход происходит с прерыванием связи, для восстановления которой абонентам необходимо произвести повторный вызов.

Транкинговые системы могут использовать как симплексные, так и дуплексные каналы радиосвязи, однако с целью упрощения и удешевления в них нередко применяется полудуплексный режим работы, при котором один и тот же канал поочередно используется для связи от центра управления (базовой станции) к абоненту и в обратном направлении.

Реализация принципа равного доступа к каналу связи может быть осуществлена децентрализованно либо при централизованном управлении. В первом случае функция нахождения свободного канала возлагается на абонентскую станцию, которая проводит последовательный поиск незанятого частотного канала во всем выделенном системой диапазоне. Во втором случае анализ занятости каналов связи осуществляет базовая станция либо непосредственно центр коммутации мобильной связи.

Как правило, установление связи при последовательном сканировании частотного диапазона занимает достаточно большой интервал времени. Для обеспечения оперативности управления в современных ТСС предусмотрено существование специального канала, посредством которого производится управление транкинговой системой, в том числе выполнение процедур установления и прекращения связи.

По способу организации канала управления различают ТСС с выделенным и распределенным каналом управления.

В первом случае, как следует из названия, выделенный канал используется исключительно для управления работой системы.

Во втором случае в процессе сеанса связи сигналы управления передаются одновременно с речевым сигналом.

С учетом вышесказанного транкинговая система связи может быть представлена в виде обобщенной структурной схемы (рис. 4.18), где использованы следующие обозначения:

МС – мобильная станция (мобильный абонент);

БС – базовая станция (центр управления);

УОР – устройство объединения радиосигналов;

Р – ретрансляторы;

ЦКМС – центр коммутации мобильной связи;
ТФОП – телефонная сеть общего пользования;
ДПУ – диспетчерский пункт управления.

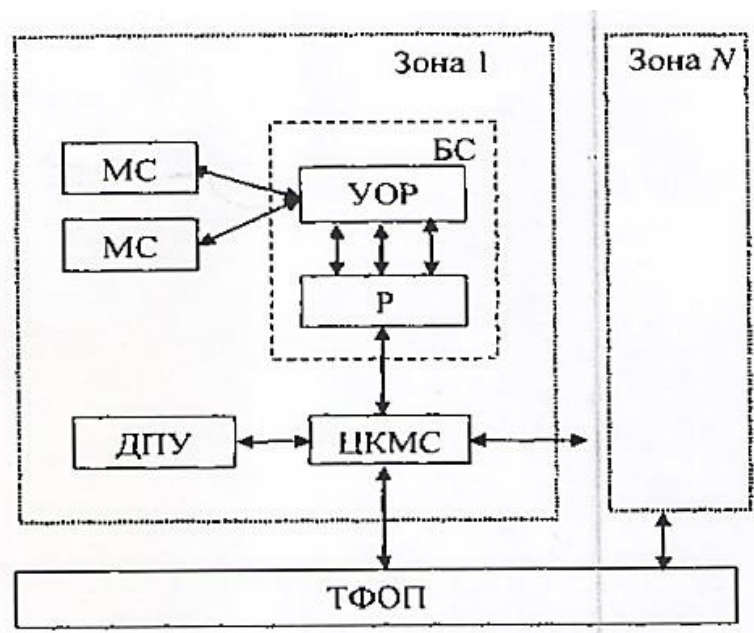


Рис. 4.18. Обобщенная структурная схема ТСС

Общие тенденции, связанные с унификацией и интеграцией СМР идентичного назначения, привели к разработке под эгидой ETSI (European Telecommunications Standards Institute – Европейский институт стандартов связи) общеевропейского стандарта TETRA (Trans-European Trunked Radio – общеевропейская система транкинговой связи), изменившего свое название с апреля 1997 г. на Terrestrial Trunked Radio (сухопутная система транкинговой связи) ввиду своего широкого распространения. ТСС на основе стандарта TETRA представляют собой новое поколение систем этого типа, следующее за аналоговым.

В отличие от предыдущих стандартов в стандарте TETRA осуществлен полный переход к цифровому представлению передаваемой информации и использовано не частотное, а временное разделение каналов.

В результате этих и ряда других мер скорость передачи в системе достигла 36 кбит/с. Для системы TETRA выделены два дуплексных участка спектра в полосе частот 380...400 МГц при разносе радиоканалов для приема и передачи в 10 МГц и разносе соседних каналов в 25 кГц.

Термином *системы персональной спутниковой связи* (СПСС) объединяются различные по построению и орбитальной конфигурации системы, в которых пользовательский терминал получает и передает сообщение по радиолинии, напрямую связывающей его с космическим аппаратом (КА).

Основная роль СПСС в свете современных воззрений состоит в распространении услуг мобильной связи на те участки земной поверхности,

где развертывание наземных сетей невозможно в принципе или экономически нецелесообразно, т.е. в акваториях Мирового океана, в районах с малой плотностью населения и пр.

Можно сказать, что СПСС предназначены для «глобализации» информационного сервиса, поскольку свободны от каких-либо ограничений, связанных с географией или рельефом обслуживаемых регионов.

Несмотря на сходство в части объемов и номенклатуры предоставляемых услуг, различные СПСС обладают особенностями, в немалой степени обусловленными характеристиками орбит КА. С учётом этого общепринята классификация СПСС, основанная на следующих орбитальных параметрах КА:

- возвышение над поверхностью Земли;
- форма орбиты;
- периодичность прохождения КА над точками земной поверхности;
- наклонение орбиты к плоскости экватора.

По высоте над поверхностью Земли различают следующие СПСС:

- низкоорбитальные (диапазон высоты орбит, от 700 до 1500 км);
- среднеорбитальные (от 5000 до 15 000 км);
- высокоорбитальные (около 36 000 км).

По форме орбиты КА подразделяются:

- на круговые (труднореализуемые на практике);
- близкие к круговым (наиболее распространенный тип орбит в системах спутниковой связи);
- эллиптические;
- геостационарные (т.е. круговые экваториальные с периодом обращения КА, равным одним суткам);
- параболические и гиперболические (характерные для систем, работающих за пределами околоземного пространства: космические зонды, аппараты для исследования планет и Солнца и пр.).

По периодичности прохождения КА над точками земной поверхности орбиты делятся:

- на синхронные, проекции которых на земную поверхность (трассы) совпадают ежедневно (изомаршрутные) либо раз в несколько суток (квазимаршрутные);
- несинхронные, у которых трассы, соответствующие двум любым орбитам КА, не совпадают никогда.

В зависимости от наклонения различают орбиты:

- прямые (с углом наклона меньше 90°);
- обратные (с углом наклона больше 90°);
- полярные (с углом наклона, равным 90°);
- экваториальные (лежащие в экваториальной плоскости).

В состав любой СПСС входят следующие компоненты:

- космический сегмент, состоящий из спутников-ретрансляторов, число которых варьируется от единиц до сотни;
- наземный сегмент, состоящий из центра управления СПСС, центра

запуска КА, командно-измерительных станций, центра управления связью и шлюзовых станций;

- пользовательский (абонентский) сегмент, состоящий из персональных или коллективных терминалов спутниковой связи;
- наземные сети связи, с которыми посредством интерфейса связи сопрягаются шлюзовые станции СПСС.

В настоящее время особое внимание уделяется разработке систем связи на базе **низкоорбитальных СПСС**. Повышенный интерес к ним объясняется умеренными требованиями к мощности, излучаемой пользовательским терминалом, и, следовательно, сравнительной дешевизной и малыми габаритами последнего.

Низкоорбитальные СПСС позволяют обеспечить бесперебойную связь с абонентами, находящимися в любой точке земной поверхности и практически не имеют альтернативы при организации связи в регионах со слабой инфраструктурой связи и низкой плотностью населения.

Дополнительным аргументом в пользу развития низкоорбитальных СПСС служит и экологический фактор: для гарантии полной биологической безопасности человека необходимо, чтобы выходная мощность СВЧ-излучения радиотелефона не превышала 50 мВт. Эффективный прием сигналов такой мощности без значительного усложнения аппаратуры возможен только в случае низкоорбитальных систем связи. Наиболее известными представителями систем этого типа являются СПСС Iridium и Global star.

СПСС Globalstar, разработанная корпорациями Qualcomm, Loral и рядом других, в идеологическом плане основана на использовании принципов сотовых систем связи с выносом в космическое пространство ретрансляторов базовых станций. Космический сегмент системы содержит орбитальную группировку из 48 низкоорбитальных спутников-ретрансляторов, размещенных на 8 круговых орбитах с наклоном в 52° и высотой 1414 км. Подобная конфигурация космического сегмента обеспечивает наилучшее обслуживание абонентов в средних широтах (между 70° с.ш. и 70° ю.ш.), что достигается двукратным покрытием земной поверхности в указанной полосе. Каждый КА с помощью фазированных антенных решеток формирует 16 лучей, использующих один и тот же диапазон частот.

В отличие от СПСС Iridium в системе Globalstar применяется кодовое разделение каналов, причем в качестве канальных кодов используются последовательности Уолша.

В России коммерческая эксплуатация системы Globalstar началась в ноябре 2000 г., и к началу 2002 г. объем абонентской базы достиг 5000 клиентов (в основном корпоративных).

Следует упомянуть, что и в России разрабатывается несколько проектов низкоорбитальных систем связи, из которых наиболее продвинутым в реализационном плане является СПСС «Гонец». Указанная система прошла все стадии разработки и находится на этапе развертывания. Орбитальная группировка СПСС «Гонец» должна состоять из 45 спутников-

ретрансляторов, расположенных на пяти квазиполярных орбитах с наклоном 83° по девять КА на каждой, что является оптимальным с точки зрения радиопокрытия территории России. Плоскости орбит разнесены друг относительно друга на 36° по долготе, а высота орбиты составляет 1400 км.

Транкинговые системы связи не ориентированы на коммерческого потребителя, а направлены на удовлетворение ведомственных и корпоративных нужд. Они, как правило, характеризуются небольшой абонентской емкостью, фиксированной и весьма скромной номенклатурой услуг, невысокой скоростью передачи данных.

Что же касается СПСС, то основным препятствием на пути их массового внедрения следует считать экономический фактор, т.е. высокую стоимость предоставляемых услуг.

С учётом вышесказанного становятся понятными причины, по которым ведущие позиции в коммерческой мобильной связи принадлежат наземным системам, основанным на возможности многократного использования выделенного ресурса при соответствующем пространственном разнесении приемопередатчиков базовых станций.

Исторически первыми системами, многократно эксплуатирующими выделенный ресурс, явились системы с повторным использованием частотных каналов. Идея повторного применения частот заключается в том, что в смежных областях радиопокрытия СМР используются разные полосы разрешенного частотного диапазона, тогда как в зонах, достаточно удаленных друг от друга, допускается передача в одних и тех же частотных каналах. Возможность подобного частотно-территориального планирования объясняется быстрым пространственным затуханием радиоволн дециметрового диапазона, применяемых в СМР этого типа.

Участок территории радиопокрытия, на котором осуществляется связь в фиксированной полосе частот, схематически изображается в виде правильного шестиугольника и по сходству с пчелиными сотами получил название соты. В результате СМР с пространственным разнесением частот получили наименование сотовых систем мобильной связи (ССМС).

Группу сот, в пределах которой отсутствует повторное использование частотных полос, называют **кластером**. Сотовая топология позволяет многократно увеличить абонентскую емкость системы по сравнению с системами радиальной структуры и охватить сколь угодно большую зону обслуживания без ухудшения качества связи и расширения выделенного частотного диапазона.

Вместе с тем использование сотового принципа построения предполагает и ряд усложнений, касающихся определения текущего местоположения мобильного абонента и обеспечения непрерывности связи при перемещении его из одной соты в другую.

Соответствующая процедура получила название эстафетной передачи **хэндовер** (*hardtoffum handover*).

Высокая спектральная эффективность ССМС достигается ценой мак-

симально частого повторного использования одних и тех же частотных полос, и с этой точки зрения наиболее предпочтительным был бы трехсотый (или трехэлементный) кластер (рис. 4.19), где одинаковыми цифрами обозначены соты с совпадающими наборами частотных каналов.

Кроме того, каждой из сот кластера данного типа отводится частотная полоса, равная трети полного частотного диапазона, а значит, и треть общего числа каналов связи в системе, что обеспечивает значительную абонентскую емкость соты.

Вместе с тем частое повторение зон с одинаковыми полосами частот характеризуется заметным уровнем социальных помех, т.е. помех от станций системы, работающих в той же полосе частот, но расположенных в несмежных сотах. Для уменьшения влияния социальных помех более выгодны кластеры с большим числом элементов, например, 7-элементные (рис. 4.20).



Рис. 4.19. Трехсотовый кластер

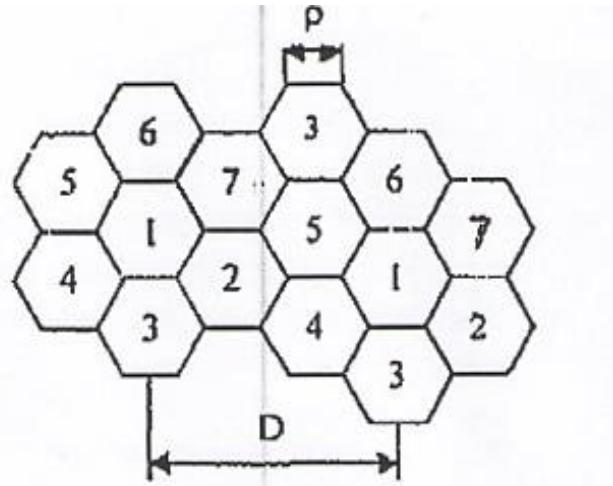


Рис. 4.20. Семисотовый кластер

Можно показать, что расстояние D между центрами ячеек, в которых используются одинаковые полосы частот, и число n_c элементов в кластере связаны соотношением

$$D = \sqrt{3n_c} \cdot p,$$

где p – радиус ячейки, т.е. радиус окружности, описанной вокруг правильного шестиугольника.

Параметр ξ , определяемый соотношением

$$\xi = \frac{D}{p} = \sqrt{3n_c},$$

называют *коэффициентом уменьшения соканальных помех* или *коэффициентом соканального повторения*.

Величина

$$\eta = \frac{1}{n_c}$$

называется *коэффициентом эффективности повторного использования частот* или коэффициентом повторного использования частот.

Увеличение числа элементов в кластере, благоприятно сказывающееся на уровне соканальных помех, приводит к пропорциональному уменьшению полосы частот, которая может быть использована в каждой соте, а значит, к снижению абонентской емкости соты.

Рассмотренные структуры кластеров предполагают использование на базовых станциях антенн с круговой диаграммой направленности, осуществляющих передачу сигнала по всем направлениям с одинаковой мощностью. Эффективным способом снижения соканальных помех является применение направленных (в горизонтальной плоскости) антенн с шириной диаграммы направленности 120° или 60° , в результате чего шестиугольная ячейка разбивается на три или шесть секторов, т.е. производится векторизация сот. В секторе сигнал излучается антенной только в одну сторону, а уровень излучения в противоположном направлении сокращается до минимума.

Таким образом, секторизация сот позволяет чаще использовать одинаковые полосы частот в кластерах без изменения их структуры либо в рамках прежней схемы повторения частот заметно снизить уровень соканальных помех. Если кластер состоит из n_c сот, каждая из которых содержит m_c секторов, то говорят, что размерность кластера $(n_c, n_c * m_c)$.

На рис. 4.21 приведен возможный вариант распределения наборов частотных каналов в секторизованном кластере размерности.

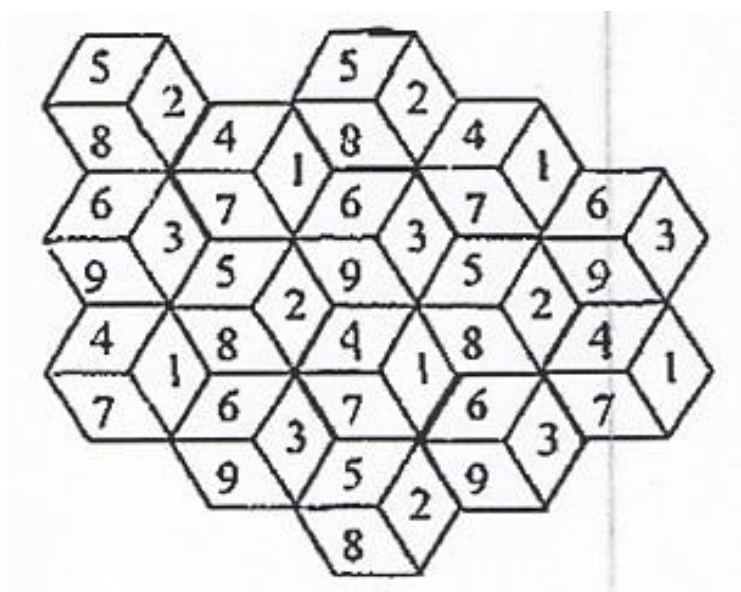


Рис. 4.21. Кластер ССМС

Рассмотрим основные элементы ССМС и характер их взаимодействия. Хотя сотовые системы разных стандартов имеют значительные отличия в деталях, интегральное их описание с помощью некоторой обобщенной модели возможно и полезно.

В качестве подобного обобщения выберем схему ССМС, приближенную к стандарту GSM, как наиболее отчетливо структурированную. Функциональное построение ССМС показано на схеме (рис. 4.22).

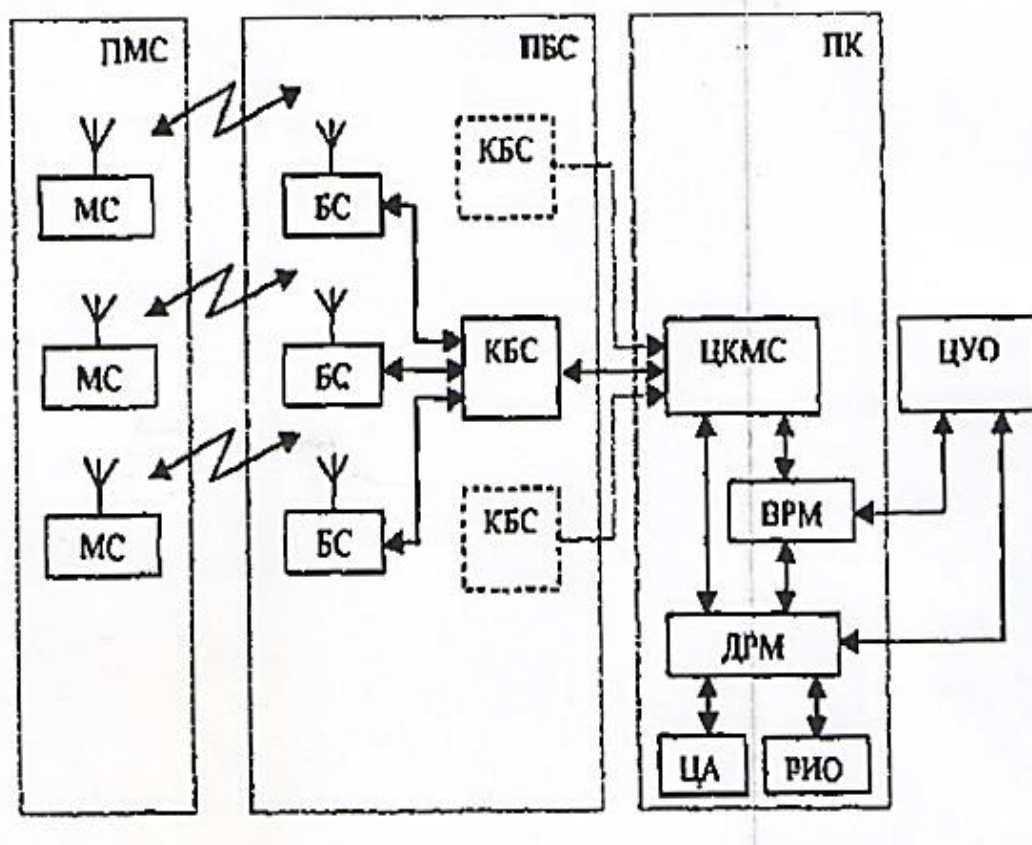


Рис. 4.22. Обобщенная структурная схема ССМС

В приведенной схеме условно можно выделить четыре основных компонента – центр управления и обслуживания (ЦУО) (иначе operations and maintenance center – OMC) и три подсистемы:

- подсистема мобильных станций ПМС (mobile station subsystem MSS);
- подсистема базовых станций ПБС (base station subsystem BSS);
- подсистема коммутации ПК (switching subsystem SSS), функциональное сопряжение которых описывается рядом интерфейсов.

ЦУО является центральным элементом ССМС, который обеспечивает управление другими компонентами системы, а также контроль качества функционирования.

Подсистема мобильных станций объединяет оборудование, обеспечивающее доступ абонентов в систему.

Главным звеном в архитектуре ССМС является подсистема коммутации, которая включает в себя центр коммутации мобильной связи ЦКМС (mobile switching center – MSC), визитный (гостевой) регистр местоположения ВРМ (visited location register – VLR), домашний регистр местоположения ДРМ (home location register – HLR), центр аутентификации ЦА (authentication center – AUC) и регистр идентификации оборудования РИО (equipment identity register – EIR).

В подсистему базовых станций входят базовые приемо-передающие станции БС (base transceiver station – BTS) и контроллеры базовых станций КБС (base station controller – BSC).

Центр коммутации мобильной связи обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы мобильная станция, т.е. коммутацию мобильных абонентов друг с другом, с абонентом ТФОП и др. На ЦКМС возлагаются также функции коммутации каналов, к которым относятся «передача обслуживания» (или «эстафетная передача») и переключение каналов в соте при появлении сильных помех и неисправностей, если только это не является обязанностью КБС. Помимо коммутационных задач ЦКМС управляет процедурами слежения за мобильными станциями с помощью домашнего и визитного регистров местоположения для обеспечения доставки вызова, а также процедурами аутентификации и идентификации абонентов с помощью ЦА и РИО.

Блоки ДРМ и ВРМ по своей сути представляют собой базы данных. Первый содержит сведения о постоянно приписанных к данному ЦКМС абонентах и о видах услуг, которые им могут быть оказаны, второй – информацию об абонентах, временно находящихся в зоне обслуживания данного ЦКМС.

Центр аутентификации обеспечивает возможность проведения процедуры аутентификации абонентов и шифрования передаваемых сообщений, РИО содержит сведения об эксплуатируемых мобильных станциях на предмет их исправности и санкционированного использования.

Контроллер базовых станций осуществляет управление несколькими БС, которые обеспечивают связь с МС через радиointерфейс, а также производит упаковку информации, передаваемой в ЦКМС, и ее распаковку при передаче в обратном направлении.

К числу операций, производимых КБС, относятся передача обслуживания при переходе МС между сотами, контролируемые одним и тем же КБС, передача вызовов между МС, находящимися в зонах действия разных БС, но одного и того же контроллера (в противном случае первичное управление возлагается на ЦКМС). Под управлением КБС осуществляются радиоизмерения в каналах связи, регулируется мощность передатчиков мобильных и базовых станций.

5 ОСНОВЫ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ

5.1 Принцип телефонии и аппаратное обеспечение

Основным принципом телефонной передачи является преобразование избыточного звукового давления, создаваемого органами речи человека, в электрические колебания на передающей стороне и обратное преобразование (электрических колебаний в звуковые) на приемной.

Первый телефон, получивший практическое применение, был предложен в 1876 г. американским изобретателем *А. Г. Беллом* и представлял собой электромагнитный прибор в виде трубки.

Внутри трубки помещался стержневой постоянный магнит с обмоткой на одном из полюсов и тонкой металлической пластиной – мембраной, расположенной напротив этого полюса. Для двусторонней телефонной передачи использовались две одинаковые трубки, соединенные между собой металлическими проводниками.

Принцип действия преобразователя звуковых колебаний в электрические заключается в том, что под воздействием избыточного звукового давления, создаваемого органами речи человека, мембрана совершает колебательные движения. При этом изменяется зазор между мембраной и магнитом, что приводит к изменению магнитного потока, пронизывающего катушку.

В результате в обмотке наводится переменная электродвижущая сила, за счет которой в линии и катушке приемного телефона протекает переменный ток. Закон изменения тока в цепи будет соответствовать закону изменения звукового давления.

Протекая по катушке приемного телефона, ток создает переменный магнитный поток, который, взаимодействуя с магнитным потоком постоянного магнита, создает силу, заставляющую мембрану совершать колебательные движения. Закон изменения силы, действующей на мембрану, будет соответствовать закону изменения тока в цепи, а следовательно, закону изменения звукового давления на передающей стороне.

Принцип телефонной передачи показан на рис. 5.1.

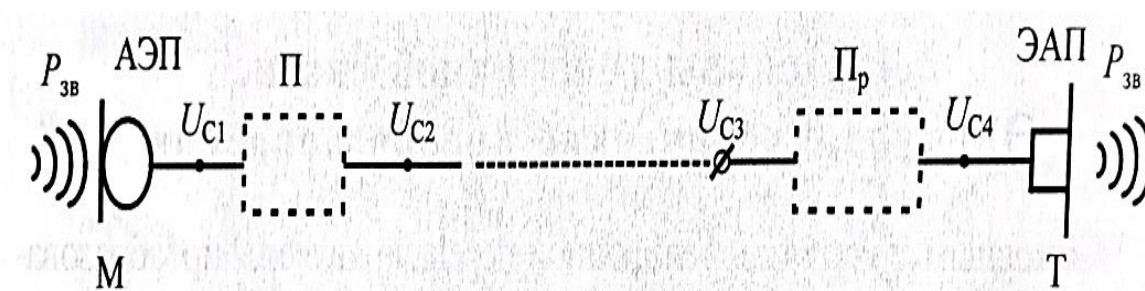


Рис. 5.1. Принцип телефонной передачи

Избыточное звуковое давление $P_{зв}$, создаваемое голосом, воздействует на акустико-электрический преобразователь АЭП (микрофон M) и преобразуется в электрический сигнал U_{c1} закон изменения которого соответствует закону изменения звукового давления.

Передачик $П$ (может и отсутствовать) предназначен для усиления сигнала и согласования с направляющей средой (линией связи). При распространении по линии связи сигнал (U_{c2}) затухает, под воздействием различного рода помех изменяется его форма (U_{c3})

На приемной стороне приемник $Пр$ (может отсутствовать) усиливает поступающий из линии сигнал, корректирует его форму (U_{c4}). Этот сигнал поступает в электроакустический преобразователь ЭАП (телефон T), в котором преобразуется в избыточное звуковое давление, создаваемое мембраной.

Электроакустические преобразователи разделяются по принципу преобразования энергии и возможности использования одного и того же преобразователя в качестве микрофона и телефона (обратимость).

Обратимые преобразователи могут преобразовывать акустическую энергию в звуковую и наоборот.

Необратимые преобразователи этим свойством не обладают.

К основным характеристикам ЭАП относится **чувствительность**, представляющая собой отношение выходного параметра ЭАП ко входному.

Чувствительность микрофона

$$S_M = \frac{E_M}{P_{зв}}, \left(\frac{В}{Па} \right).$$

Чувствительность телефона

$$S_T = \frac{P'_{зв}}{U_T}, \left(\frac{Па}{В} \right).$$

Реальные ЭАП имеют неравномерные частотные характеристики. Степень неравномерности оценивают коэффициентами неравномерности для микрофона и телефона. Чем они меньше, тем выше качество ЭАП.

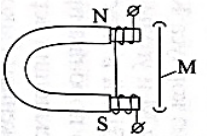
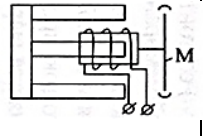
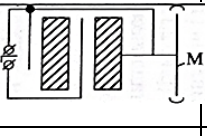
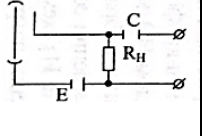
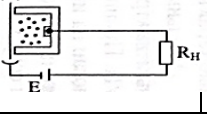
Классификация электроакустических преобразователей и их основные характеристики приведены в табл. 5.1.

Угольный микрофон (рис. 5.2) состоит из корпуса с неподвижным электродом, металлической мембраны и угольного порошка.

Принцип преобразования звуковых колебаний в электрические основан на изменении сопротивления угольного порошка при изменении его плотности.

Таблица 5.1

Электроакустические преобразователи

Тип ЭАП	Схема	Обрати- мость	Чувстви- тельность	Неравномерность частотной характеристики ΔS , дБ	Область применения
Электро- магнит- ный		О	$S_M = 0,1 \text{ В/Па}$ $S_T = 15 \text{ Па/В}$	15 15	Микрофоны и телефоны в телефонных аппаратах
Электро- динами- ческий		О	$S_M = 4 \cdot 10^{-3} \text{ В/Па}$ $S_T = 0,6 \text{ Па/В}$	8 8	Студийные микрофоны в телефонных аппаратах. Громко- говорители и телефоны в телефонных аппаратах
Пьезо- электри- ческий		О	$S_M = 0,025 \text{ В/Па}$ $S_T = 20 \text{ Па/В}$	10 7	Микрофоны и телефоны в теле- фонных аппаратах
Электро- статиче- ский		Н	$S_M = 0,002 \text{ В/Па}$	6	Студийные микрофоны, микрофоны в измерительных устройствах и спе- циальных телефонных аппаратах
Угольный		Н	$S_M = 0,7 \text{ В/Па}$	35	Микрофоны и теле- фоны в телефон- ных аппаратах

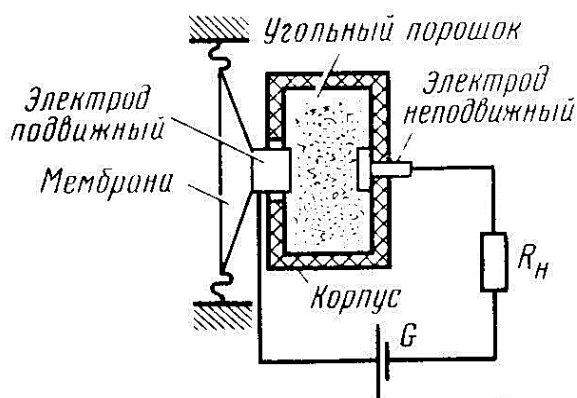


Рис. 5.2. Устройство угольного микрофона

Из рис. 5.2 видно, что ток, протекающий через микрофон и сопротивление нагрузки, определяется выражением (закон Ома)

$$i_{\text{м}} = \frac{U}{R_{\text{м}} + R_{\text{н}}}.$$

При отсутствии избыточного звукового давления мембрана находится в состоянии покоя, плотность угольного порошка не изменяется и его сопротивление постоянно. При этом ток, протекающий через микрофон, постоянный и равный I_0 (рис. 5.3).

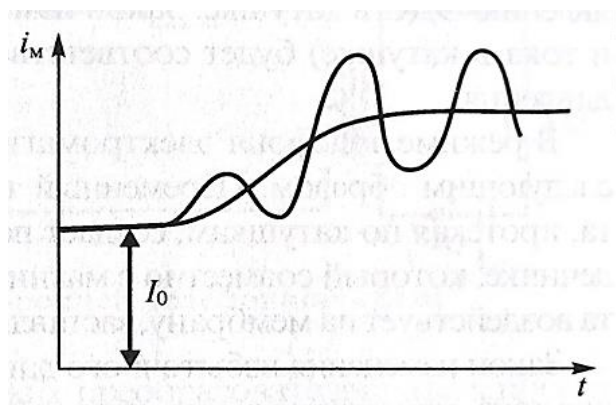


Рисунок 5.3. Диаграмма тока угольного микрофона

При разговоре с использованием микрофона на мембрану действует избыточное звуковое давление, которое приводит к ее колебаниям. При этом изменяется плотность угольного порошка, а следовательно, и его сопротивление. Динамическое сопротивление микрофона на 20 % больше статического и будет изменяться в соответствии с изменением звукового давления. Ток, протекающий через микрофон и сопротивление нагрузки, будет изменяться таким же образом.

Угольный микрофон обладает высокой чувствительностью и большой неравномерностью частотной характеристики (см. табл. 5.1), поэтому угольные микрофоны используются только в служебных видах связи.

Электромагнитный преобразователь (рис. 5.4) состоит из постоянного магнита 1 с полюсными наконечниками 3, на которых размещены катушки 2, и подвижной мембраны M из ферромагнитного материала.

Преобразователь обратимый, т.е. может использоваться в качестве микрофона и телефона. Работа преобразователя в качестве микрофона осуществляется следующим образом. При отсутствии избыточного звукового давления мембрана находится в состоянии покоя. Зазор между мембраной и полюсными наконечниками не изменяется, магнитное сопротивление постоянно, магнитный поток, пронизывающий витки катушки, не изменяется. В катушке не будет наводиться электродвижущая сила (ЭДС самоиндукции).

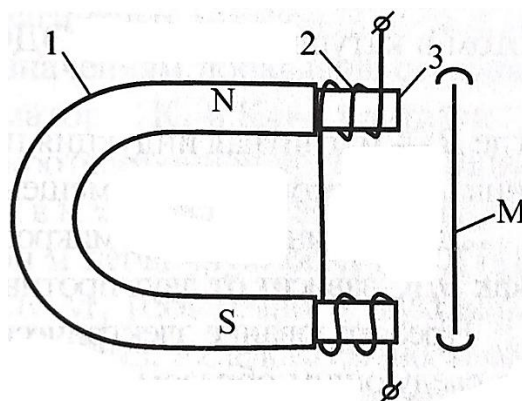


Рис. 5.4. Электромагнитный преобразователь

При колебании мембраны под действием избыточного давления изменяется магнитный поток в сердечнике, что приводит к появлению ЭДС в катушке. Закон изменения ЭДС (а при замкнутой цепи и тока в катушке) будет соответствовать закону изменения звукового давления.

Электродинамический преобразователь (рис. 5.5) состоит из постоянного магнита, на котором размещается легкая подвижная катушка, соединенная с мембраной. В режиме микрофона избыточное звуковое давление заставляет колебаться мембрану, что приводит к перемещению катушки в магнитном поле постоянного магнита. При этом в катушке наводится ЭДС, определяемая по формуле

$$e = Blv,$$

где B – магнитная индукция постоянного магнита;

l – длина проводника;

v – скорость перемещения катушки относительно магнита.

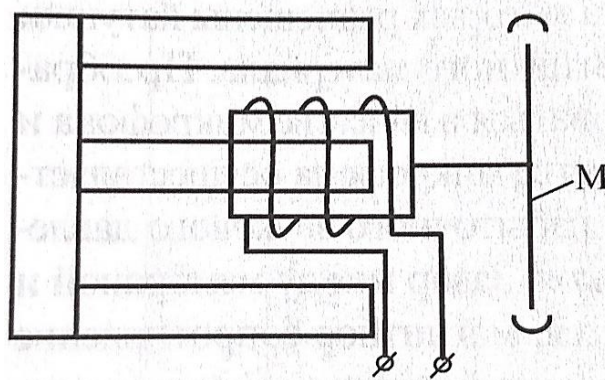


Рис. 5.5. Электродинамический преобразователь

Электродинамический микрофон обладает малой чувствительностью, так как ЭДС зависит от двух противоречивых параметров l и V .

Преобразование электрических колебаний в звуковые осуществляется следующим образом. Протекающий по катушке переменный ток от микрофона другого абонента создает в сердечнике переменный магнитный поток, который взаимодействует с магнитным потоком постоянного магнита и создает силу, заставляя мембрану создавать звуковое давление, изменяющееся по закону изменения тока.

Электродинамический преобразователь обладает хорошими характеристиками, что позволяет его использовать в различных видах связи.

Другие типы электроакустических преобразователей, представленные в табл. 5.1, существенного применения в технике связи на железнодорожном транспорте не получили и используются в специальных приборах и устройствах.

Наибольшее распространение в технике служебной связи получили угольные микрофоны, а также электромагнитные и электродинамические телефоны.

Простейшая схема двухсторонней телефонной связи с использованием угольных микрофонов и электромагнитных телефонов показана на рис. 5.6.

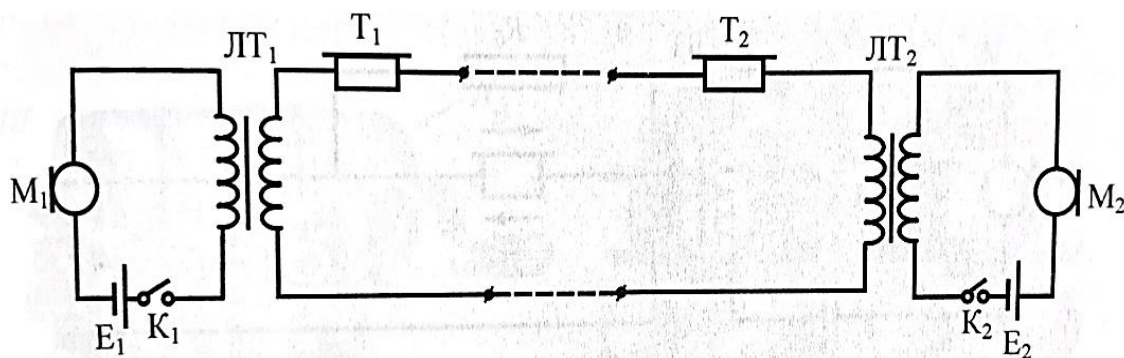


Рис. 5.6. Схема двухсторонней телефонной связи

При снятии одним из абонентов микротелефонной трубки (например, абонент 1) замыкается контакт К1 и в местной цепи абонента протекает постоянный ток (через микрофон и первичную обмотку ЛТ1). При разговоре воздействие на мембрану М1 избыточного звукового давления изменяет плотность угольного порошка, а следовательно, и сопротивление микрофона. Переменная составляющая тока в первичной цепи индуктируется во вторичную обмотку ЛТ1 и проходит по линейной цепи, в которую включены катушки телефонов Т1 и Т2.

Такая схема включения разговорных приборов обладает существенным недостатком – прослушиванием собственного голоса в своем телефоне.

Это явление получило название *местного эффекта*. Местный эффект приводит к утомляемости уха и повышению порога слышимости, что снижает разборчивость принимаемой речи. Для уменьшения местного эффекта используют противоместные схемы мостового и компенсационного

типов. Назначением этих схем является уменьшение магнитного потока в сердечнике телефона, создаваемого исходящим разговорным током.

Вариант противоместной схемы мостового типа при питании микрофона от местной батареи представлен на рис. 5.7.

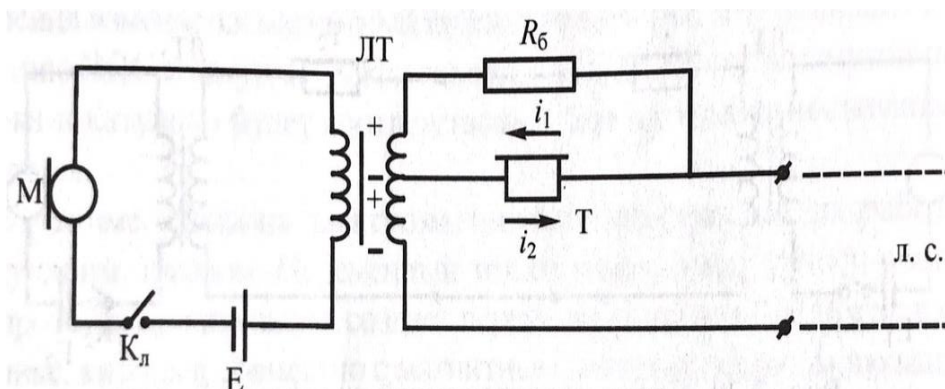


Рис. 5.7. Противоместная схема мостового типа

Исходящий разговорный ток (от микрофона) создает в катушке телефона два встречно направленных тока i_1 и i_2 . При их равенстве результирующий магнитный поток в сердечнике будет равен нулю и воздействия на мембрану не будет. Для равенства токов необходимо, чтобы сопротивление в местной цепи было равно входному сопротивлению линии ($R_6 = R_{\text{л}}$). Полной компенсации достичь практически не удастся, но местный эффект значительно ослабляется.

Для осуществления телефонной передачи к элементам, показанным на рис. 5.8, а (разговорные приборы), должны быть добавлены приборы для посылки и приема вызывных сигналов (вызывные приборы, рис. 5.8, б).

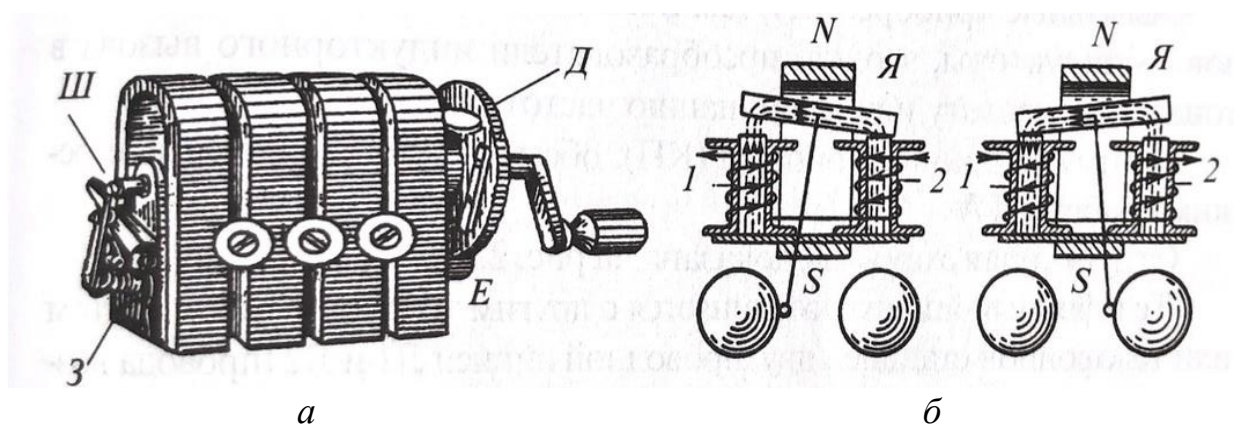


Рис. 5.8. Вызывные и разговорные приборы

Для посылки вызова используется индуктор – генератор переменного тока с ручным или машинным приводом. Принцип действия индуктора основан на возникновении ЭДС при пересечении витками катушки магнит-

ного поля постоянного магнита. Конструкция одного из вариантов индуктора показана на рис. 5.8, а. Для приема вызова в большинстве телефонных аппаратов используются звонки переменного тока (рис. 5.8, б).

У некоторых телефонных аппаратов в качестве индикатора вызова используется преобразователь индукторного вызова в сигнал звуковой частоты (комбинацию частот), нагруженный на электродинамический электроакустический преобразователь (телефонный капсюль).

В составе любого телефонного аппарата должны быть следующие приборы:

- *разговорные приборы* (РП) – микрофон, телефон и линейный трансформатор;
- *вызывные приборы* (ВП) для посылки и приема вызывных сигналов
- индукторы, звонки, преобразователи индукторного вызова в тональную частоту или комбинацию частот;
- *коммутационные приборы* (КП), обеспечивающие изменение режима работы телефонного аппарата.

Структурная схема телефонного аппарата показана на рис. 5.9.

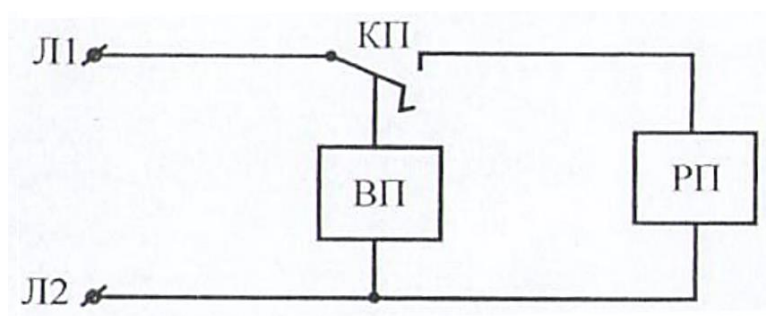


Рис. 5.9. Структурная схема телефонного аппарата

Телефонный аппарат соединяется с другим телефонным аппаратом или телефонной станцией двухпроводной линией Л1 и Л2 (провода воздушной или кабельной линии связи). Нормально к линии подключены ВП, обеспечивающие условия приема вызова от других абонентов. При снятии микрофонной трубки контактами КП отключаются ВП и подключаются РП.

Все указанные приборы объединяются в одну конструкцию, получившую название телефонного аппарата.

Телефонные аппараты подразделяются следующим образом.

1 По способу питания микрофонов:

- с местной батареей (МБ), когда питание микрофона осуществляется от источника тока (первичного элемента), расположенного непосредственно у абонента (см. рис. 5.6);
- с центральной батареей (ЦБ), когда питание микрофонов всех абонентов осуществляется от одной (центральной) батареи, расположенной на телефонной станции (рис. 5.10).

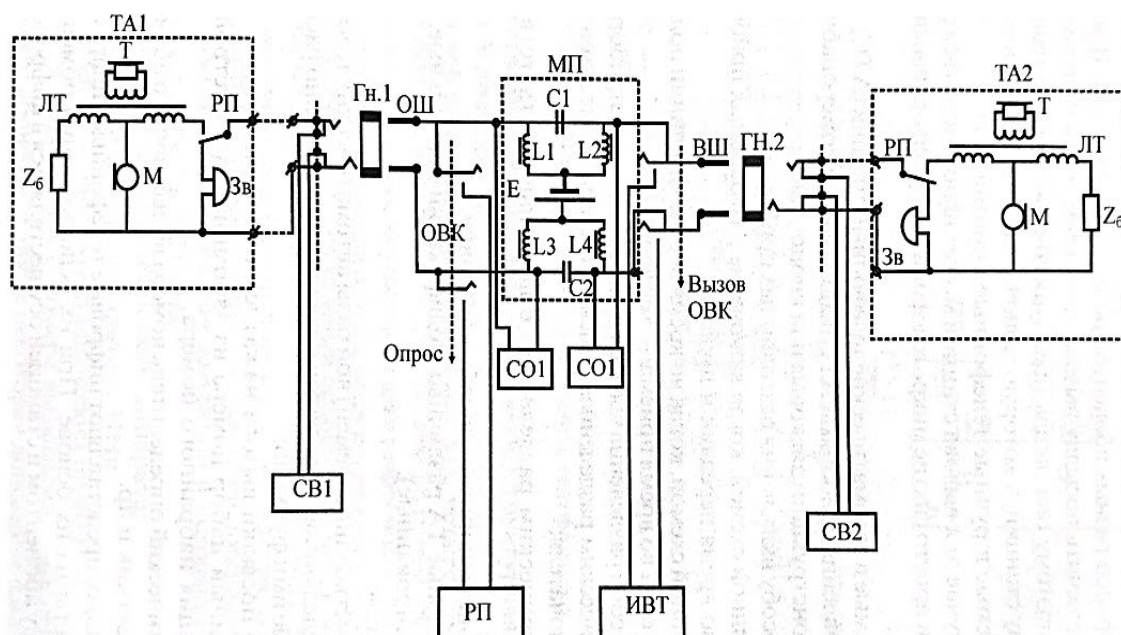


Рис. 5.10. Схема питания микрофонов с центральной батареей

Для развязки цепей питания микрофонов используются специальные мосты питания (катушки индуктивности и конденсаторы).

Катушки индуктивности $L1 - L4$ обладают малым сопротивлением для постоянного тока, но препятствуют шунтированию переменного разговорного тока через ЦБ.

Конденсаторы $C1$ и $C2$ разделяют цепи питания микрофонов разных абонентов по постоянному току. В этой схеме проще обеспечить посылку вызова, получение отбоя и проще обслуживать центральную батарею, поэтому она имеет широкое распространение.

2 По типу станции, в которую включаются телефонные аппараты:

– включаемые в ручные телефонные станции (РТС).

В этом случае для вызова станции можно использовать ручной индуктор или просто снять микротелефонную трубку с рычажного переключателя;

– включаемые в автоматические телефонные станции (АТС), у которых для управления приборами АТС используются номеронабиратели различной конструкции (дисковые или кнопочные).

3 По способу включения разговорных приборов:

– с постоянной схемой, когда включение разговорных приборов не изменяется во время передачи и приема;

– с переменной схемой, когда во время передачи к линии подключается микрофон, а во время приема – телефон.

4 По способу разделения вызывных и разговорных приборов:

– с механическим разделением цепей с помощью контактов рычажного переключателя;

– с электрическим разделением с помощью соответствующих фильтров.

5 По конструкции и способу установки:

- стационарные телефонные аппараты различных модификаций (настольные, настенные, комбинированные);
- переносные.

Особый класс представляют собой **цифровые телефонные аппараты** и различные пульта на их основе. При их использовании обмен информацией между абонентом и станцией осуществляется в цифровом коде, что существенно повышает качество связи.

Структурная схема цифрового телефонного аппарата показана на рис. 5.11.

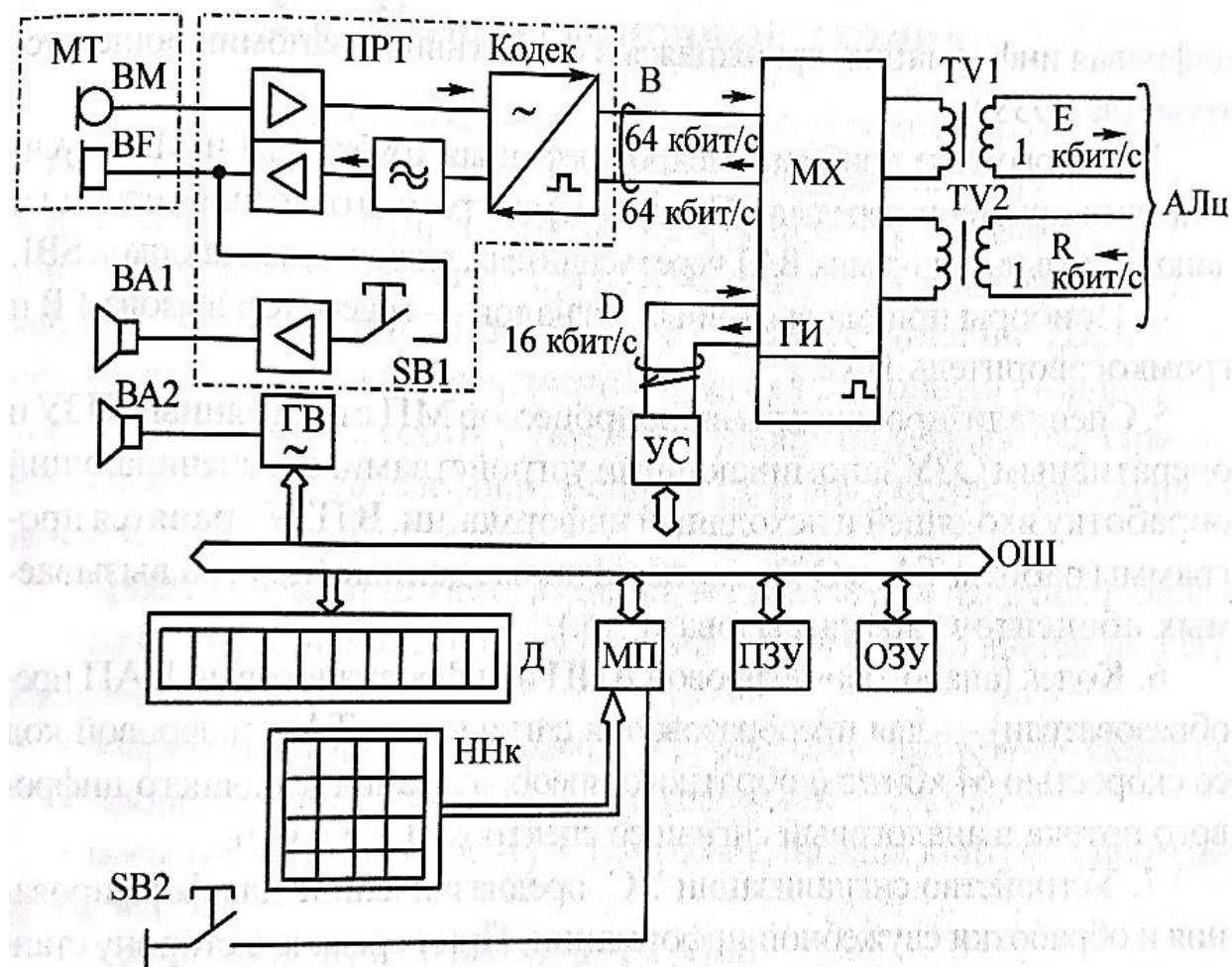


Рис. 5.11. Структурная схема цифрового телефонного аппарата

Цифровой аппарат связан с цифровой АТС четырехпроводной линией: два провода на передачу и два провода на прием. Обмен информацией между телефонным аппаратом и АТС осуществляется в цифровом коде, причем для каждого телефонного канала используется кодовая последовательность со скоростью 64 Кбит/с.

Телефонный аппарат рассчитан на обмен информацией по двум каналам (на схеме показан один). Для обмена служебными сигналами (вызов

станции, набор номера, отбой, прием вызова от другого абонента и др.) предусмотрен дополнительный, сигнальный канал. Результирующие входящий и исходящий цифровые потоки имеют скорость 192 Кбит/с.

Основные элементы телефонного аппарата:

1 Кнопочный номеронабиратель ННк.

2 Дисплей (Д) – жидкокристаллический индикатор, на котором отображается информация о номере вызываемого абонента, номере вызывающего абонента, а также некоторая дополнительная буквенно-цифровая информация, хранящаяся в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ).

3 Разговорные приборы (микрофонная трубка *BM* и *MF*) с усилителями приема и передачи. Предусмотрен громкоговорящий прием на дополнительный динамик *BA1* через усилитель, включаемый кнопкой *SB1*.

4 Приборы приема вызывных сигналов – генератор вызова (ГВ) и громкоговоритель *BA2*.

5 Специализированный микропроцессор (МП) с постоянным запоминающим устройством (ПЗУ) и оперативным запоминающим устройством (ОЗУ), обеспечивающий обработку входящей и исходящей информации. В ПЗУ хранятся программы работы телефонного аппарата, в ОЗУ – оперативные данные (номера вызываемых абонентов, время вызова и др.).

6 Кодек (аналогово-цифровой АЦП и цифроаналоговый ЦАП преобразователи) для преобразования сигналов от телефонного аппарата в цифровой код со скоростью 64 Кбит/с и обратного преобразования, входящего цифрового потока в аналоговый сигнал со спектром 0,3...3,4 кГц.

7 Устройство сигнализации (УС), предназначенное для формирования и обработки служебной информации. При передаче в сторону станции формируется сигнал вызова станции, набора номера, отбоя и т.д. При приеме УС выделяет сигналы вызова и отбоя от другого абонента, номер вызывающего абонента и др. Увязка блоков осуществляется с использованием общей шины (ОШ).

8 Мультиплексор *MX* предназначен для объединения исходящих цифровых потоков информационных и служебных сигналов, а также разделения этих потоков при приеме.

Гальваническая развязка телефонного аппарата с линией осуществляется с помощью трансформаторов TV1 и TV2. Электропитание телефонного аппарата осуществляется от телефонной станции или от местного источника. Рассмотренный принцип взаимодействия телефонного аппарата с цифровой АТС получил название интерфейса 2В+D (два речевых канала + 1 служебный) и широко используется в различных пультах оперативно-технологической связи (DX-500 или ДСС).

В связи с широким внедрением волоконно-оптического кабеля находят применение оптические телефоны, позволяющие организовать связь с аналогичными телефонными аппаратами непосредственно по оптической линии при монтаже, проведении регламентных работ и ремонте магистралей.

5.2 Телефонные станции ручного обслуживания

Полносвязная сеть соединения абонентов может быть реализована с использованием системы с местным питанием микрофонов. Радиальная структура сети предусматривает организацию телефонных станций, место расположения которых определяется по минимальной суммарной длине линий связи. В этом случае соединение абонентов осуществляется не непосредственно, а через телефонную станцию, которая должна иметь соответствующие приборы и устройства. При соединении абонентов телефонные станции должны обеспечивать выполнение следующих функций:

- прием вызова от любого абонента, включенного в данную станцию;
- возможность подключения к линии вызывающего абонента и его идентификация;
- «опрос» вызывающего абонента и определение требуемого абонента;
- проверка свободности линии требуемого абонента;
- посылка вызова абоненту и получение сигнала контроля прохождения вызова;
- соединение абонентов между собой;
- получение сигнала отбоя – окончания разговора одного из абонентов;
- ликвидация соединения – разъединение абонентов.

Данные функции могут реализовываться либо вручную операторами на *станциях ручного обслуживания* (РТС), либо автоматически специальными устройствами и приборами на *автоматических телефонных станциях* (АТС).

На железнодорожном транспорте для оборудования телефонных станций местной связи и междугородних телефонных станций применяются коммутаторы шкафного типа, в состав которых входят следующие приборы и оборудование:

- соединительные приборы: гнезда местного поля с контактными группами, в которые включаются линии абонентов; шнуровые пары, представляющие собой два шнура, оканчивающиеся опросным и вызывным штепселями;
- *сигнальные приборы*: сигнализаторы вызова, отбоя и контроля прохождения соединения (контрольные лампы и звонки);
- *коммутационные приборы*: опросно-вызывные ключи, вспомогательные кнопки, реле;
- *переговорные приборы* (гарнитура телефонистки): микрофон, телефон, линейный трансформатор.

Внешний вид коммутатора шкафного типа показан на рис. 5.12.

В верхней части лицевой панели размещены вспомогательные кнопки:

- Зв – кнопка подключения звонка вызова в ночное время;
- Т – кнопка вызова и соединения со старшей телефонисткой;
- МЗ – кнопка включения машинного зуммера (фонический вызов);

- МИ – кнопка включения машинного индуктора в качестве источника вызывного тока *ИВТ*;
- Ф – кнопка фонического вызова.

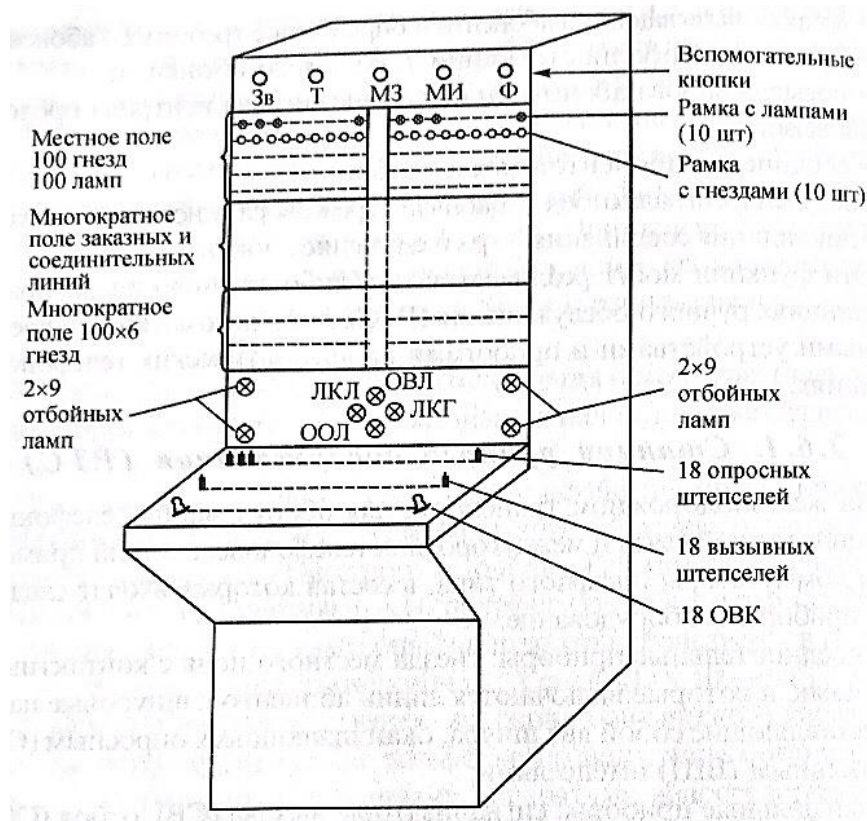


Рис. 5.12. Внешний вид шнурового коммутатора шкафного типа

В местном поле коммутатора размещены рамки на 100 гнезд и 100 вызывных ламп. Ниже размещено многократное поле на 600 гнезд и многократное поле заказных и соединительных линий.

Кроме того, размещены 18 пар отбойных ламп (по числу шнуровых комплектов), ОВЛ – общевызывная лампа, ООЛ – общеотбойная лампа, ЛКГ – лампа контроля генератора, ЛКЛ – лампа контроля линии.

На горизонтальном столике размещены опросные и вызывные штепсели (18 пар) и опросно-вызывные ключи ОВК.

Кроме собственно коммутатора в состав телефонной станции входят релейные стивы, на которых размещены комплекты линейных и отбойных реле.

Взаимодействие элементов станции ручного обслуживания при соединении абонентов показано на рис. 5.13.

При снятии абонентом (например, ТА1) микрофонной трубки замыкается контакт рычажного переключателя (РП). При этом на коммутаторе срабатывает сигнализатор вызова (СВ) и включает вызывную лампу, расположенную над гнездом данного абонента. Оператор, увидев вызывной сигнал, вставляет опросный шнур (ОШ) в это гнездо.

На микрофон абонента подается питание от центральной батареи E через катушки индуктивности $L1$ и $L3$ моста питания (МП). Переводя опросно-вызывной ключ (ОВК) в положение «Опрос», оператор подключает свои разговорные приборы (РП) к линии вызвавшего абонента и производит его опрос. Затем, убедившись в свободности требуемого абонента, вставляет вызывной шнур (ВШ) (парный опросному шнуру) в гнездо этого абонента.

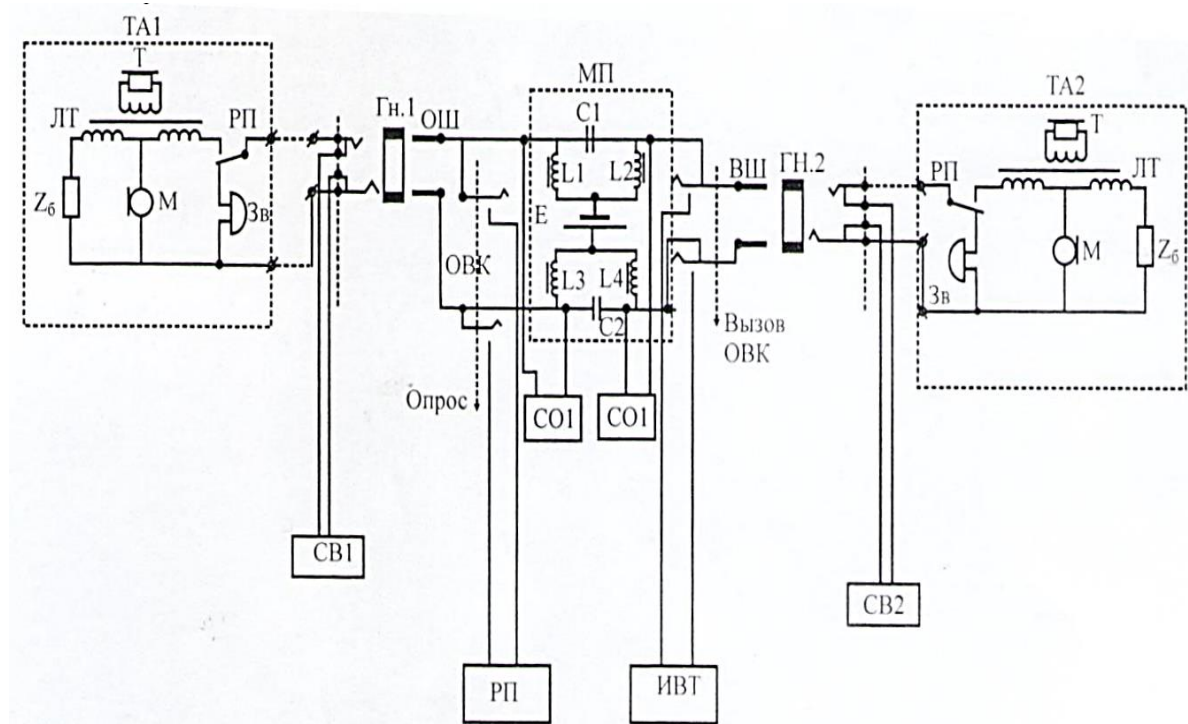


Рис. 5.13. Пояснение к взаимодействию элементов РТС

Переводя ОВК в положение «Вызов», оператор подключает к линии требуемого абонента источник вызывного тока ИВТ (машинный индуктор), посылая абоненту вызов. При снятии абонентом микрофонной трубки оператор переводит ОВК в среднее положение и абоненты оказываются соединенными между собой.

По окончании разговора (один из абонентов положил трубку) на лицевой панели коммутатора включается отбойная лампа, соответствующая данному шнуровому комплекту. Оператор вынимает ВШ и ОШ из соответствующих гнезд, осуществляя рассоединение абонентов.

Если количество абонентов РТС превышает емкость одного коммутатора, то устанавливается соответствующее число коммутаторов. Для удобства соединения абонентов, включенных в разные коммутаторы, организуется многократное поле. В многократное поле каждого коммутатора параллельно подключены гнезда местных полей всех коммутаторов. При использовании коммутаторов ЦБЗ×2 в многократном поле каждого коммутатора может монтироваться до 600 гнезд (станция на 600 абонентов).

Кроме *шнуровых коммутаторов* получили распространение и *бесшнуровые*, в которых соединение абонентов производится с помощью кнопок и (или) ключей.

На железнодорожном транспорте применяются специальные телефонные установки типа СТУ (рис. 5.14, *а*), унифицированные коммутаторы станционной связи типа УКСС (рис. 5.14, *б*), коммутаторы оперативной связи типа КОС и комплекты аппаратуры станционной связи типа КАСС на различное число абонентов.

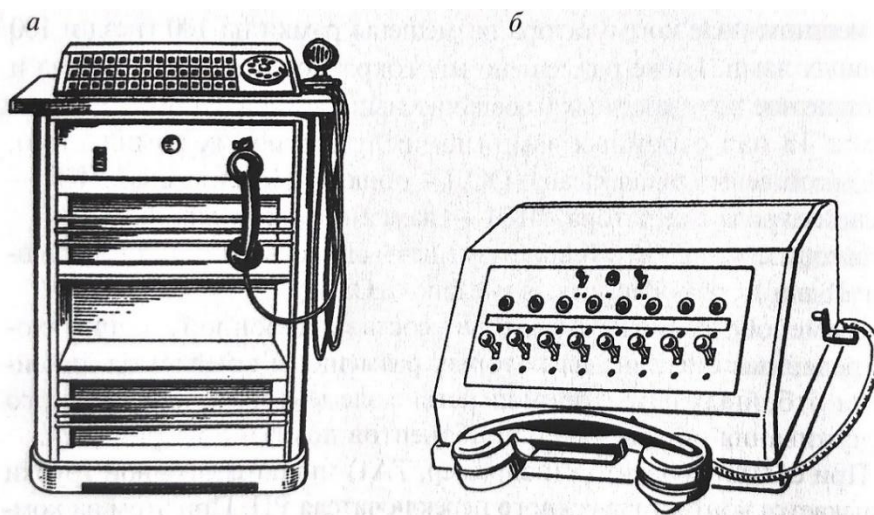


Рис. 5.14. Бесшнуровые коммутаторы

Основными недостатками станций ручного обслуживания являются:

- недостаточная оперативность и низкое качество соединения абонентов вследствие влияния человеческого фактора;
- тяжелые условия труда операторов (особенно при станциях большой емкости);
- громоздкость оборудования, большое потребление электрической энергии и др.

Для устранения указанных недостатков необходима автоматизация процесса соединения абонентов путем внедрения автоматических телефонных станций (АТС).

5.3 Автоматические телефонные станции

Для автоматизации процесса соединения абонентов необходимо следующее:

- 1 Нумерация всех абонентов в выбранной системе счисления (во всех телефонных станциях используется десятичная система нумерации абонентов).

- 2 Наличие у каждого абонента прибора для отправки на АТС спе-

циальных вызывных комбинаций, соответствующих номерам требуемых абонентов. Такие приборы получили название **номерабиравателей (НН)**. Они могут обеспечивать посылку импульсных или частотных (тональных) комбинаций. При импульсном наборе каждой цифре соответствует число импульсов постоянного тока, посылаемых на телефонную станцию (при наборе цифры 1 в линию посылается один импульс, при наборе цифры 0...10 импульсов).

3 Наличие на телефонной станции приборов, обеспечивающих прием вызывных комбинаций от номерабиравателя и осуществляющих соединение абонентов.

4 Наличие алгоритма взаимодействия приборов АТС с абонентом (система сигнализации). Следует отметить, что приборы АТС выполняют те же функции, что и станции ручного обслуживания, только без участия телефонистки.

Любая АТС в своем составе должна иметь два класса устройств:

- *управляющие устройства (УУ)*, обеспечивающие прием от абонента сигналов вызова и набора номера, определение состояния линии вызываемого абонента и отыскание соединительных путей от линии вызвавшего абонента к линии требуемого абонента;

- *коммутационные устройства (поле) (КП)*, обеспечивающие электрическое соединение указанных линий и создание тракта передачи сообщений. Коммутационные приборы строятся на базе различных искателей или соединителей.

Если функции УУ и КП выполняет один и тот же элемент (прибор), то такие АТС относятся к **АТС с непосредственным управлением** (рис. 5.15).

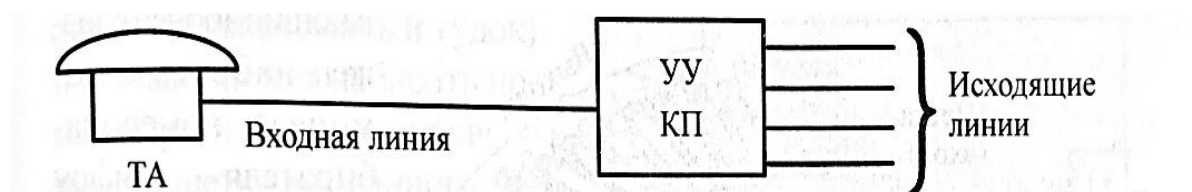


Рис. 5.15. Структура АТС с непосредственным управлением

Если эти функции выполняются разными элементами, АТС относятся к классу **АТС с косвенным управлением** (рис. 5.16).

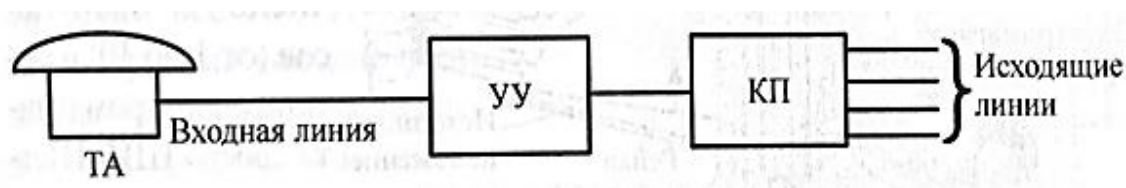


Рис. 5.16. Структура АТС с косвенным управлением

В зависимости от элементной базы реализации УУ и типа искателей (соединителей) АТС подразделяются:

- на декадно-шаговые;
- координатные;
- квазиэлектронные;
- электронные, которые подразделяются на аналоговые и цифровые.

Декадно-шаговые АТС относятся к системам с непосредственным управлением. Функции УУ и КУ выполняют одни и те же устройства (шаговые искатели). Наиболее распространенными являются шаговые искатели типа ШИ-11 и декадно-шаговые искатели типа ДШИ-100.

Шаговый искатель ШИ-11 изображен на рис. 5.17.

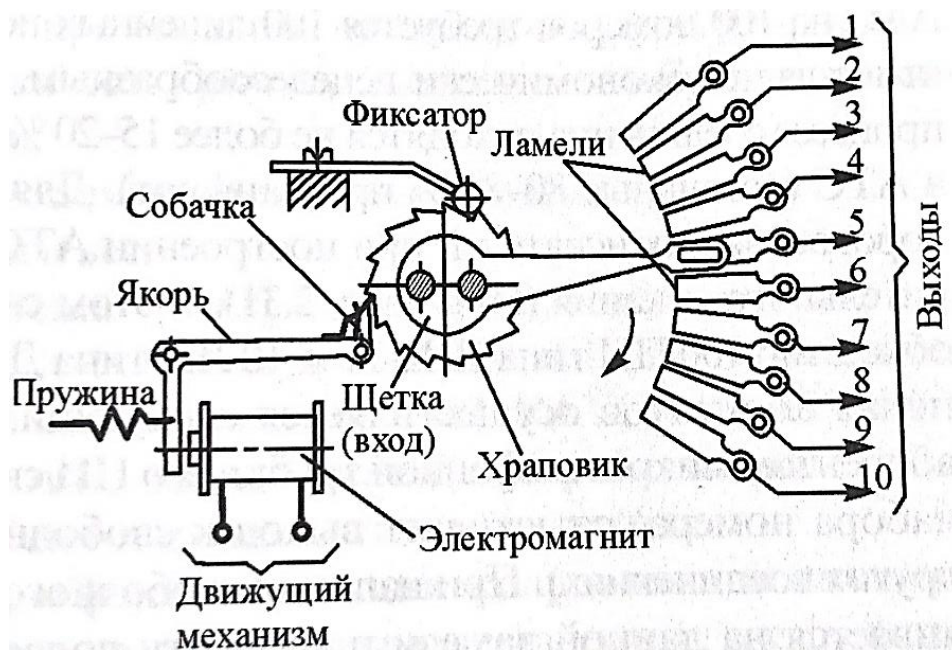


Рис. 5.17. Устройство ШИ-11

ШИ-11 состоит из электромагнита с якорем, собачки, храпового колеса (храповик), на оси которого укреплена металлическая пластина (щетка), взаимодействующая с одним из 11 неподвижных контактных ламелей (выходов). При поступлении импульса тока в обмотку электромагнита якорь притягивается к сердечнику. Собачка, упираясь в зуб храпового колеса, поворачивает его на определенный угол (шаг), перемещая щетку на следующую ламель.

По окончании импульса якорь под действием пружины отходит от сердечника. Собачка, скользя по скошенной части зуба, переходит под следующий выступ храпового колеса. При поступлении следующего импульса щетка делает очередной шаг. Таким образом, число шагов перемещения щетки будет соответствовать числу импульсов, поступивших в обмотку электромагнита. Размещая на одной оси несколько щеток, можно осуществлять многопроводную коммутацию.

Декадно-шаговый искатель типа ДШИ-100 (рис. 5.18) имеет контактное поле на 100 выходов (ламелей), размещенных в 10 рядах (по 10 ламелей в каждом ряду). Щетка искателя может совершать два вида движений: подъемное и вращательное под действием соответствующих электромагнитов.

При поступлении импульсов в обмотки электромагнита подъема щетка с помощью собачки и зубчатой рейки поднимается на соответствующую декаду. Последующее поступление импульсов в обмотку электромагнита вращения приводит к перемещению щетки по выбранной декаде. Таким образом обеспечивается соединение входа (щетки) с требуемым выходом (контактной ламелью).

Принцип соединения абонентов можно рассмотреть на примере простейшей АТС на 10 номеров.

Телефонный аппарат каждого абонента абонентской линией (АЛ) соединяется со щетками своего искателя. Одноименные выходы всех искателей объединены (запараллелены), и к каждой из шин подключается абонентская линия в соответствии с номером.

Для установления соединения вызывающий абонент должен набрать с помощью номеронабирателя цифру 10 требуемого абонента (от 1 до 0), посылая соответствующее число импульсов (от 1 до 10) в обмотку электромагнита своего ШИ. Щетки искателя делают соответствующее число шагов, подключая линию требуемого абонента.

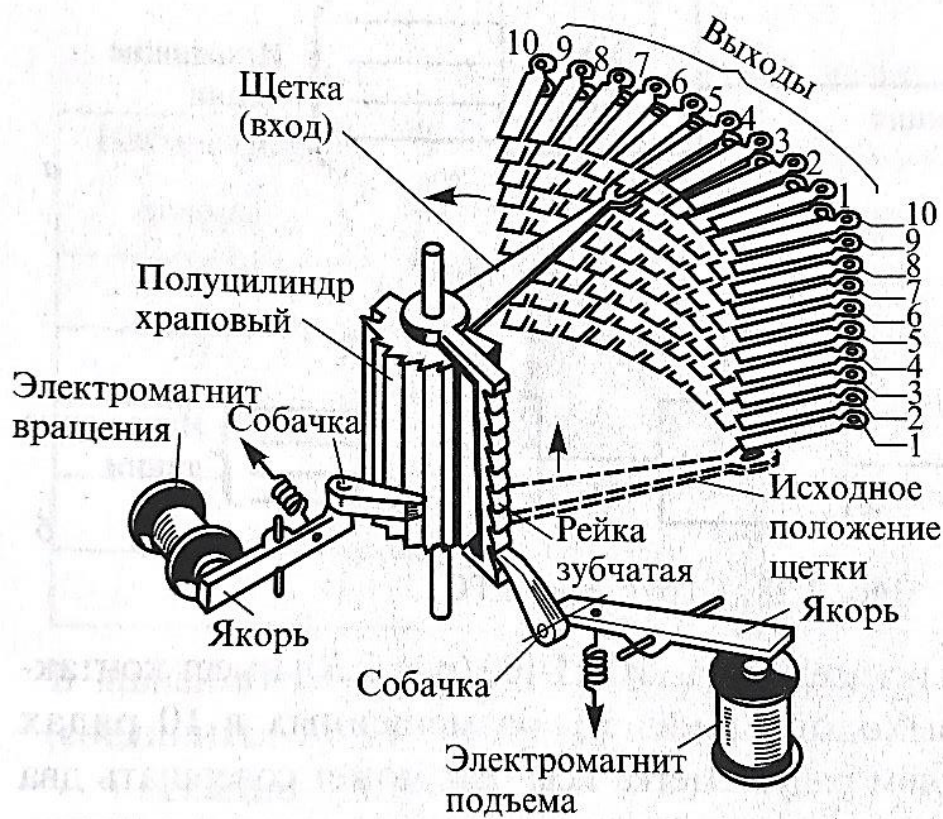


Рис. 5.18. Устройство ДШИ-100

Аналогичную структуру будет иметь АТС на 100 номеров с использованием искателей типа ДШИ-100. Для установления соединения необходим набор двух цифр. При наборе первой цифры щетка искателя вызывающего абонента поднимается на соответствующую декаду. При наборе второй цифры щетка вращательным движением по выбранной декаде отыскивает требуемую ламель, к которой подключена линия вызываемого абонента.

В этом случае для построения АТС на 100 номеров требуется 100 линейных искателей типа ДШИ-100, что является экономически нецелесообразным, так как одновременно в процессе соединения находятся не более 15...20 % абонентов, включенных в АТС (остальные 80...85% простаивают).

Для лучшего использования дорогостоящих искателей при построении АТС вводят ступень предварительного искания (ПИ) (рис. 5.19). В этом случае на 100 номеров необходимо 100 ПИ типа ШИ-11 и 10 ЛИ типа ДШИ-100.

Процесс соединения абонентов осуществляется следующим образом. При снятии абонентом микрофонной трубки его ПИ свободным движением (до набора номера) отыскивает выход к свободному ЛИ (не занятому в других соединениях). При наличии свободного ЛИ щетка ПИ останавливается на данной ламели, абоненту подается сигнал о том, что станция свободна (непрерывный гудок), и абонент может набирать номер.

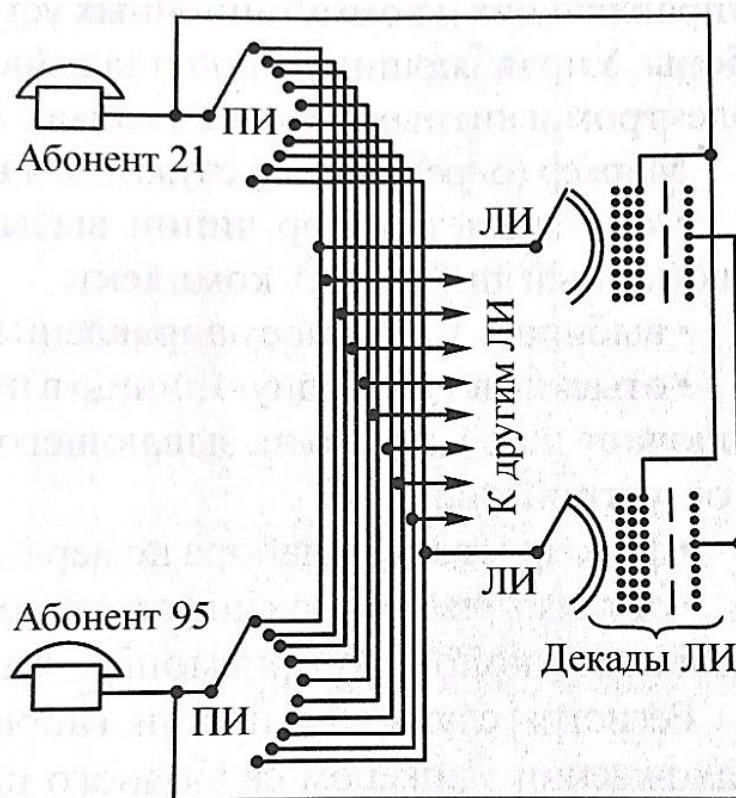


Рис. 5.19. Структурная схема АТС на 100 номеров

При наборе двузначного номера щетки выбранного ЛИ совершают подъемное и вращательное движение, подключая линию требуемого абонента. Если все 10 ЛИ заняты предыдущими соединениями, щетка предварительного искателя выходит на 11-й контакт (ламель) и абоненту подается сигнал о занятости станции (абонент может повторить вызов через некоторое время).

При построении АТС с числом абонентов более 100 между ступенями ПИ и ЛИ вводятся одна или несколько ступеней группового искания (ГИ). Так, при построении АТС на 1000 номеров необходимо 1000 ПИ типа ШИ-11, 100 ГИ типа ДШИ-100 и 100 ЛИ типа ДШИ-100. При необходимости дальнейшего увеличения емкости станции вводятся вторая, третья и т.д. ступени группового искания.

Недостатки декадно-шаговых АТС:

- наличие контакта трения приводит к быстрому износу щетки, увеличению переходного сопротивления, необходимости регулировки и, следовательно, низкому качеству разговорного тракта и большим эксплуатационным расходам;

- большие электрические и акустические шумы;

- большие габариты и вес;

- большое потребление электрической энергии.

Основные типы АТС декадно-шаговой системы, ранее выпускавшиеся отечественной промышленностью: УАТС-47, УАТС-49 и АТС-54.

Автоматические телефонные станции координатной системы (АТСК) относятся к станциям с косвенным управлением, где функции управляющих и коммутационных устройств выполняют разные приборы.

Управляющие устройства выполнены на быстродействующих электромагнитных реле и содержат *маркеры* и *регистры*.

Маркер (определитель) служит для выполнения следующих функций:

- определяет номер линии вызывающего абонента и находит свободный шнуровой комплект;

- выбирает требуемое направление соединения (пучок линий);

- отыскивает свободную линию в пучке (пробное устройство) и подключает к ней линию вызывающего абонента через коммутационное устройство;

- фиксирует знаки набора номера, поступающие из регистра;

- осуществляет обмен информацией между маркером и регистром с помощью кодового приемопередатчика.

Регистры служат для посылки абоненту сигнала ответа станции при нахождении маркером свободного шнурового комплекта, приема от абонента информации о набираемом номере и передачи ее маркерам группового и абонентского искания.

Основным коммутационным прибором в АТСК является *многократный координатный соединитель* (МКС), конструктивная схема которого показана на рис. 5.20.

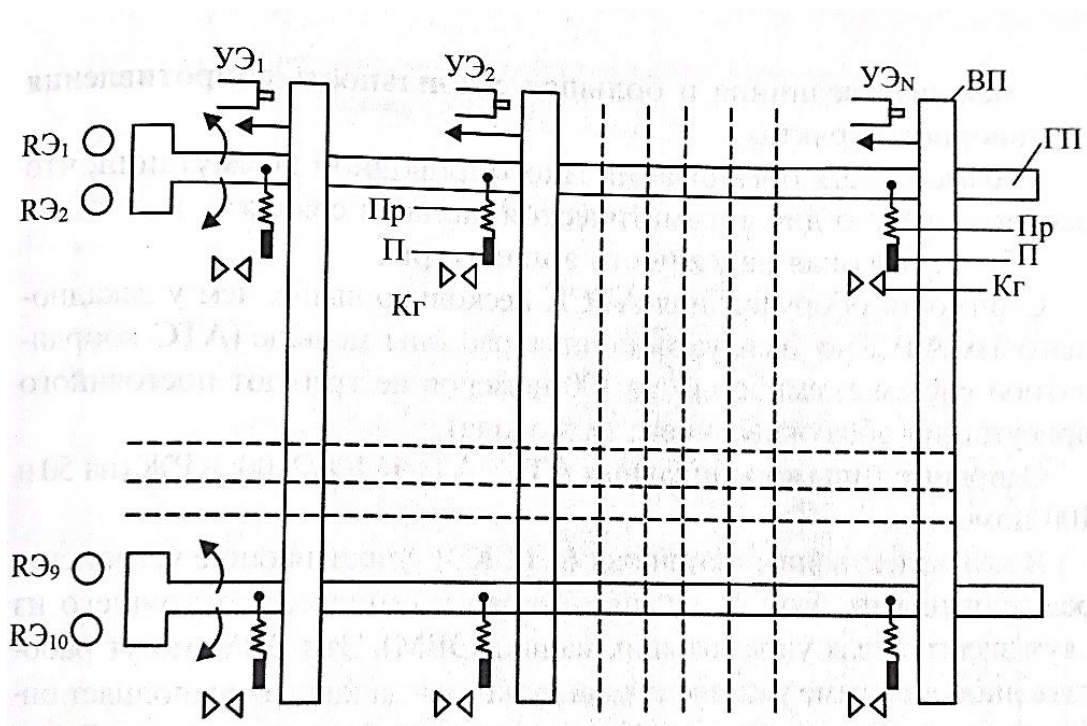


Рис. 5.20. Конструкция многократного координатного соединителя

МКС состоит из горизонтальных выбирающих планок (ГП), управляемых выбирающими электромагнитами (ВЭ), и вертикальных удерживающих планок (ВП), управляемых удерживающими электромагнитами (УЭ). Количество планок зависит от типа соединителя (наиболее распространенный двухпозиционный МКС 20×10×6 имеет 20 вертикальных и 5 горизонтальных планок).

Под действием выбирающих электромагнитов горизонтальные планки имеют возможность поворота на определенный угол в одну или другую сторону. Вертикальные планки под действием УЭ могут перемещаться на некоторое расстояние.

Замыкание требуемой контактной группы Кг осуществляется в два этапа и сводится к поочередному срабатыванию одного из выбирающих и одного из удерживающих электромагнитов. При срабатывании выбирающего электромагнита (например, ВЭ2) ГП поворачивается и все связанные с ней выбирающие пальцы (П) опускаются и входят в зазор между вертикальными планками и контактными группами.

При последующем срабатывании одного из удерживающих электромагнитов (например, УЭ2) его вертикальная планка, перемещаясь, нажимает на выбирающий палец П, который передает давление на контактные пластины, осуществляя замыкание контактной группы Кг.

После замыкания Кг выбирающий электромагнит обесточивается, ГП возвращается в исходное положение, но палец оказывается зажатым (происходит растяжение пружины Пр) и контактная группа остается замкнутой до конца соединения.

Эта же горизонтальная планка может быть использована для организации другого соединения, т.е. снова может сработать ВЭ2 и какой-то другой УЭ (многократность). Для разъединения необходимо выключить УЭ2, при этом вертикальная планка возвращается в исходное положение, освобождая выбирающий палец, что приводит к размыканию контактной группы.

Количество входов МКС соответствует числу вертикалей, а количество выходов – числу контактных групп на каждой вертикали.

Для МКС типа 20×10×6 число входов 20, число выходов 10. Цифра 6 означает число одновременно коммутируемых проводов.

К достоинствам координатных АТС следует отнести:

- отсутствие трения в соединителях, что уменьшает механический износ контактов;
- меньшая величина и большая стабильность сопротивления разговорного тракта;
- возможность организации многопроводной коммутации, что особенно важно для автоматической дальней связи;
- более высокая надежность аппаратуры.

Стоимость оборудования АТСК несколько выше, чем у декадно-шаговых АТС, но эксплуатационные расходы меньше (АТС координатной системы емкостью до 100 номеров не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала).

Основные типы координатных АТС: АТСК 100/2000; КРЖ (на 50 и 100 номеров).

В **квазиэлектронных станциях (АТСКЭ)** управляющие устройства реализованы на базе вычислительного комплекса, состоящего из двух электронных управляющих машин (ЭВМ). Эти ЭВМ могут работать либо в режиме разделения нагрузки, когда каждая выполняет определенный объем работы, либо в синхронном режиме, когда обе машины выполняют полный объем работы со сравнением результатов.

При отказе одной из машин независимо от режима работы другая машина будет выполнять полный объем. Коммутационные устройства выполнены на быстродействующих электромагнитных приборах (герконах, ферридах, гезаконах, малогабаритных реле и др.).

Структурная схема квазиэлектронной АТС показана на рис. 5.21.

Вычислительный комплекс включает в себя следующие блоки:

- ОЗУ – оперативное запоминающее устройство для хранения оперативной (изменяющейся) информации о состоянии линий, точек коммутации, внутристанционных линий, линейных и шнуровых комплектов и т.д.;
- ПЗУ – постоянное запоминающее устройство для хранения программ обслуживания, данных о структуре и нумерации абонентов, их категории, дополнительных видах обслуживания и др.;
- АЛУ – арифметико-логическое устройство, в котором осуществляется обработка информации по заданной программе и выработка команд для управляющих устройств;

– УУ – устройство управления для обеспечения синхронизации работы всех блоков ЭВМ;

– УВВ – устройства ввода и вывода информации: ТГ – телеграфный аппарат, П – перфоратор, М – магнитофон, Д – дисплей.

Для согласования быстродействующих ЭВМ с относительно медленнодействующими коммутационными устройствами используются периферийные управляющие устройства (ПУУ), включающие сканирующие устройства (СУ) и исполнительные устройства (ИУ).

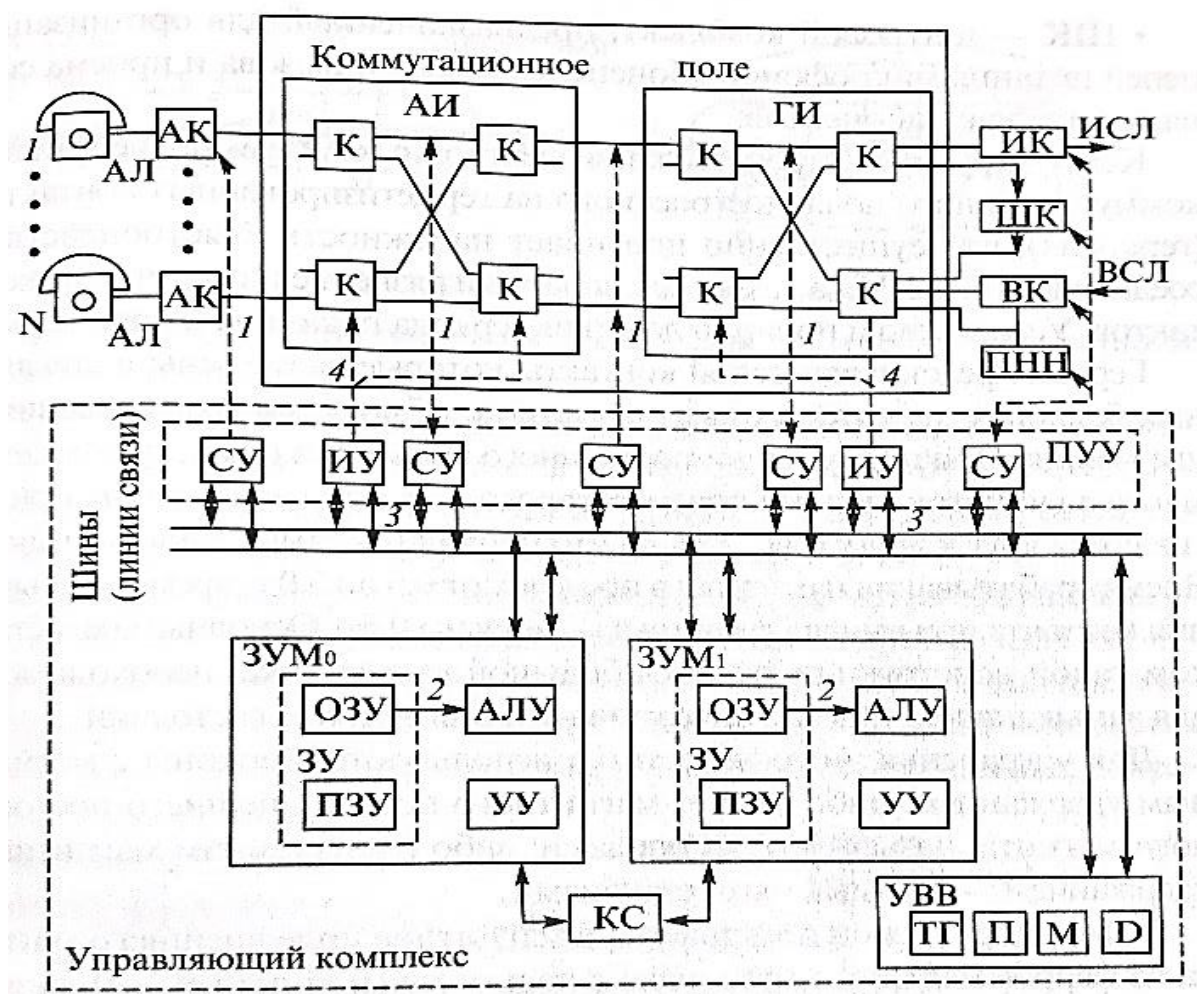


Рис. 5.21. Структурная схема квазиэлектронной АТС

В состав телефонной станции входят:

– АК – абонентские комплекты, предназначенные для определения состояния абонентской линии, питания микрофонов абонентов и послыки абоненту сигналов станции;

– ИК, ИСЛ – исходящий комплект и исходящая соединительная линия для связи с другими АТС;

– ВК, ВСЛ – входящий комплект и входящая соединительная линия;

– ПНН – приемник набора номера и послыки сигнала ответа станции;

– ШК – шнуровой комплект, предназначенный для организации це-

пей питания микрофонов абонентов, послышки вызова и приема сигналов отбоя от абонентов.

Коммутирующее устройство квазиэлектронных АТС выполнено в виде коммутационного поля, построенного на **герметизированных контактах (герконах)**, что существенно повышает надежность, быстродействие соединения, а также исключает загрязнение и подгорание контактов.

Устройство и принцип действия геркона показаны на рис. 5.22.



Рис. 5.22. Устройство геркона

Геркон представляет собой контакты, размещенные в стеклянных баллонах, из которых выкачан воздух, обмотки срабатывания и удержания.

Коммутирующее устройство выполнено в виде матрицы, размещенной на печатной плате. Так как в качестве УУ используется ЭВМ с большим объемом памяти, то кроме основного назначения (соединение абонентов) АТСКЭ могут выполнять дополнительные виды обслуживания (ДВО), такие как определение номера вызывающего абонента, сокращенный набор номера, конференц-связь, напоминание или побудка, переадресация номеров и др.

На отечественном железнодорожном транспорте наибольшее распространение получили АТСКЭ типа «Квант».

В **электронных станциях (АТСЭ)** и управляющие, и коммутационные приборы выполнены на бесконтактных электронных элементах (диоды, транзисторы, интегральные микросхемы (ИМС) и др.).

Основное применение нашли электронные АТС двух типов: *аналоговые* и *цифровые*.

Аналоговые АТС имеют такую же структуру построения, как и квазиэлектронные АТС, но вместо герконов (ферридов, гезаконов) в коммутационных устройствах используются транзисторы и ИМС, работающие в ключевом режиме (открыт – элемент обладает малым сопротивлением, закрыт – большим сопротивлением).

Цифровые АТС, в отличие от всех ранее рассмотренных, осуществляют не пространственную, а временную коммутацию каналов в этом случае, и разговорные сигналы и сигналы управления и взаимодействия отображаются в цифровой форме.

Структурная схема цифровой АТС показана на рис. 5.23.

Здесь:

- АК – абонентские комплекты;
- АЦП – аналогово-цифровые преобразователи;
- Кц – цифровой концентратор (мультиплексор);
- КПц – цифровое коммутационное поле;
- СУ – сигнальные устройства;
- УУ – управляющие устройства;
- УВВ – устройства ввода-вывода.

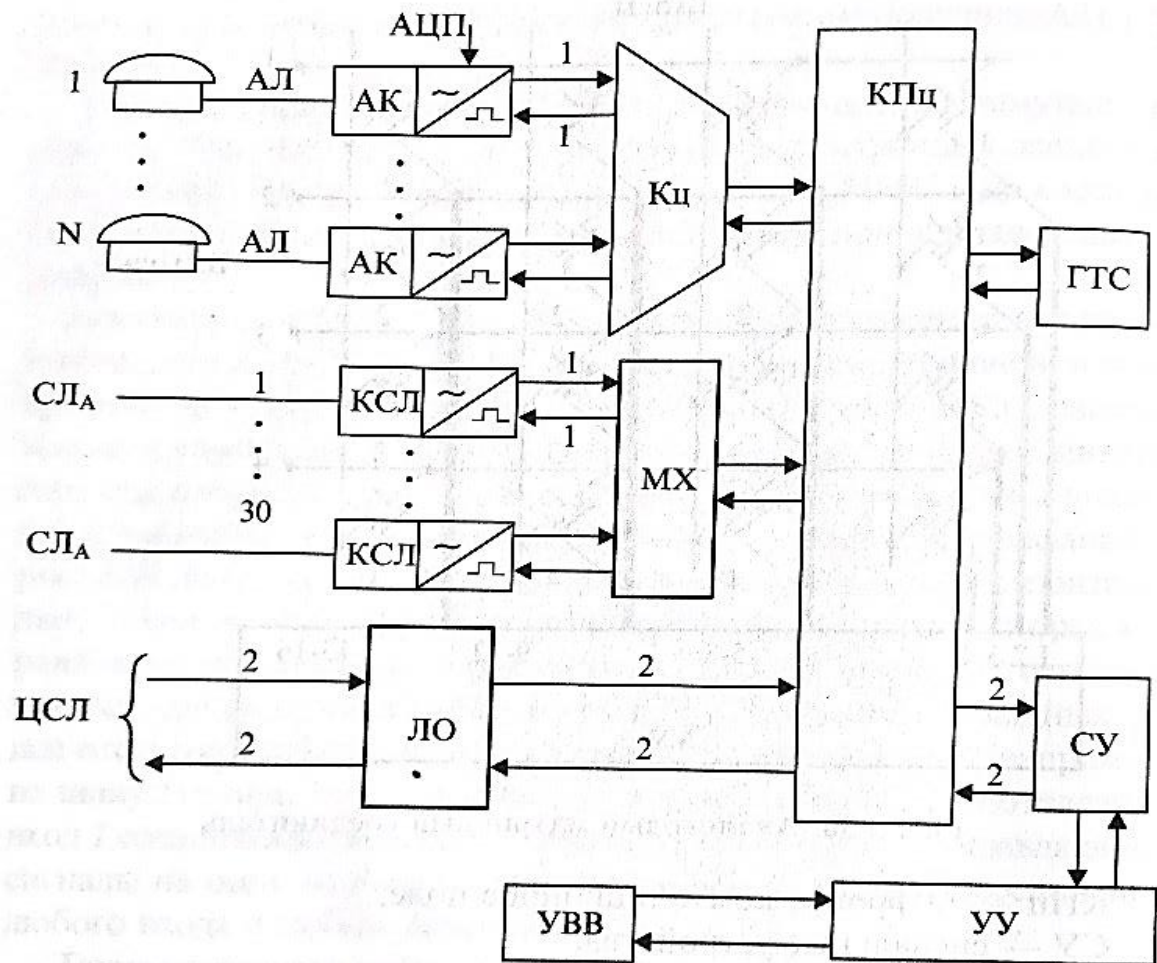


Рис. 5.23. Структурная схема цифровой АТС

Абонентские комплекты обеспечивают подключение аналоговых абонентских линий и выполняют следующие функции:

- прием от абонента сигналов вызова станции (при снятии микрофонной трубки);
- подключение питания микрофонов абонентов постоянным током от ЦБ;
- прием импульсов набора номера от номеронабирателя;
- посылка в абонентскую линию сигнала вызова;
- прием сигнала отбоя от абонента.

Аналогово-цифровые преобразователи осуществляют дискретизацию входных аналоговых сигналов частотой 8 кГц (требование теоремы Котельникова) и преобразование АИМ-сигнала в 8-разрядные кодовые комбинации. Таким образом, сигнал на выходе АЦП представляет собой цифровую кодовую последовательность со скоростью потока 64 кбит/с. Кроме того, АЦП осуществляет обратное преобразование – цифровой поток 64 кбит/с в сторону абонента преобразуется в аналоговый речевой сигнал или сигнал управления и взаимодействия.

Цифровой концентратор (мультиплексор) осуществляет мультиплексирование (объединение) цифровых потоков отдельных каналов и формирование общего цифрового потока. Обычно объединяются 30 речевых (информационных) каналов и два служебных.

Таким образом, на выходе концентратора будет цифровой поток со скоростью 2048 Кбит/с, разделенный на 32 канальных интервала, жестко закрепленных за соответствующими каналами. Кц производит разделение (демультиплексирование) цифрового потока 2048 Кбит/с, получаемого от коммутационного поля, на 32 цифровых потока по 64 Кбит/с, которые также закреплены за соответствующими каналами.

Цифровое коммутационное поле осуществляет межканальные соединения (передачу информации из одного канального интервала входного цифрового потока в канальный интервал нужного канала исходящего цифрового потока) по командам от управляющего устройства АТС.

Структура цифрового коммутационного поля показана на рис. 5.24.



Рис. 5.24. Структура цифрового коммутационного поля

КПц включает в себя речевое запоминающее устройство (ЗУ), в ячейки которого записывается информация из канальных интервалов входящего цифрового потока. Считывание информации из речевого ЗУ осуществляется по командам из управляющего ЗУ с учетом соединения нужных каналов. Синхронизация работы блоков речевого и управляющего ЗУ обеспечивается с помощью счетчиков.

КПц реализуется с использованием больших интегральных микросхем (БИС). Например, в аппаратуре ДСС, широко используемой на железнодорожном транспорте, коммутационное поле реализовано на двух БИС и позволяет коммутировать 512 входных каналов на 512 выходных (матрица 512×512).

Взаимодействие цифровых АТС с аналоговыми осуществляется по **аналоговым соединительным линиям (СЛа)** через комплекты соединительных линий (КСЛ).

Преобразование аналогового сигнала в цифровой поток и обратное преобразование выполняется **АЦП комплектов соединительных линий**.

Разделение цифрового потока от КПц (2048 Кбит/с на 32 потока по 64 Кбит/с) и обратное преобразование производит **мультиплексор МХ**.

Увязка с цифровыми АТС осуществляется по **цифровым соединительным линиям (ЦСЛ)** с использованием цифрового потока 2048 Кбит/с через линейное оборудование (ЛО), преобразующее линейный поток во внутристанционный и наоборот.

Генератор тональных сигналов (ГТС) формирует акустические сигналы (ответ станции, контроль посылки вызова, сигнал занятости линии и т.д.) и через КПц передает их в абонентские или соединительные линии.

Сигнальное устройство (СУ) обеспечивает прием и передачу через КПц управляющих и линейных сигналов на абонентские комплекты, аналоговые и цифровые СЛ. В СУ происходит обработка функциональных сигналов и обмен информацией с устройством управления, синхронизирующим работу всех остальных блоков АТС.

Цифровые АТС выгодно отличаются от АТС других типов по габаритам, потреблению энергии, качеству разговорного тракта, универсальности, по выбору ДВО. Кроме того, цифровые АТС совместно с цифровыми системами передачи позволяют создавать полностью цифровые сети с интеграцией обслуживания.

6 ПРИНЦИПЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СВЯЗИ

6.1 Способы организации множественного доступа

Главной задачей многоканальной связи является организация передачи сигналов от разных пользователей по одной линии связи. Эта задача была актуальна в период становления отрасли связи и осталась актуальной в настоящее время.

Второй задачей для связистов является организация связи на любые расстояния, т.е. создание систем дальней связи. Обе эти задачи связаны с проблемой эффективного использования линий связи.

Линия связи большой протяженности представляет собой дорогостоящее и громоздкое сооружение, требующее больших затрат сил, средств и времени на строительство. Например, строительство 1 км воздушной линии связи с подвеской 40 проводов обходится в 8 тыс. руб., а 1 км кабельной линии (двухкабельная магистраль) – в 12 тыс. руб. При этом расходуется 168 кг (ВЛС) и 20 кг (КЛС) дефицитного металла – меди.

Подавляющая часть капитальных затрат на создание системы связи приходится на линейные сооружения и лишь незначительная часть – на аппаратуру. И эта доля растет с увеличением длины магистрали. Для поддержания линий в исправном состоянии также необходимы значительные силы и средства.

Если взять, к примеру, современную оптоволоконную линию связи, то она позволяет организовать обмен информацией разного вида (речь, данные, изображения и др.) между двумя любыми точками. Но вряд ли будет рациональным вариант ее использования для передачи информации только между двумя пользователями.

Во-первых, это очень дорого для одной пары потребителей. Во-вторых, это неэффективно, так как в линию вложены колоссальные средства, а ее пропускная способность не будет использоваться полностью. Выгоднее будет дать возможность многим потребителям услуг связи пользоваться одной линией за умеренную плату. Но каждый из них может выразить желание воспользоваться линией связи в удобное для него время и не захочет мириться с тем, что кто-то уже занял ее.

Решение может быть только одним: обеспечить возможность абонентам пользоваться одной линией связи одновременно. Это возможно, когда в одной линии связи организуется несколько информационных каналов и для их использования существуют те или иные методы объединения (мультиплексирования) и разделения (демультиплексирования) каналов, т.е. организована система множественного доступа. Линия становится коллективным ресурсом, и необходимо искать способы разделения его между множеством потребителей.

Задача увеличения дальности передачи была решена за счет применения усилителей.

Первая «телефонная трансляция» была предложена *В. И. Коваленковым* в 1919 г. В современной терминологии это **дуплексный (двусторонний) усилитель**, идея которого до сих пор реализуется в каналах *низкой частоты* (НЧ) и в *высокочастотных каналах* (ВЧ).

В современных цифровых системах связи для этих целей используют регенераторы – устройства, восстанавливающие амплитуду и форму передаваемых импульсов.

Принцип одновременной передачи сигналов от разных источников по одной линии связи показан на рис. 6.1. Сообщения $a_1(t)$, $a_2(t)$... $a_N(t)$ от нескольких источников (ИС) поступают в систему передачи, преобразуются индивидуальными преобразователями (модуляторами М-1) в первичные сигналы $S_1(t)$, $S_2(t)$... $S_N(t)$, затем они с помощью устройства преобразования сигналов (УПС) подвергаются специальной обработке, объединяются в групповой сигнал $v(t)$ и направляются в линию связи.

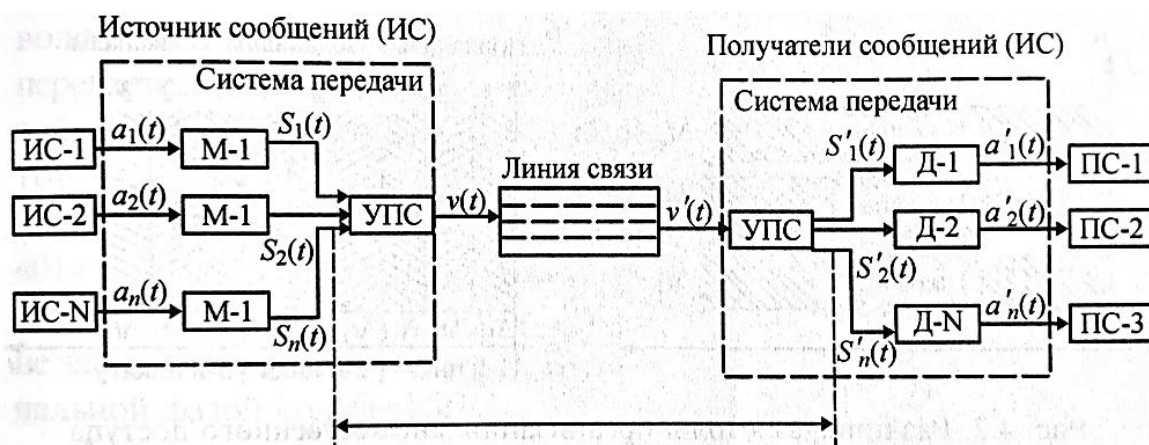


Рис. 6.1. Принцип одновременной передачи сигналов по одной линии

В приемной части системы передачи из искаженного помехой группового сигнала $v'(t)$ с помощью УПС выделяются индивидуальные первичные сигналы $S'_1(t)$, $S'_2(t)$... $S'_N(t)$ и через индивидуальные преобразователи (демодуляторы Д-1), превращаясь в принятые сообщения $a'_1(t)$, $a'_2(t)$... $a'_N(t)$, поступают получателям сообщений (ПС).

Количество стандартных каналов (аналоговых или цифровых), организованных с помощью систем передачи по одной линии, определяется типом направляющей системы и зависит от предельной частоты, которая может быть пропущена ею. Для воздушных линий связи это от 3 до 15 каналов, для симметричного кабеля – до 60 каналов, для коаксиального кабеля – до 1920 каналов, для волоконно-оптического кабеля и спутниковой линии связи – до десятков тысяч и более каналов.

Учитывая, что сигналы имеют много различных параметров (амплитуда, частота, фаза и др.) и процесс их передачи протекает во времени,

можно отделить сигналы в многоканальных системах в одной линии, придавая тому или иному параметру разные значения. Так появляются разные методы множественного доступа: частотный, временной, фазовый, кодовый и др. Широко используются частотный и временной методы доступа.

Частотный метод доступа (Frequency Division Multiple Access – FDMA), или частотное разделение каналов (ЧРК), основан на разделении частотного диапазона линии между пользователями. Сигналы в разных частотных каналах могут существовать одновременно. На этом принципе строятся применяемые сейчас аналоговые системы передачи (АСП), в которых линейные сигналы размещаются в неперекрывающихся частотных полосах (рис. 6.2). Для устранения взаимных влияний между соседними каналами вводят полосы расфилтровки.

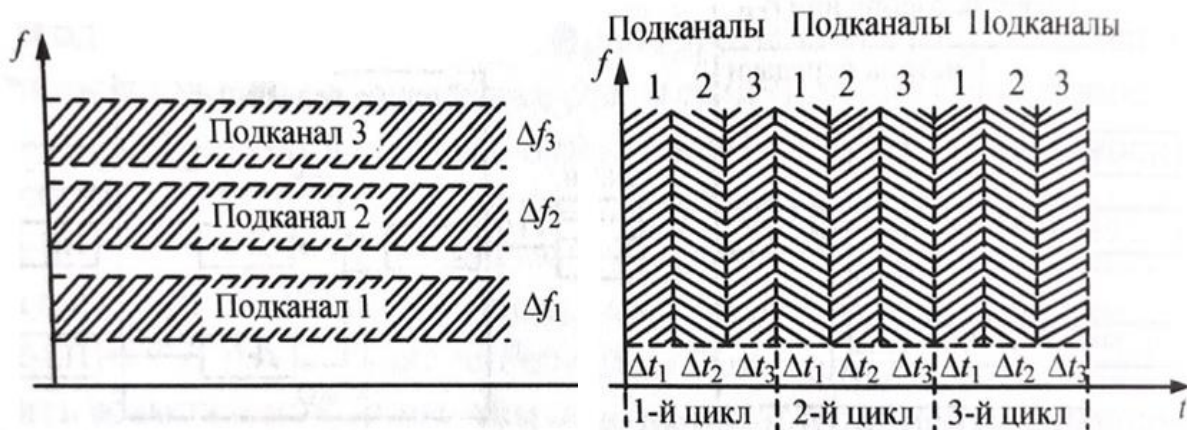


Рис. 6.2. Частотный метод доступа

Рис. 6.3. Временной метод доступа

Временной метод доступа (Time Division Multiple Access – TDMA), или временное разделение каналов (ВРК), предусматривает предоставление всего частотного диапазона линии поочередно разным пользователям. На этом принципе строятся цифровые системы передачи (ЦСП), в которых линейные сигналы передаются в неперекрывающиеся промежутки времени (рис. 6.3).

Кодовый метод доступа (Code Division Multiple Access – CDMA), или кодовое разделение каналов (КРК), обеспечивает сосуществование в одном частотном диапазоне сигналов, отличающихся значением кодовых комбинаций. На этом принципе работают каналы передачи данных в локальных вычислительных сетях с использованием витой пары или коаксиального кабеля. Линейные сигналы передаются в общем частотном диапазоне в разное время, разными кодовыми группами.

Фазовый метод доступа (Phase Division Multiple Access – PDMA), или фазовое разделение каналов (ФРК), обеспечивает существование в одном частотном диапазоне одновременно колебаний с разными начальными фазами. Учитывая, что фазовое положение может быть представлено раз-

ным направлением векторов в фазовом пространстве, этот принцип можно пояснить векторной диаграммой (рис. 6.4).



Рис. 6.4. Принцип фазового уплотнения

Данный принцип применяется при передаче цифровых сигналов с использованием фазовой модуляции по воздушным линиям связи, в симметричных и коаксиальных кабелях. На рис. 6.4 показан принцип организации двух информационных каналов. Первый подканал использует колебания с начальной фазой $\varphi_0 = 0^\circ$ для передачи символа «0» и колебания с начальной фазой $\varphi_0 = 180^\circ$ для передачи символа «1». Во втором подканале для символа «0» используется колебание с начальной фазой 90° , а для передачи символа «1» – с начальной фазой 270° . Пара символов («0» или «1» в любых сочетаниях) передается колебанием с начальной фазой, равной геометрической сумме векторов соответствующих подканалов. Линейные сигналы передаются по одной цепи в одном диапазоне частот одновременно и отличаются начальной фазой колебания.

Спектральный (волновой) метод доступа (Wave Division Multiple Access – WDMA), или спектральное разделение каналов (СРК), применяется в волоконно-оптических кабелях, когда передача световых импульсов осуществляется на разных длинах волн. Линейные сигналы передаются в неперекрывающихся диапазонах длин волн инфракрасного участка спектра.

Пространственный метод доступа (Space Division Multiple Access – SDMA), или пространственное разделение каналов (ПРК), применяется в радиовещании и в спутниковых каналах связи, когда направленные антенны позволяют разделить каналы от одного радиопередающего центра разным пользователям. Линейные сигналы передаются в одном диапазоне волн в разные пространственные зоны. В общем виде методы множественного доступа показаны на рис. 6.5.

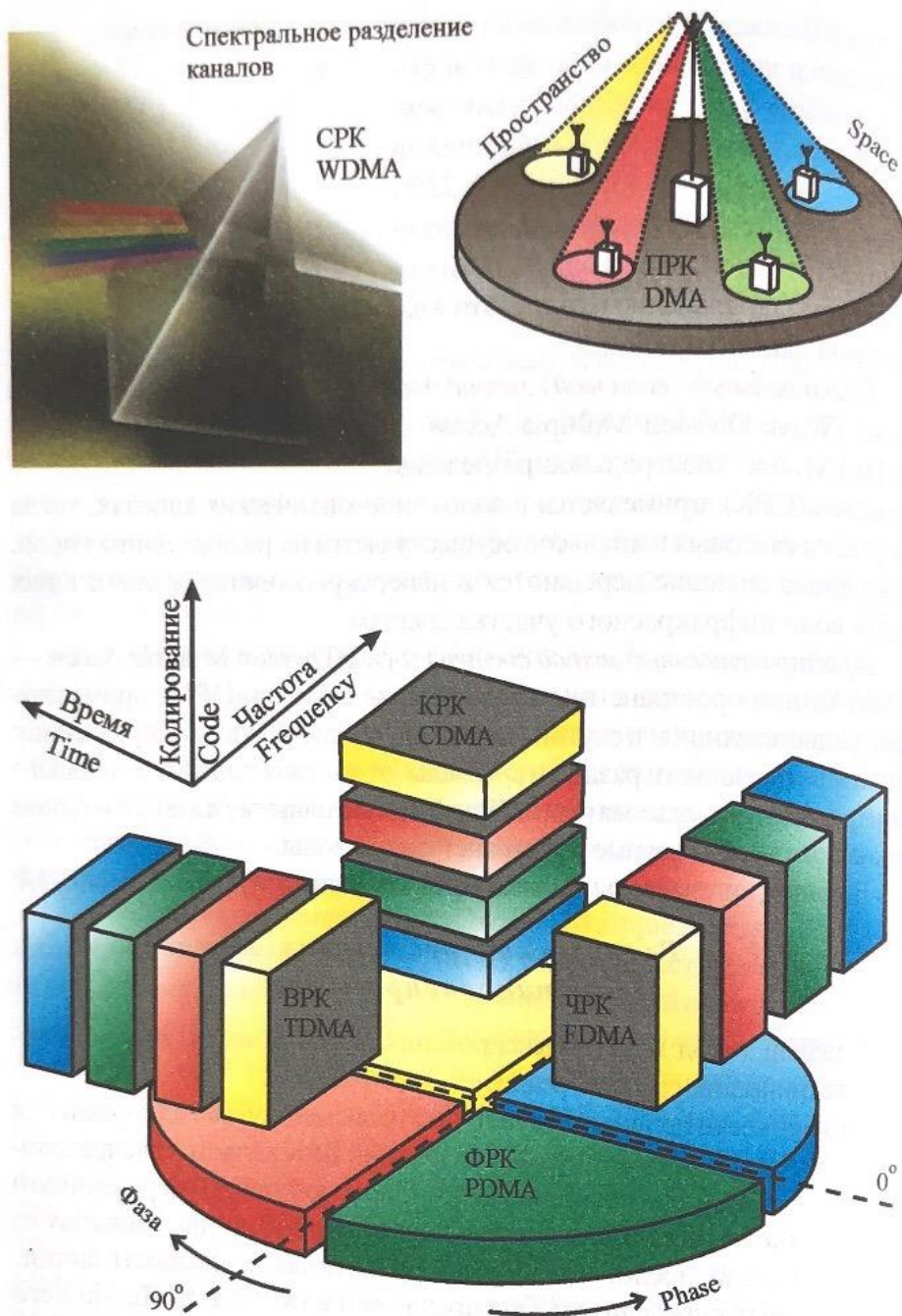


Рис. 6.5. Методы множественного доступа

Каждый метод мультиплексирования в зависимости от используемых технических средств реализуется по-разному.

Исторически первым следует считать временной метод разделения каналов. Основой технической реализации ВРК является распределитель (рис. 6.6). С его помощью источники сообщений (передатчики) поочередно периодически подключаются к одной линии. Каждому из них на время Δt_i предоставляется вся пропускная способность линии.

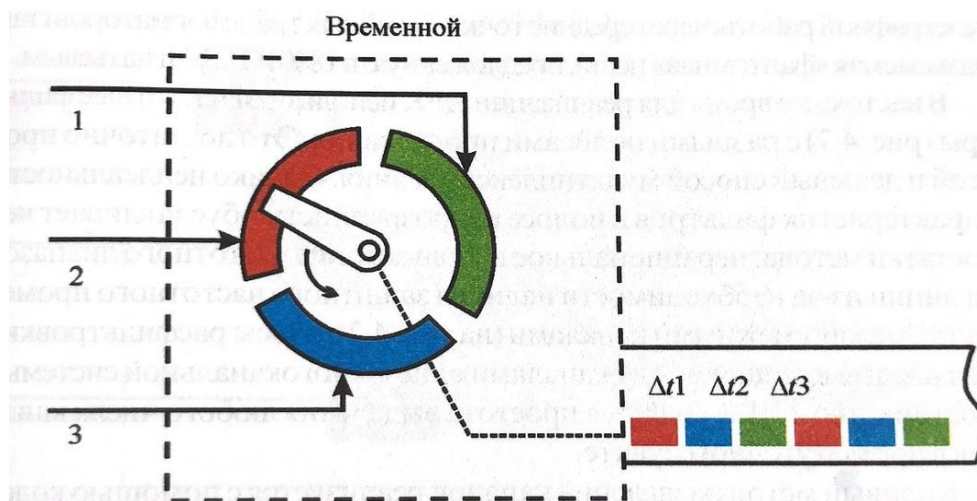


Рис. 6.6. Техническая реализация временного метода разделения каналов

Первый распределитель был предложен в 1852 г. Б. С. Якоби в его буквопечатающем телеграфном аппарате, а француз Ж. Э. Бодо в 1874 г. использовал свойства синхронного распределителя для организации многократной работы, т.е. для временного разделения каналов. Принцип использования одного телеграфного провода сразу несколькими аппаратами показан на рис. 6.7.

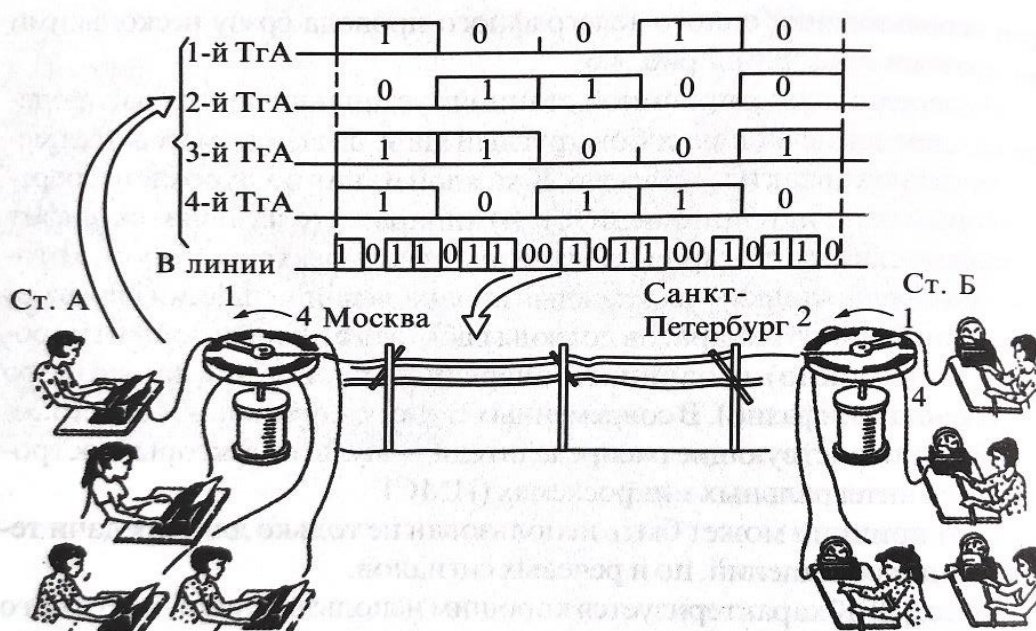


Рис. 6.7. Принцип многократной телеграфной передачи

На передающей и приемной станциях устанавливаются распределители, представляющие собой круглый диск, на котором имеются металлические контакты – ламели. К каждой из них подключается передающий (станция А) или приемный (станция Б) аппарат.

По ламелям скользит металлическая щетка, приводимая в движение электромотором, которая поочередно подключает каждый аппарат к линии. Щетки передающего и приемного аппаратов должны работать с одной и той же скоростью (синхронно) и начинать очередной период с одинакового положения (синфазно). В современных системах применяют электронные быстродействующие распределители – мультиплексоры, построенные на интегральных микросхемах (ИМС).

Этот принцип может быть использован не только для передачи телеграфных сообщений, но и речевых сигналов.

Метод ВРК характеризуется хорошим использованием частотного диапазона линии, отсутствием взаимного влияния между каналами. Однако необходимость устройств синхронизации и фазирования несколько усложняет и удорожает построение систем передачи, а также затрудняет выделение каналов в промежуточных пунктах.

Следом за ВРК появился частотный метод разделения каналов. Его прообразом можно считать телефонную линию с «наложением» на нее телеграфной работы через средние точки линейных трансформаторов (так называемая *фантомная цепь*), предложенную в 1880 г. Г. Г. Игнатьевым.

В настоящее время для реализации ЧРК используют частотные фильтры (рис. 6.8) с разными полосами пропускания. Это достаточно простой и дешевый способ мультиплексирования. Однако неидеальность характеристик фильтров в полосе непрозрачности обуславливает недостатки метода: нерациональное использование частотного диапазона линии из-за необходимости наличия защитного частотного промежутка между смежными каналами и взаимные влияния между каналами одной многоканальной системы. Достоинством ЧРК является простота выделения любого числа каналов в промежуточном пункте.

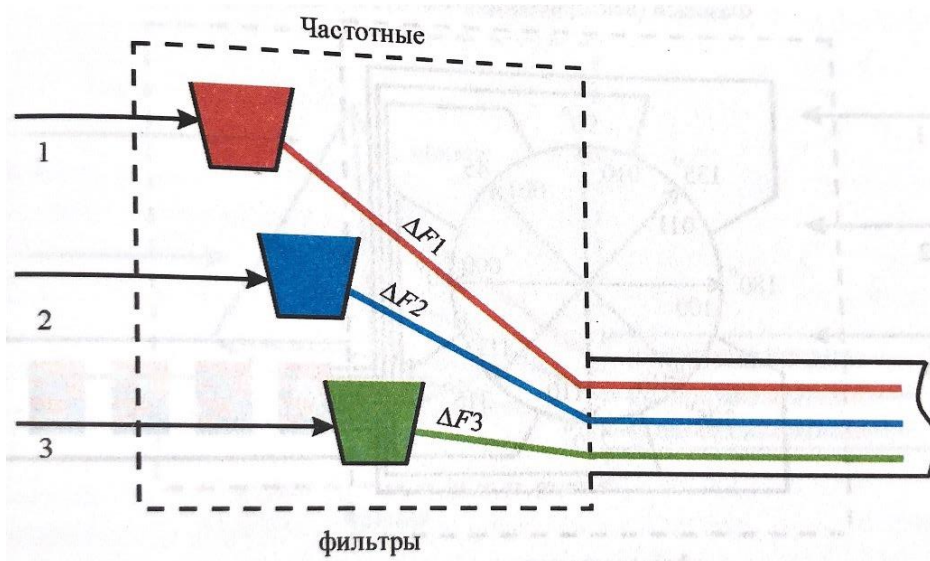


Рис. 6.8. Техническая реализация частотного метода разделения каналов

Кодовый метод разделения каналов реализуется с помощью кодеков (кодер-декодер). В линии может существовать одновременно несколько кодовых комбинаций (рис. 6.9), но декодер (дешифратор) приемника настраивается лишь на одну из них. В зависимости от числа каналов в одной цепи каждая кодовая комбинация будет содержать разное число элементов. В системах с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) применяют восьмиразрядные кодовые группы.

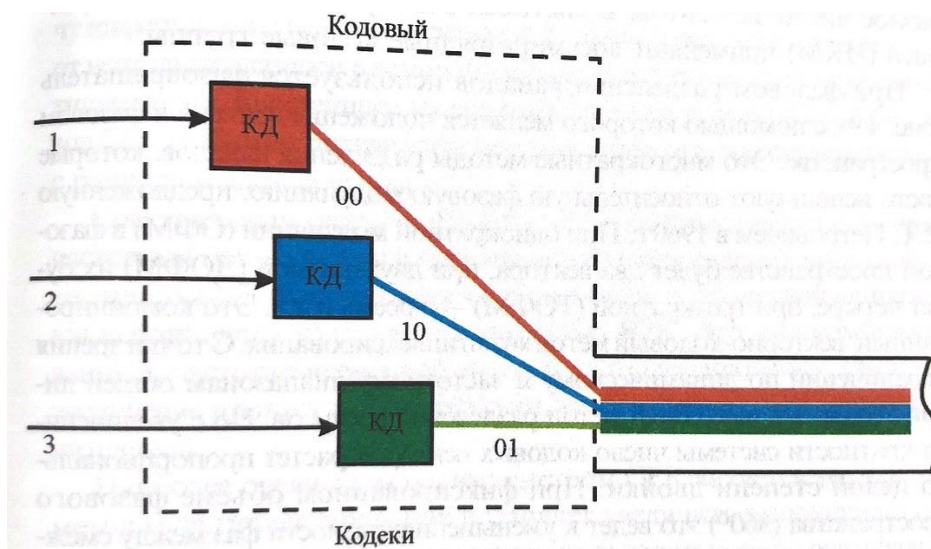


Рис. 6.9. Техническая реализация метода кодового разделения каналов

При фазовом разделении каналов используется фазовращатель (рис. 6.10), с помощью которого меняется положение вектора в фазовом пространстве. Это многократные методы разделения каналов, которые часто используют относительную фазовую модуляцию, предложенную Н. Т. Петровичем в 1960 г. При однократной модуляции (ОФМ) в фазовом пространстве будут два вектора, при двухкратной (ДОФМ) будут четыре вектора, при трехкратной (ТОФМ) – восемь и т.д.

Это комбинированный, векторно-кодовый метод мультиплексирования. С точки зрения ограничений по динамическому и частотному диапазонам общей линии это самый выгодный метод разделения ресурсов. Но с увеличением кратности системы число кодовых векторов растет пропорционально целой степени двойки. При фиксированном объеме фазового пространства (360°) это ведет к уменьшению разности фаз между смежными векторами и затрудняет их распознавание, особенно при значительных фазовых помехах в канале.

Спектральный метод разделения каналов появился относительно недавно с развитием систем передачи по волоконно-оптическому кабелю (ВОК). Эта технология мультиплексирования обеспечивает передачу информации с помощью световых потоков с разными длинами волн от нескольких лазеров в одном световоде. С помощью оптических мультиплексоров, простейшим из которых является призма (рис. 6.11), метод

СРК разбивает оптический спектр на отдельные подканалы, каждый с различной длиной волны λ_i .

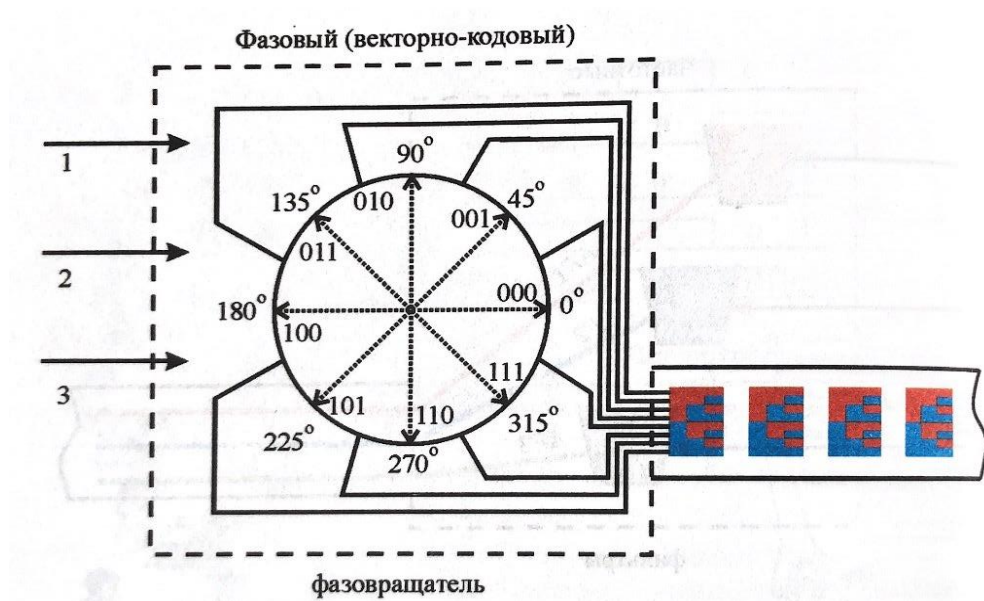


Рис. 6.10. Техническая реализация метода фазового разделения каналов

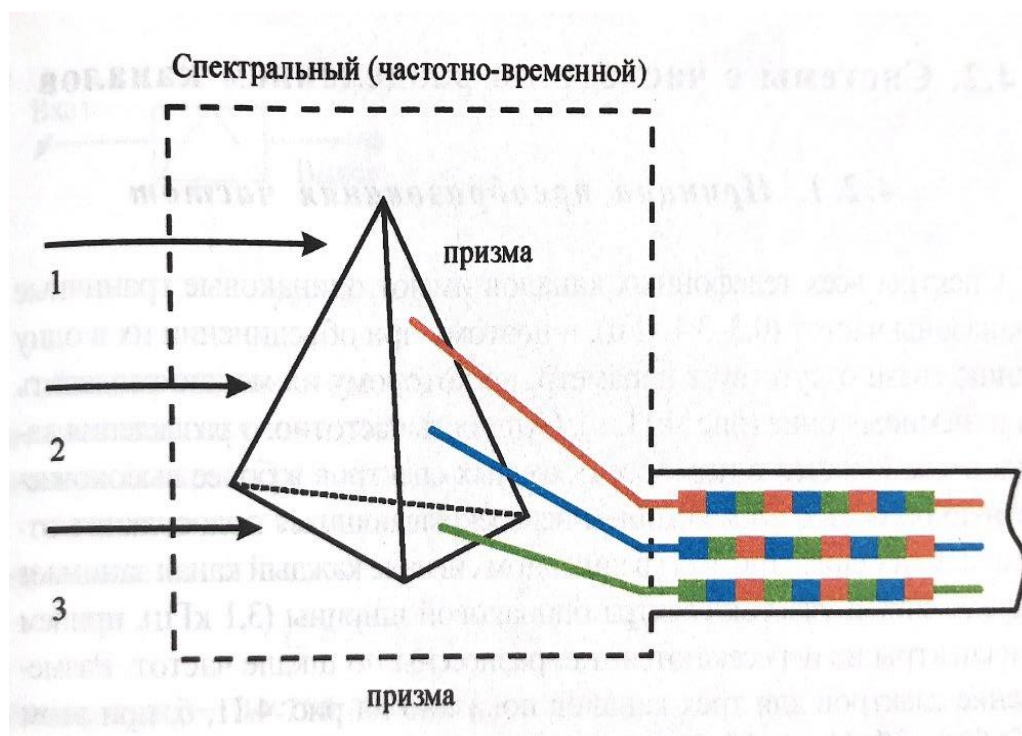


Рис. 6.11. Техническая реализация метода спектрального разделения каналов

Спектральный (волновой) метод доступа практически повторяет частотный (длина волны и частота связаны между собой обратной зависимостью). В каждом таком частотном канале, на каждой длине волны

используется уплотнение с помощью ВРК. Это уже комбинированный, частотно-временной метод мультиплексирования. Отсюда и увеличение пропускной способности, которая может быть весьма значительной.

Наиболее очевидным преимуществом СРК является то, что этот метод мультиплексирования позволяет увеличить пропускную способность без весьма дорогостоящей прокладки нового оптического кабеля.

6.2 Аналоговые системы многоканальной связи

Многоканальные системы передачи с частотным разделением каналов (СП с ЧРК) относятся к классу систем с линейным разделением сигналов с совпадающими или перекрывающимися спектрами. В качестве переносчиков канальных сигналов в СП с ЧРК используются гармонические колебания различных частот, а методами формирования канальных сигналов является модуляция одного или нескольких параметров этих колебаний. Переносчики канальных сигналов называются несущими колебаниями, или несущими частотами.

Известно, что модуляция одного из параметров несущей частоты переносит спектр модулирующего сигнала в спектр частот, определяемый частотами несущего колебания и видом модуляции.

Сущность построения СП с ЧРК заключается в том, что спектр каждого первичного сигнала с помощью несущей частоты переносится в отведенную для него полосу частот линии связи (физической среды распространения электрического сигнала), формируя таким образом канальные сигналы с неперекрывающимися спектрами (рис. 6.12).

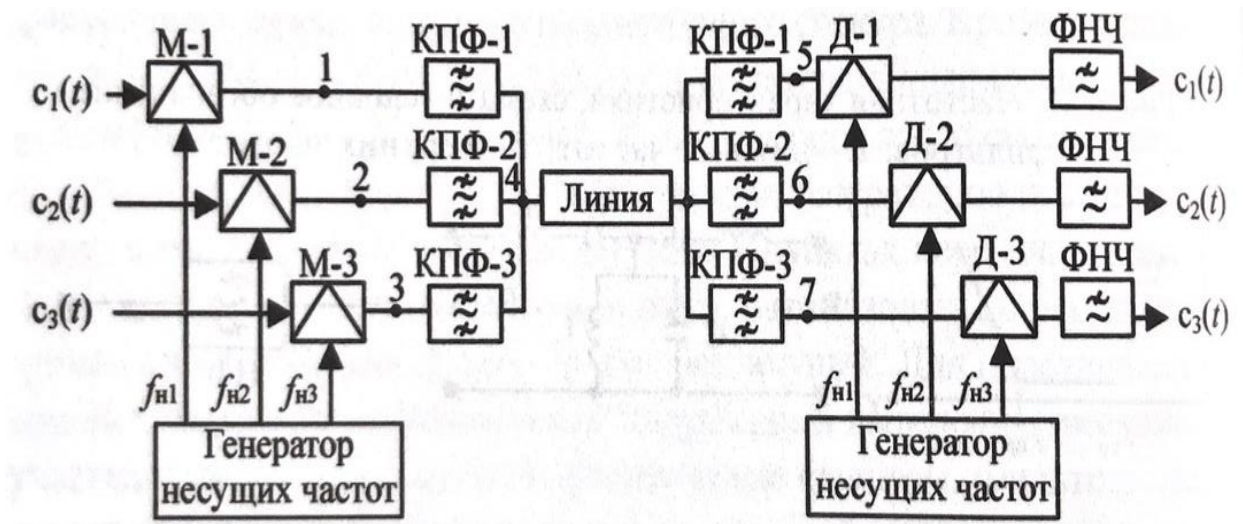


Рис. 6.12. Структурная схема системы передачи с частотным разделением каналов

На вход канальных модуляторов M_1 , M_2 и M_3 поступают первичные сигналы $c_1(t)$, $c_2(t)$ и $c_3(t)$, спектры которых $S_1(f)$, $S_2(f)$ и $S_3(f)$ занимают одну и ту же полосу частот $\Delta F_c = F_1 \dots F_2$ (рис. 6.13, а).

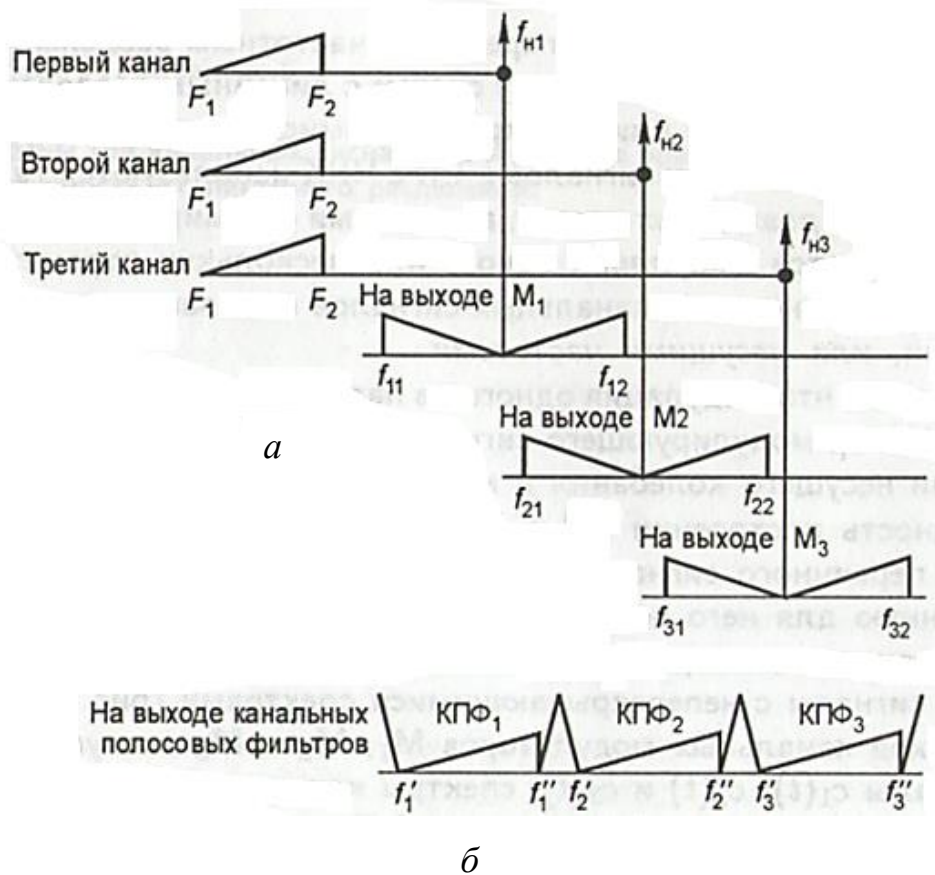


Рис. 6.13. Формирование канальных сигналов в СП с ЧРК в тракте передачи

С помощью несущих частот $f_{н1}$, $f_{н2}$ и $f_{н3}$, представляющих собой гармонические колебания – переносчики $\psi_1(t)$, $\psi_2(t)$ и $\psi_3(t)$, первичные сигналы преобразуются в канальные сигналы, занимающие полосы частот $f'_1 \dots f''_1$ для первого канала, $f'_2 \dots f''_2$ для второго и $f'_3 \dots f''_3$ для третьего каналов (рис. 6.13, б).

Канальные сигналы выделяются канальными полосовыми фильтрами (КПФ₁ для первого канала, КПФ₂ для второго канала и КПФ₃ для третьего канала). Спектр группового сигнала состоит из трех полос и занимает общий диапазон частот от f'_1 до f''_3 .

В приемной части происходит разделение канальных сигналов с помощью разделительных канальных полосовых фильтров КПФ₁ для первого канала, КПФ₂ для второго канала и КПФ₃ для третьего канала. Спектральные диаграммы сигналов приемной части приведены на рис. 6.14.

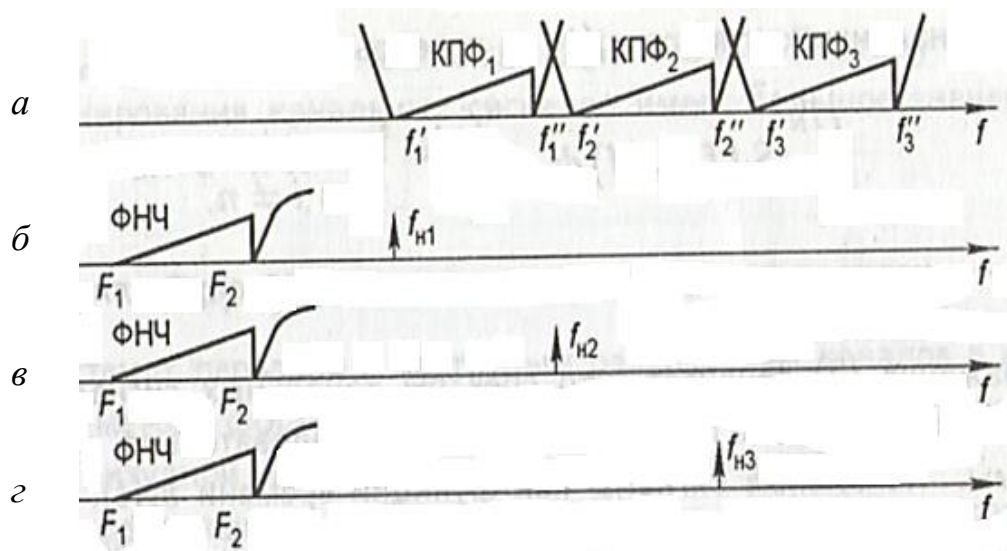


Рис. 6.14. Преобразование канальных сигналов в тракте передачи

На рис. 6.14, *а* показаны канальные сигналы на выходе разделительных канальных полосовых фильтров ($\text{КПФ}_{1,2,3}$) приемной части или тракта приема (см. рис. 6.12). Выделенные канальные сигналы поступают на входы демодуляторов $\text{Д}_{1,2,3}$. На другие входы демодуляторов подаются несущие частоты $f_{н1}$ первого канала, $f_{н2}$ второго канала и $f_{н3}$ третьего канала.

На выходе демодуляторов появляются первичные сигналы с полосой частот $\Delta F_c = F_1 \dots F_2$ и высокочастотные продукты демодуляции (рис. 6.14, *б, в, г*). Фильтры нижних частот (ФНЧ), устанавливаемые на выходе демодуляторов, выделяют полосу частот первичных сигналов ΔF_c и подавляют высокочастотные продукты демодуляции (см. рис. 6.12 и 6.14, *в, г*).

Нетрудно показать, что сигналы на выходе канальных полосовых фильтров тракта передачи СП с ЧРК будут ортогональными в частотной области.

Рассмотрим N -канальную систему передачи, спектр канальных сигналов которой приведен на рис. 6.15.

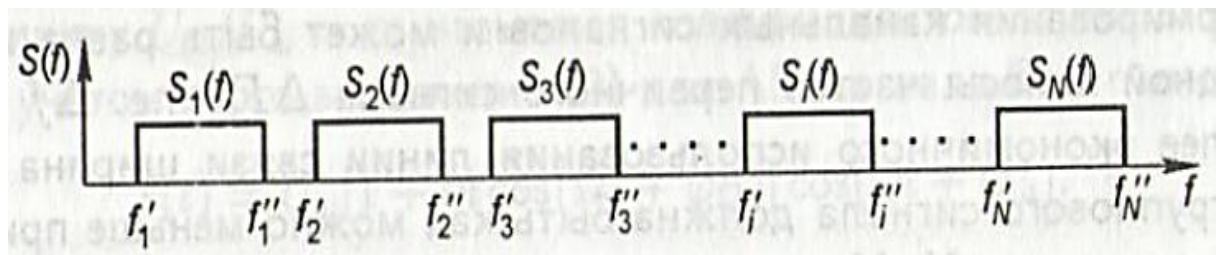


Рис. 6.15. Спектры канальных сигналов N -канальной СП с ЧРК

Для спектров канальных сигналов (см. рис. 6.15) справедливы следующие условия:

$$(6.1)$$

Спектры канальных сигналов $S_i(t)$ не перекрываются, поэтому

$$(6.2)$$

Выражение (6.2) означает, что спектры канальных сигналов представляют собой ортогональные функции частоты и, следовательно, они всегда разделимы. Канальные сигналы как функции времени $S_1(t)$, $S_2(t)$, ..., $S_N(t)$ также ортогональны, что легко можно доказать с помощью преобразования Фурье.

$$(6.3)$$

Неидеальность разделительных канальных полосовых фильтров приводит к появлению межканальных переходных помех.

142

$$\Delta F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N (\Delta f_i + \Delta f_{3i}) \quad (6.4)$$

или

$$\Delta F_{\Sigma} = N(\Delta f + \Delta f_3), \quad (6.5)$$

если все каналные сигналы имеют одинаковые полосы частот, т.е. $\Delta f_i = \Delta f$.

Полоса частот Δf , отводимая на один канал, определяется способом формирования каналных сигналов и может быть равна или шире исходной полосы частот первичного сигнала. Для более экономичного использования линии связи ширина полосы частот группового сигнала должна быть как можно меньше при заданном числе каналов. Минимальная ширина полосы частот группового сигнала получается в том случае, когда $\Delta f = \Delta F_C$, поэтому выбор способа формирования каналных сигналов имеет большое значение при построении СП с ЧРК.

В системах передачи с частотным разделением каналов в качестве основного метода формирования каналных сигналов используются методы амплитудной модуляции гармонического колебания – несущей частоты, позволяющие наиболее эффективно использовать спектр частот линии связи.

Несущее колебание представим в виде

$$\psi(t) = U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) = U_{\omega} \cos(2\pi f t + \varphi_{\omega}), \quad (6.6)$$

где U_{ω} – амплитуда несущего колебания;

f – частота несущего колебания;

ω – круговая частота;

φ_{ω} – начальная фаза несущего колебания.

Первичный сигнал представляет собой сложное колебание, спектр частот которого ограничен полосой $F_1 \dots F_2$, т.е.

$$c(t) = \sum_{\Omega_i=\Omega_1}^{\Omega_2} U_{\Omega_i} \cos(\Omega_i t + \varphi_{\Omega_i}), \quad (6.7)$$

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

$$c(t) = U_{\Omega} \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega}). \quad (6.8)$$

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

При модуляции амплитуды несущего колебания (6.6) гармоническим сигналом (6.8) амплитудно-модулированное (АМ) колебание имеет вид

$$\begin{aligned} s(t) &= [U_{\omega} + U_{\Omega} \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega})] \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) = \\ &= U_{\omega} \left[1 + \frac{U_{\Omega}}{U_{\omega}} \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega}) \right] \cos(\omega t + \varphi_{\omega}). \end{aligned} \quad (6.9)$$

Величину $U_{\Omega}/U_{\omega} = m$ называют коэффициентом глубины модуляции, и с учетом этого выражение (6.9) для АМ-сигнала будет иметь вид

$$s(t) = U_{\omega} [1 + m \cos(\Omega t + \varphi_{\Omega})] \cos(\omega t + \varphi_{\omega}). \quad (6.10)$$

Отметим, что при линейной амплитудной модуляции $m \leq 1$.

Выражение (6.10) путем несложных тригонометрических преобразований легко приводится к виду

$$\begin{aligned} s(t) &= U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) + \frac{m}{2} U_{\omega} \cos[(\omega - \Omega)t + (\varphi_{\omega} - \varphi_{\Omega})] + \\ &+ \frac{m}{2} U_{\omega} \cos[(\omega + \Omega)t + (\varphi_{\omega} + \varphi_{\Omega})]. \end{aligned} \quad (6.11)$$

Анализ последнего выражения показывает, что спектр АМ-сигнала содержит несущее колебание с амплитудой U_{ω} и колебания двух боковых частот, симметричных относительно несущей и с одинаковыми амплитудами $U_{\text{б}} = (m/2)U_{\omega}$.

Спектр первичного сигнала и АМ-сигнала при модуляции гармоническим колебанием показан на рис. 6.16.

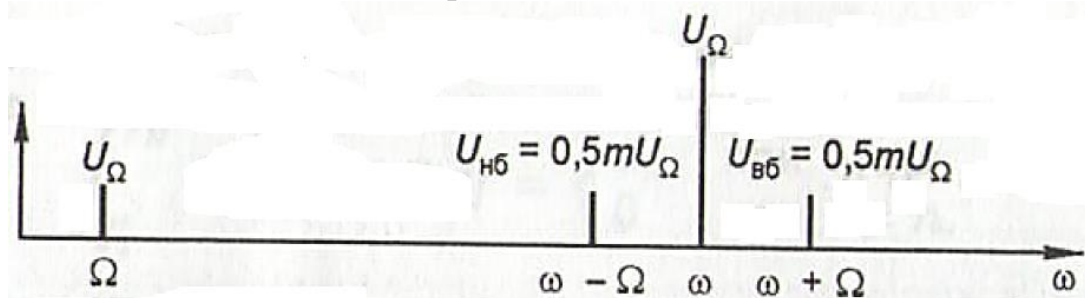


Рис. 6.16. Спектр первичного сигнала и АМ канального сигнала при модуляции гармоническим колебанием

Если первичный сигнал представляет собой сложный сигнал, спектр которого ограничен полосой частот Ω_1, Ω_2 , то АМ-сигнал будет иметь вид

$$s(t) = U_{\omega} \left[+ \sum_{\Omega_i=\Omega_1}^{\Omega_2} m_{\Omega_i} \cos(\Omega_i t + \varphi_{\Omega_i}) \right] \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) \quad (6.12)$$

или

$$s(t) = U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) + \frac{1}{2} U_{\omega} \sum_{\Omega_i=\Omega_1}^{\Omega_2} m_{\Omega_i} \cos[(\omega - \Omega_i)t + (\varphi_{\omega} - \varphi_{\Omega_i})] + \\ + \frac{1}{2} U_{\omega} \sum_{\Omega_i=\Omega_1}^{\Omega_2} m_{\Omega_i} \cos[(\omega + \Omega_i)t + (\varphi_{\omega} + \varphi_{\Omega_i})], \quad (6.13)$$

где m_{Ω_i} – глубина амплитудной модуляции по i -й составляющей модулирующего сигнала с амплитудой U_{Ω_i} .

При линейной АМ $m_{\Omega_i} \leq 1$; $0,5 m_{\Omega_i} U_{\omega} = U_{\Omega_i}$ – амплитуда напряжения боковой частоты $\omega \pm \Omega_i$ (верхней боковой соответствует знак «+», нижней боковой соответствует знак «-»).

Выражения, стоящие в квадратных скобках в формулах (6.10) и (6.12), при линейной модуляции всегда положительны (так как $1 \geq m \geq 0$) и при $\omega \gg \Omega$ 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. Полная ширина спектра канального сигнала при АМ равна удвоенной наивысшей частоте спектра первичного сигнала $\Delta f = 2F_2$ (из рис. 6.17 видим, что $\Delta\omega = \omega + \Omega_2 - \omega - \Omega_2 = 2\Omega_2 = 2\pi\Delta f = 4\pi F_2$, откуда следует $\Delta f = 2F_2$).

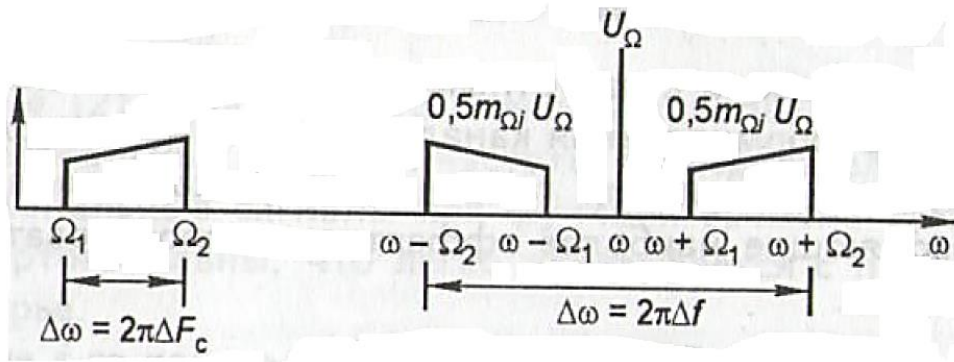


Рис. 6.17. Спектр первичного сигнала и АМ канального сигнала при модуляции сложным сигналом

Мощность АМ-сигнала равна сумме мощностей несущего колебания, нижней боковой и верхней боковой. Мощности боковых равны.

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

Амплитудная модуляция, имея ряд достоинств (простота технической реализации, относительно неширокая полоса частот АМ-сигнала и возможность ее уменьшения, простота демодуляции АМ-сигнала), обладает существенными недостатками, основными из которых являются: низкая помехоустойчивость; основная мощность АМ-сигнала сосредоточена в несущем колебании, которое не содержит полезной информации, что приводит к неоправданной загрузке элементов тракта передачи (в основном усилительных устройств).

Из формул (6.11) и (6.13) видно, что исходный – первичный сигнал содержится только в боковых полосах частот, поэтому для восстановления первичного сигнала из АМ-сигнала на приеме не обязательно передавать по каналу весь спектр АМ-сигнала. В зависимости от области применения многоканальных СП с ЧРК и специфики их работы оказывается целесообразным применение различных методов формирования и передачи канальных АМ-сигналов.

Различают следующие методы передачи АМ-сигналов:

- передача двух боковых полос и несущей частоты; для этого случая полоса частот, отводимая для одного канального сигнала, $\Delta f = 2F_2$, где F_2 – максимальная частота первичного сигнала;

- передача одной боковой полосы частот, несущей и части второй боковой полосы частот; для этого случая полоса частот, отводимая для одного канального сигнала;

- передача одной боковой полосы частот и несущей; для этого случая полоса частот, отводимая для одного канального сигнала, $\Delta f = F_2$;

- передача одной боковой полосы частот без несущей; для этого случая полоса частот, отводимая для одного канального сигнала, $\Delta f = \Delta F_c$, где ΔF_c – полоса частот первичного сигнала;

- передача одной боковой полосы частот, несущей и части второй боковой полосы частот; для этого случая полоса частот, отводимая для одного канального сигнала, $\Delta f = F_2 + F_n$, где F_n – максимальная частота первичного сигнала, передаваемого на второй (частично подавленной) боковой полосе частот.

Все эти методы обеспечивают принципиальную возможность формирования канальных сигналов в СП с ЧРК, линейного разделения канальных сигналов и восстановления первичных сигналов на приеме.

6.3 Цифровые системы многоканальной связи

В большинстве своем первичные сигналы являются аналоговыми и в системах передачи с ЧРК они непрерывно передаются по каналу связи, т.е. все каналы подключены к линии связи одновременно. Возможен другой способ передачи сигналов, заключающийся в передаче в линию не всего сигнала, а отдельных его отсчетов (выборок), т.е. передача сигнала, дискретизированного по времени.

Операция дискретизации выполняется в соответствии с теоремой дискретизации (или теоремой В. А. Котельникова), которая применительно к сигналам электросвязи формулируется следующим образом: **всякий непрерывный во времени сигнал со спектром, ограниченным частотой $F_{\max}$, может быть представлен последовательностью его мгновенных значений (отсчетов), взятых через интервалы времени:**

$$T_d \leq \frac{1}{2F_{\max}},$$

т.е. частота дискретизации должна быть не менее чем в два раза больше максимальной частоты передаваемого сигнала.

При передаче телефонного спектра (0,3...3,4 кГц) частота дискретизации должна быть не менее 6,8 кГц (во всех современных системах частота дискретизации принимается равной 8 кГц).

Если частота дискретизации удовлетворяет требованиям теоремы Котельникова, то на приемной стороне канала по отдельным выборкам может быть восстановлен исходный аналоговый сигнал с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ). Структурная схема организации такого канала показана на рис. 6.18.

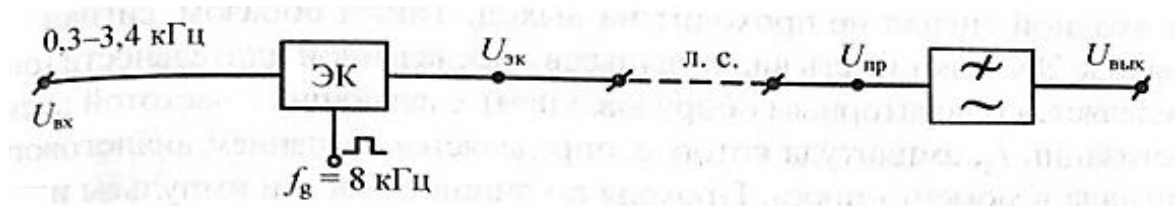


Рис. 6.18. Структурная схема сигналов в канале

Входной сигнал $U_{\text{вх}}$ подается на электронный ключ (ЭК), управляемый импульсами от генераторного оборудования с частотой дискретизации f_d . При наличии импульса ЭК обладает малым сопротивлением (открыт) и в это время входной сигнал проходит на выход ЭК. При отсутствии импульса ЭК обладает большим сопротивлением (закрыт) и входной сигнал не проходит на выход.

Таким образом, сигнал на выходе ЭК будет иметь вид импульсов определенной длительности (определяется генераторным оборудованием), следующих с частотой дискретизации U_d , амплитуда которых определяется значением аналогового сигнала в момент опроса. Проходя по линии связи, эти импульсы искажаются (уменьшается амплитуда, изменяется форма), но сохраняется частота, которая удовлетворяет требованиям теоремы Котельникова.

С помощью ФНЧ из этой импульсной последовательности восстанавливается аналоговый сигнал, соответствующий исходному аналоговому

сигналу на передающей стороне. Временные диаграммы сигналов в разных точках схемы показаны на рис. 6.19.

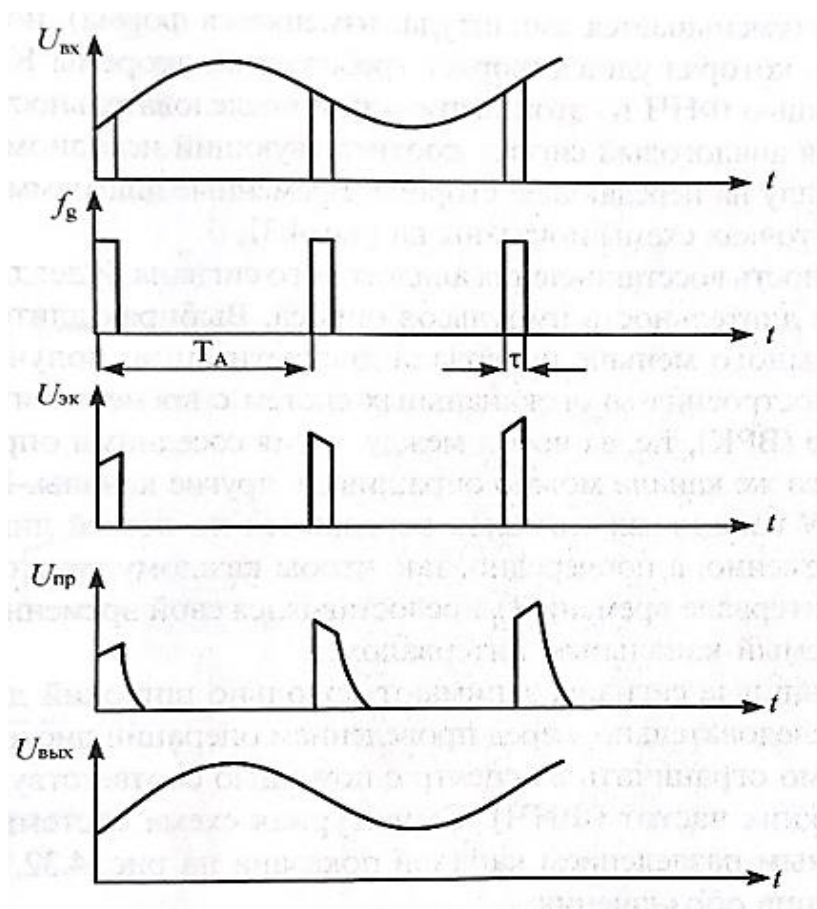


Рис. 6.19. Временная диаграмма сигналов в канале

Точность восстановления аналогового сигнала будет тем выше, чем меньше длительность импульсов опроса. Выбирая длительность импульса намного меньше интервала дискретизации, получаем возможность построения многоканальных систем с временным разделением каналов (ВРК), т.е. за время между двумя соседними опросами одного и того же канала можно опрашивать другие каналы.

При этом отсчеты N канальных сигналов передаются по общей линии связи не одновременно, а поочередно, так, чтобы каждому канальному сигналу на интервале времени Γ_d предоставлялся свой временной интервал, называемый канальным интервалом.

Структурная схема системы передачи с временным разделением каналов показана на рис. 6.20, где приняты следующие обозначения:

$s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$ – первичные сигналы (для телефонных каналов это аналоговые сигналы в спектре $0,3 \dots 3,4$ кГц);

ФНЧ – фильтры нижних частот, ограничивающие полосу частот первичных сигналов частотой $F_{\max}$ (3,4 кГц) при передаче и восстанавливающие первичные сигналы на приеме;

ЭК-1, ЭК-2, ... ЭК-N – каналные электронные ключи, управляемые импульсами от генераторного оборудования;

$s_1(t), s_2(t), \dots s_N(t)$ – каналные сигналы-импульсы, следующие с частотой 8 кГц, амплитуда которых определяется значением аналогового сигнала в момент опроса данного канала;

ОУ – объединяющее устройство, предназначенное для объединения каналных сигналов и сигнала синхронизации;

$S(t)$ – групповой сигнал на входе линии связи;

$S'(t)$ – групповой сигнал на выходе линии связи;

РУ – развязывающее устройство, обеспечивающее разделение каналных сигналов и синхросигнала на приеме;

КС-1, КС-2, ... КС-N – каналные селекторы, обеспечивающие выделение соответствующего каналного сигнала (электронные ключи);

ГКИ и РКИ – генератор и распределитель каналных импульсов передачи и приема, обеспечивающие поочередный опрос электронных ключей сдвинутыми во времени импульсами;

ФПСС – формирователь и передатчик синхросигнала и ПСС – приемник синхросигнала, необходимые для обеспечения синхронной и синфазной работы электронных ключей станции передачи и каналных селекторов станции приема;

$f_1(t), f_2(t), \dots f_N(t)$ – периодические последовательности прямоугольных импульсов, управляющие работой каналных электронных ключей и каналных селекторов.

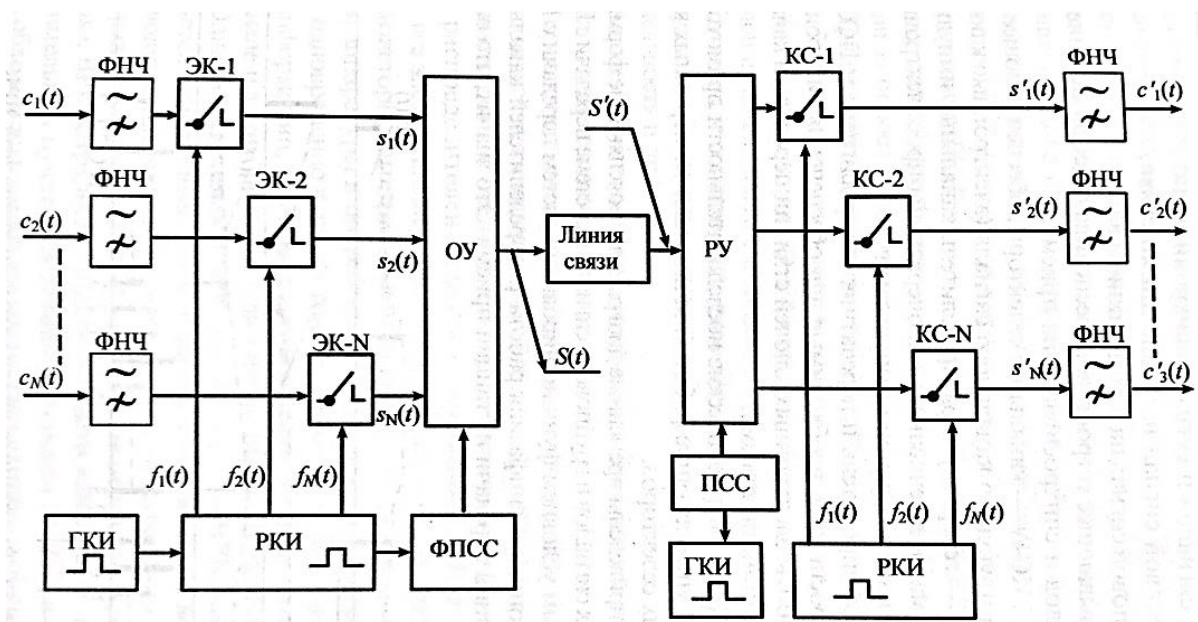


Рис. 6.20. Структурная схема системы передачи с временным разделением каналов

Анализ структурной схемы позволяет выделить следующие особенности систем передачи с ВРК:

– простота элементной базы, независимость сложности элементов от количества каналов (одинаковые для всех каналов ФНЧ и ЭК). В зависимости от числа каналов изменяется только количество выходов распределителей канальных импульсов (РКИ);

– все элементы могут быть реализованы на дискретных элементах (транзисторы, интегральные микросхемы и т.д.), что уменьшает габариты аппаратуры и потребление электрической энергии;

– одновременно к линии связи подключен только один канал передачи информации, что позволяет повысить уровень полезного сигнала в канале и таким образом повысить помехозащищенность системы.

Однако в системах с ВРК, так же, как и в ЧРК, линейный сигнал является аналоговым, хотя и дискретизированным во времени. Это приводит к накоплению помех при распространении сигнала по магистрали и ухудшению качества каналов передачи. Кроме того, в системах с ВРК затруднено выделение части каналов на промежуточных усилительных пунктах (в отличие от систем с ЧРК), а также возникает необходимость синхронизации генераторного оборудования станции передачи и станции приема, что требует организации дополнительного канала.

Следует учитывать также, что для системы с ВРК требуется более широкая полоса частот для каждого канала (8 кГц для каждого телефонного канала вместо 4 кГц при ЧРК), что приводит к уменьшению количества каналов в заданной полосе частот или к увеличению верхней частоты линейного спектра при заданном количестве каналов. С учетом этих особенностей системы с ВРК в чистом виде не используются, а являются промежуточным звеном при построении цифровых систем передачи.

Сущность цифровых методов передачи состоит в том, что сигнал в линии может принимать конечное (счетное) множество значений, изменяющееся через известные квантованные значения.

В современных цифровых системах передачи (ЦСП) непрерывные первичные сигналы подвергаются дискретизации по времени в соответствии с требованиями теоремы Котельникова и затем квантуются по уровню. Квантованные отсчеты подвергаются кодированию, с помощью которого образуется цифровой сигнал.

При квантовании по уровню динамический диапазон отсчетов сигналов разбивается на ряд отдельных участков, называемых шагами квантования δ_i (рис. 6.21).

Если значение отсчета $U_{\text{вх}}$ удовлетворяет условию

$$U_i - \frac{\delta_i}{2} \leq U_{\text{вх}} \leq U_i + \frac{\delta_i}{2},$$

то сигналу присваивается значение, соответствующее i -му уровню квантования.

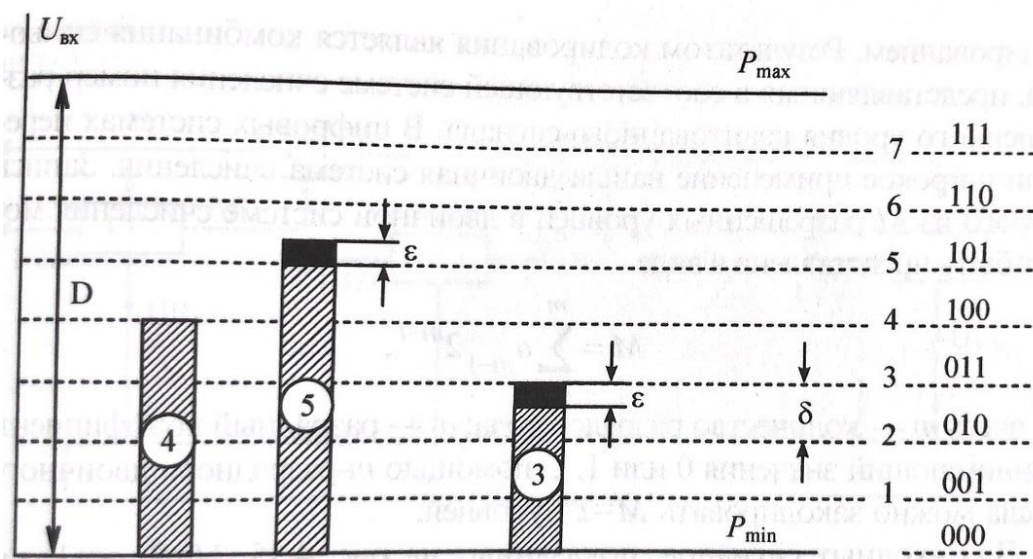


Рис. 6.21. Принцип квантования сигнала по уровню

Таким образом, квантование представляет собой процесс сравнения отсчета амплитудно-импульсно модулированного (АИМ) сигнала со шкалой, имеющей конечное число уровней квантования, и отнесения его к ближайшему разрешенному уровню. Иными словами, процесс квантования представляет собой округление значения отсчета до ближайшего разрешенного уровня.

В современных цифровых системах передачи процессы квантования и кодирования, как правило, совмещены и процесс формирования цифрового сигнала называется **аналого-цифровым преобразованием (АЦП)**, а обратный процесс – **цифроаналоговым преобразованием (ЦАП)**.

Кодеры и декодеры, предназначенные для АЦП и ЦАП, в совокупности называются кодеками. Наибольшее распространение в системах передачи с импульсно-кодовой модуляцией получили аналогово-цифровые преобразователи (АЦП), основанные на методе поразрядного сравнения (взвешивания).

Структурная схема такого кодера показана на рис. 6.22, где использованы следующие обозначения: СС – схема сравнения; СВ – схема вычитания; АВ – аналоговый выход; ЦВ – цифровой выход; $U_{эт1}...U_{этn}$ – эталонные значения напряжений, изменяющиеся в зависимости от разряда; ПК – преобразователь кода из параллельного в последовательный.

На вход 1 схемы сравнения подается амплитудно-импульсно-модулированный (АИМ) сигнал ($U_{вх}$), на вход 2 – эталонное значение напряжения соответствующего разряда. Если $U_{вх} > U_{эт}$, то на цифровом выходе ЦВ соответствующей СС появляется сигнал логической 1, а на аналоговом выходе АВ появляется напряжение, равное $U_{эт}$. Если $U_{вх} < U_{эт}$, то на ЦВ появляется сигнал логического 0, а на АВ появляется напряжение, равное 0.

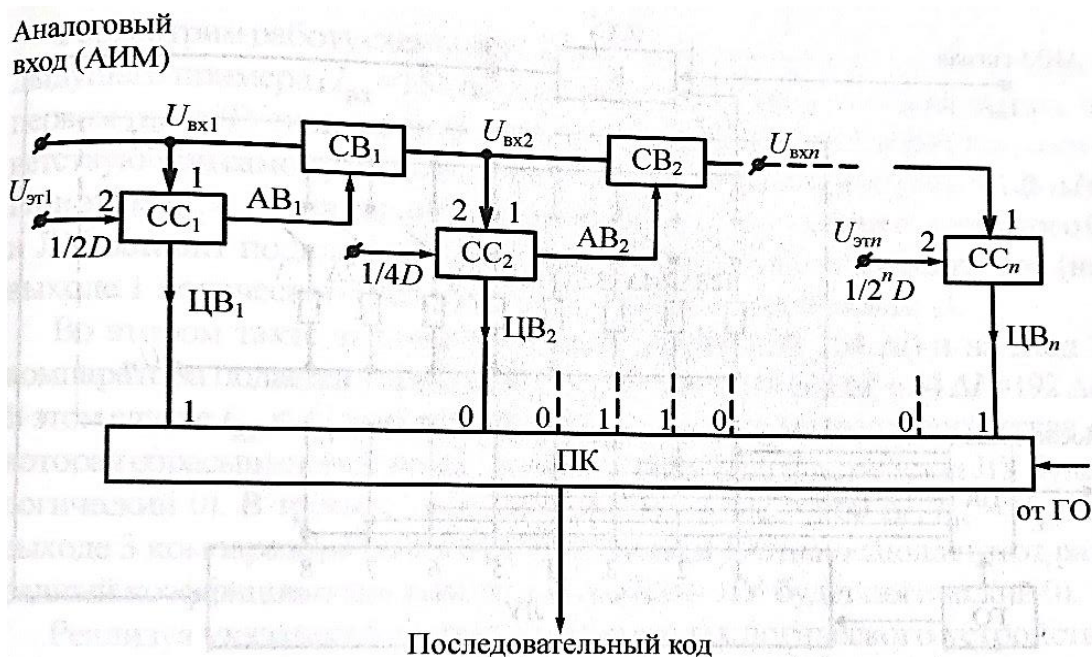


Рис. 6.22. Структурная схема аналогово-цифрового преобразователя

В качестве цифроаналоговых преобразователей наиболее широкое распространение получили схемы с суммированием токов. Структурная схема одного из вариантов таких схем показана на рис. 6.23.

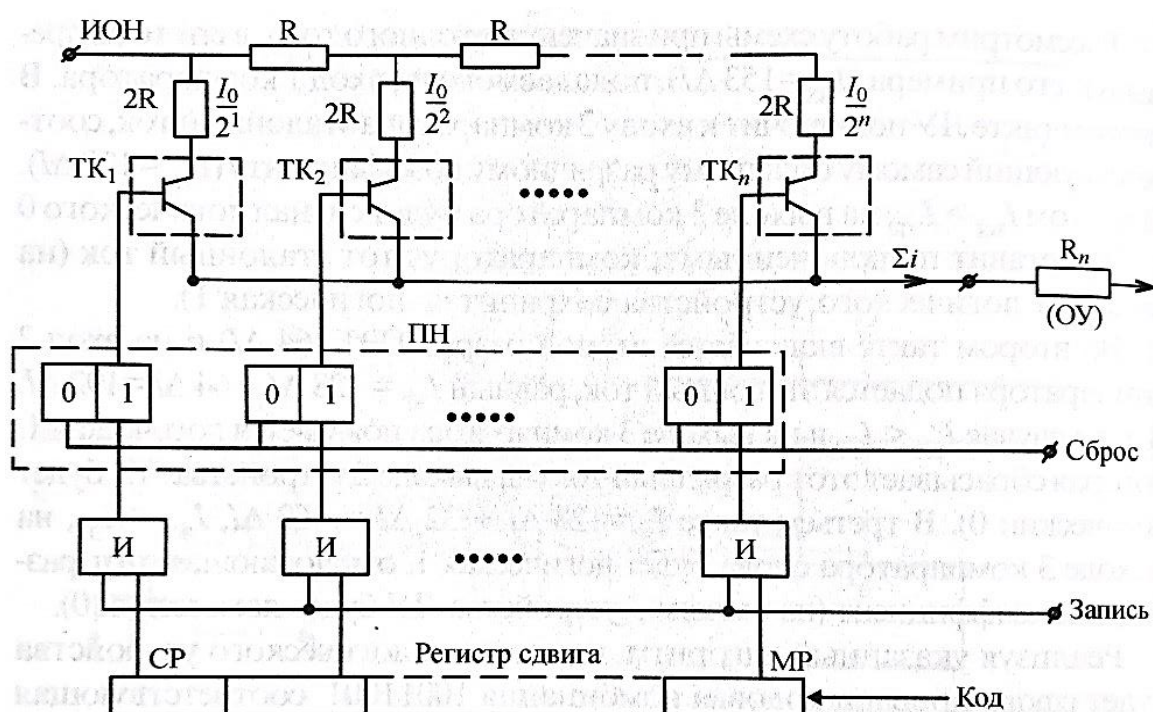


Рис. 6.23. Структурная схема цифроаналогового преобразователя

В состав схемы входят:

- токовые ключи по числу разрядов кода TK_1 - TK_n ;

– резисторная матрица типа R-2R на прецизионных сопротивлениях, обеспечивающая токи через токовые ключи от источника опорного напряжения (ИОН), изменяющиеся в зависимости от номера разряда;

– схемы управления токовыми ключами, состоящие из регистра сдвига, ключей И и промежуточного накопителя ПН на RS-триггерах.

Суммарный ток, протекающий через открытые токовые ключи, создает на сопротивлении нагрузки R_n падение напряжения, величина которого будет однозначно соответствовать кодовой комбинации, записанной в регистре сдвига (в реальных схемах часто используется ОУ, работающий в режиме суммирования токов).

Минимальное значение тока $\frac{I_0}{2^n}$ (открыт токовый ключ младшего разряда $ТК_n$) создает на сопротивлении нагрузки падение напряжения, равное шагу квантования ΔU_k . Ток через открытый $ТК_1$, равный $\frac{I_0}{2^1}$, создает на R_n падение напряжения, равное $128\Delta U_k$. Токи в остальных разрядах изменяются в соответствии со степенями 2 и создают соответствующие падения напряжения ($64\Delta U_k$, $32\Delta U_k$, $16\Delta U_k$, $8\Delta U_k$, $4\Delta U_k$, $2\Delta U_k$, ΔU_k).

Работа схемы осуществляется следующим образом. Восьмиразрядная кодовая комбинация записывается в регистре сдвига последовательным кодом. Допустим, что в регистр сдвига записана кодовая комбинация 10011001. По окончании записи информации сигналом по шине «Запись» осуществляется перенос кодовой комбинации в промежуточный накопитель, а регистр сдвига освобождается для приема очередной кодовой комбинации.

Единичными сигналами с RS-триггеров открываются токовые ключи в 1, 4, 5 и 8-м разрядах. Суммарный ток этих разрядов создает на сопротивлении нагрузки падение напряжения, равное $(\Delta U_k + 8\Delta U_k + 16\Delta U_k + 128\Delta U_k) = 153\Delta U_k$ и представляющее собой АИМ-сигнал, соответствующий данной кодовой комбинации.

В цифровых системах передачи с временным разделением каналов (ВРК) самое широкое применение нашла импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). При формировании цифрового сигнала на основе ИКМ-ВРК осуществляются дискретизация и квантование аналоговых первичных сигналов, а затем их кодирование.

Структурная схема конечного оборудования цифровой системы передачи с ВРК на основе импульсно-кодовой модуляции приведена на рис. 6.24.

В Европе и России за базовую систему формирования многоканальных систем с ИКМ принята 30-канальная группа (ИКМ-30), кодовый цикл которой показан на рис. 6.25.

Цикл длительностью 125 мкс состоит из 32 канальных интервалов (КИ) длительностью 3,9 мкс, каждый из которых представляет собой 8-разрядную кодовую комбинацию (В1-В8).

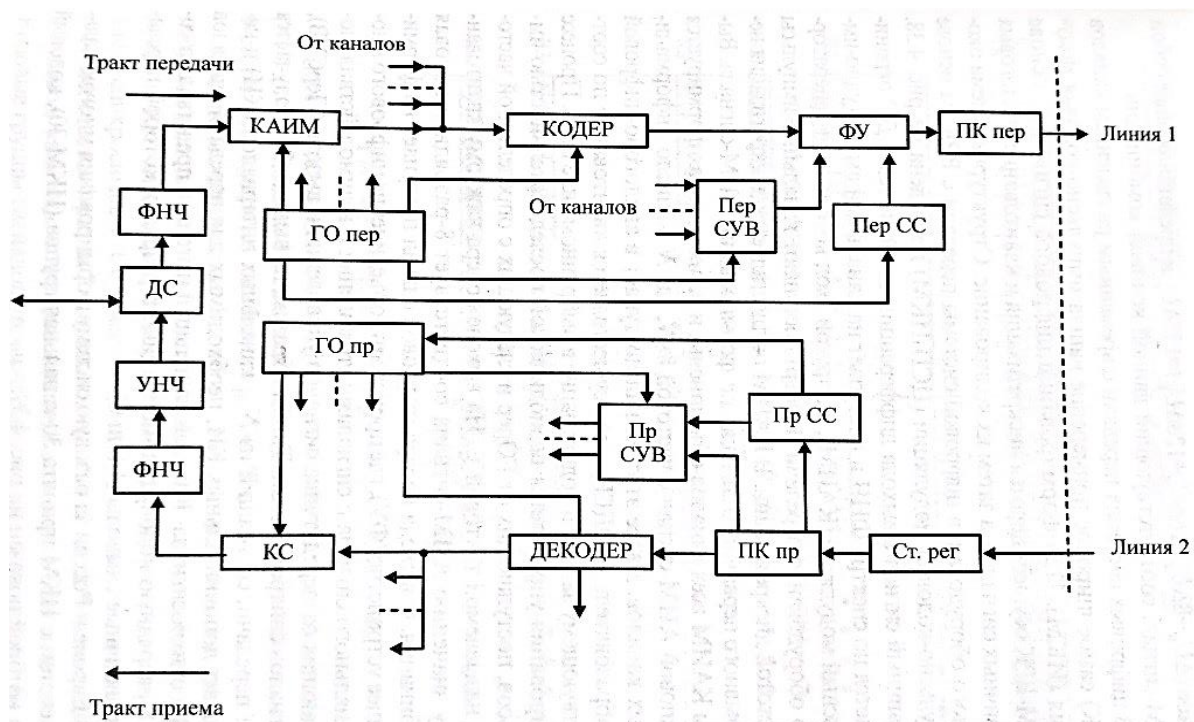


Рис. 6.24. Структурная схема оконечного оборудования ИКМ с ВРК

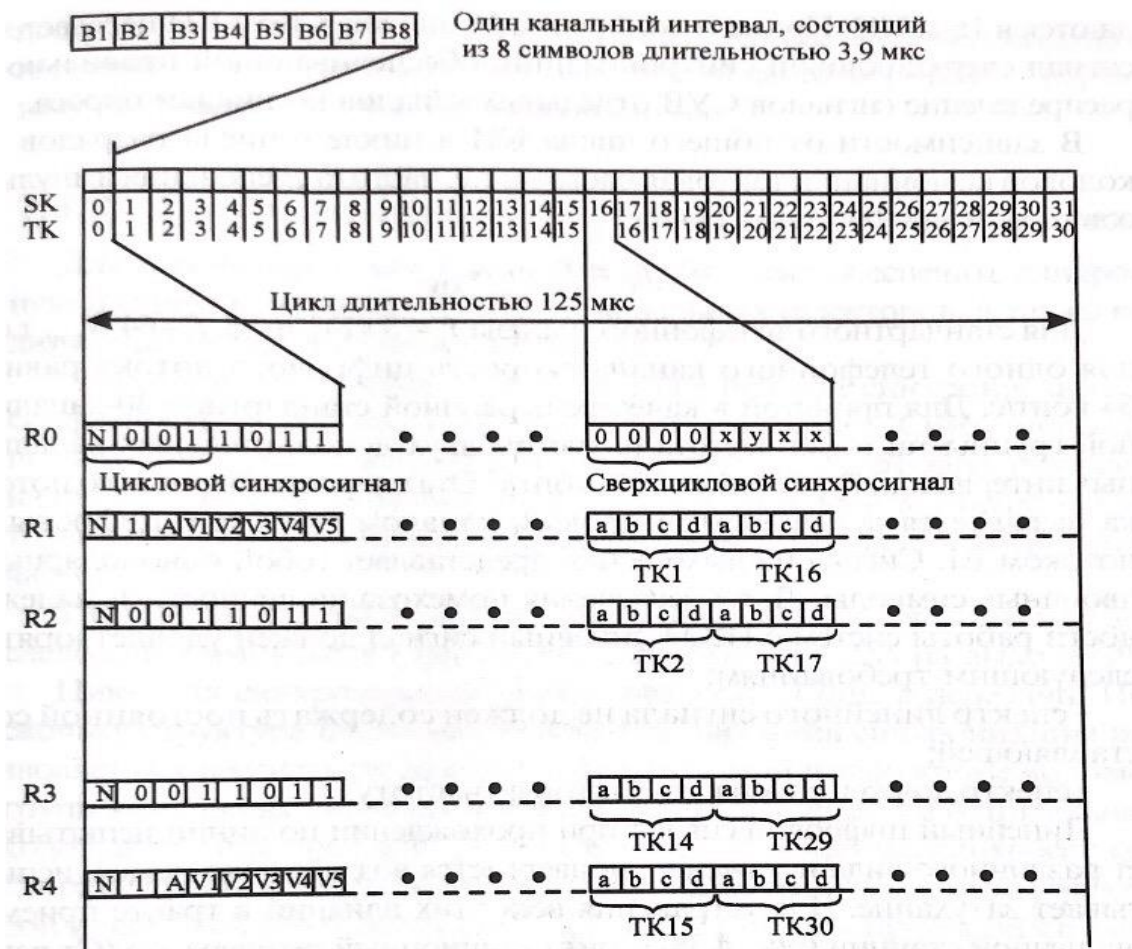


Рис. 6.25. Структура кодового цикла ИКМ-30

Канальные интервалы с 1-го по 15-й и с 17-го по 31-й являются информационными (канальными), по которым передается речевая информация. В нулевом КИ четных циклов передается кодовая группа, соответствующая синхросигналу (СС имеет постоянную структуру кодовой группы и передается один раз за два цикла с частотой 4 кГц).

В нечетных циклах в нулевом канальном интервале передается служебная информация. Кодовые группы сигналов управления и взаимодействия (СУВ) передаются в 16-м КИ. Кроме того, один раз за 16 циклов в этом КИ передается сигнал сверхцикловой синхронизации, обеспечивающий правильное распределение сигналов СУВ отдельных каналов по циклам опроса.

В зависимости от общего числа КИ в цикле и числа разрядов в кодовой комбинации тактовая частота, т.е. частота следования импульсов на выходе ФУ, будет равна

$$f_t = f_d m N_{\text{ки}}.$$

Для стандартного телефонного канала $f_t = 8$ кГц, $m = 8$, $f_t = 64N_{\text{ки}}$, т.е. для одного телефонного канала скорость цифрового потока равна 64 кбит/с.

Для принятой в качестве первичной стандартной 30-канальной группы тактовая частота (с учетом двух дополнительных канальных интервалов) будет равна 2048 кбит/с. Эта скорость цифрового потока называется **первичным цифровым каналом ПЦК или цифровым потоком Е1**.

Сигнал на выходе ФУ представляет собой однополярные двоичные символы.

Для обеспечения помехозащищенности и надежности работы систем с И КМ линейный сигнал должен удовлетворять следующим требованиям:

- спектр линейного сигнала не должен содержать постоянной составляющей;
- спектр должен содержать тактовую частоту.

Линейный цифровой сигнал при прохождении по линии испытывает различного вида искажения, подвергается воздействию помех, испытывает затухание.

Для устранения всех этих влияний в тракте приема оконечной станции (см. рис. 6.24) стоит стационарный регенератор (Ст.рег), восстанавливающий пришедший с линии цифровой сигнал по амплитуде, форме и временному положению. В преобразователе кода приема (ПКпр) этот восстановленный сигнал преобразуется в импульсы двоичного кода, аналогичные импульсам на выходе ФУ тракта передачи.

В этом же устройстве осуществляется выделение тактовой частоты, управляющей работой генераторного оборудования приема (ГОпр) и сигналов СУВ. Декодер (ЦАП) преобразует групповой ИКМ-сигнал в групповой АИМ-сигнал.

Временные канальные селекторы (КС) распределяют этот сигнал по

отдельным каналам. Импульсные последовательности от ГОпрм поочередно открывают КС каждого канала, обеспечивая выделение отсчетов своего канала из группового АИМ-сигнала. С выхода канального селектора АИМ-сигнал с частотой 8 кГц поступает на вход ФНЧ, который из этого сигнала выделяет исходный первичный сигнал и через усилитель низкой частоты (УНЧ) и дифсистему направляет его в абонентскую линию.

Для систем передачи с ИКМ-ВРК необходимо обеспечить синхронную и синфазную работу КЛИМ и канальных селекторов, а также кодирующих и декодирующих устройств.

Синхронность реализуется системой тактовой синхронизации, а синфазность – системой цикловой синхронизации. Синхронизация по тактовой частоте обеспечивает равенство скоростей обработки сигналов на передаче и приеме и выполняется путём выделения тактовой частоты из спектра линейного цифрового сигнала выделителем тактовой частоты (ВТЧ).

Тактовой частотой в системе передачи ИКМ-ВРК является частота следования импульсов группового цифрового сигнала на выходе ФУ.

Цикловая синхронизация определяет начало цикла передачи. Поскольку структура цикла всегда известна, цикловая синхронизация позволяет осуществить разделение каналов. С этой целью кроме кодовых групп канальных сигналов в состав цикла вводятся дополнительные кодовые группы цикловой синхронизации, образующие синхросигнал.

Синхрогруппа отличается от канальных сигналов постоянной структурой и частотой повторения (4 кГц вместо 8 кГц). На приемной стороне устанавливается приемник синхросигнала, который обеспечивает синхронизм при включении аппаратуры в работу, контроль синхронизма в процессе работы, обнаружение сбоя синхронизма и его восстановление.

Совокупность устройств, формирующих кодовую комбинацию синхросигнала, обеспечивающих ее ввод в групповой ИКМ-сигнал на передачу и выделение ее из группового ИКМ-сигнала на приеме образуют систему цикловой синхронизации (ЦС).

Система ЦС содержит передатчик и приемник синхросигнала (рис. 6.26), где приняты следующие обозначения: ГОпер, ГОпр – генераторное оборудование передающей и приемной станций соответственно; ФУ – формирующее устройство; ПК – преобразователь кода; ВТЧ – выделитель тактовой частоты, необходимый для обеспечения тактовой синхронизации; РУ – решающее устройство.

Система цикловой синхронизации работает следующим образом. Передатчик с помощью регистра сдвига и логического устройства преобразует периодическую последовательность импульсов, поступающих от ГОпер в кодовую комбинацию, соответствующую сигналу цикловой синхронизации, которая поступает на ФУ тракта передачи оконечной станции и через ПК вводится в групповой ИКМ-сигнал. На приемной станции входной сигнал поступает на опознаватель, предназначенный для определения кодовой комбинации, соответствующей синхросигналу.

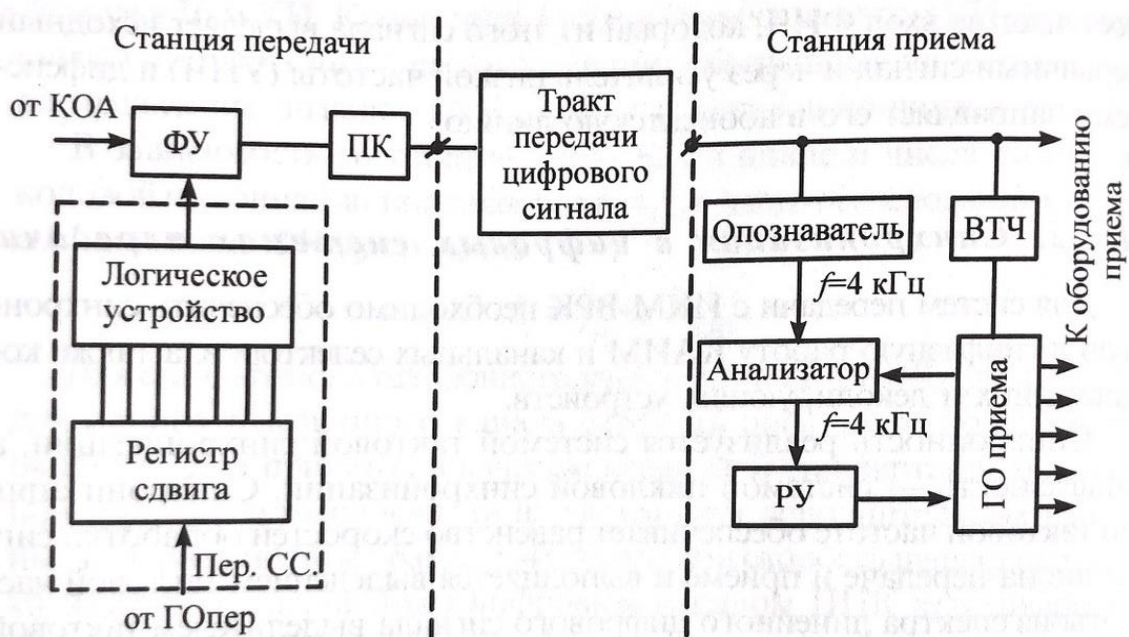


Рис. 6.26. Структурная схема передатчика и приемника синхросигнала

Если структура входной комбинации совпадает со структурой СС, то на выходе опознавателя появляется импульс. При нормальной работе устройств импульс на выходе опознавателя должен появляться с частотой 4 кГц. Этот импульс подается на один из входов (1) анализатора; на другой его вход (2) подается сигнал, вырабатываемый ГОпр.

Если система находится в состоянии циклового синхронизма, то сигналы на входах анализатора совпадают во времени. При отсутствии синхронизма сигналы от опознавателя и ГОпр во времени не совпадают. Выход анализатора подключен к решающему устройству (РУ). Если в течение определенного числа циклов $r_{\text{вх}}$ анализатор регистрирует совпадение во времени сигналов на его входах, то РУ принимает решение о наличии в системе синхронизма и никаких изменений в работе ГОпр не производит. Величина $r_{\text{вх}}$ называется коэффициентом накопления по входу в синхронизм и обычно находится в пределах 3...4.

При несовпадении импульсов на входах анализатора на вход РУ подается сигнал об отсутствии синхронизма. Если в течение определенного числа циклов $r_{\text{вых}}$, называемого коэффициентом накопления по выходу из синхронизма и обычно равного 4...6, синхронизм отсутствует, то РУ отмечает отсутствие синхронизма и формирует сигнал ошибки, вызывающий задержку (торможение) импульсов цикловой синхронизации, вырабатываемых ГОпр, на один период тактовой частоты. Цикл оказывается увеличенным на время T_T – период тактовой частоты, а расстояние между импульсами от ГОпр и синхрогруппой на один такт уменьшается.

Если и при этом они не совпадут, то РУ вновь вырабатывает сигнал ошибки, импульс от ГОпр сдвигается еще на один такт и т.д. Этот процесс

будет повторяться до тех пор, пока импульсы цикловой синхронизации и импульсы ГОпр не совпадут, после чего анализатор определит наличие синхронизма. Таким образом, РУ принимает решение о наличии или отсутствии синхронизма не на основании единичного испытания, а только при нескольких последовательных повторениях какого-либо события. Так обеспечивается необходимая защита от ложных синхрогрупп и действия помех. Допустимое время восстановления синхронизма не должно превышать 2 мс.

Для правильного распределения сигналов управления и взаимодействия (СУВ) различных каналов по циклам опроса служит система сверхцикловой синхронизации (СЦС). Она имеет структурную схему и принцип действия, аналогичные системе цикловой синхронизации, однако отличается структурой синхрогруппы (0000) и частотой повторения (сигнал СЦС передается один раз за 16 циклов, т.е. имеет частоту повторения, равную 500 Гц).

Сигнал тактовой синхронизации формируется в выделителе тактовой частоты (ВТЧ) и используется для выравнивания скоростей обработки сигналов станции приема и станции передачи.

К системам синхронизации предъявляются следующие основные требования:

1) время вхождения в синхронизм при первоначальном включении аппаратуры в работу и время восстановления синхронизма после нарушения связи должно быть минимальным;

2) состояние синхронизма при работе оборудования ЦСП должно поддерживаться непрерывно и автоматически;

3) приемник синхросигнала должен быть помехоустойчивым, и среднее время между сбоями синхронизма должно быть по возможности большим.

Выполнение вышеуказанных требований должно сочетаться с простотой технической реализации, экономичностью и надежностью оборудования систем передачи.

Таким образом, цифровые системы с рассмотренным видом синхронизации большую часть времени работают синхронно и синфазно, однако в отдельные моменты времени синфазность может быть нарушена. Поэтому их нельзя считать ни синхронными, ни асинхронными. Такие системы получили название плезиохронных.

Цифровой сигнал под воздействием помех искажается, что приводит к изменению формы и длительности импульсов, уменьшению их амплитуды и случайным временным сдвигам. Для восстановления параметров цифрового сигнала в линейном тракте СП с ИКМ через определенные расстояния устанавливаются регенераторы, т.е. устройства, полностью восстанавливающие параметры линейного цифрового сигнала.

В процессе регенерации (восстановления) цифрового сигнала выполняются следующие основные операции:

– усиление восстанавливаемых импульсов;

- коррекция формы импульсов;
- сравнение усиленных и откорректированных импульсов с пороговым значением для определения наличия или отсутствия сигнала на фоне помех;
- стробирование импульсов, в результате которого создаются такие условия, при которых импульсы цифрового сигнала на выходе регенератора формируются в строго определенные моменты;
- формирование новых импульсов с заданными параметрами и в определенные моменты времени.

Структурная схема регенератора и временные диаграммы, поясняющие его работу, приведены на рис. 6.27 и 6.28 соответственно, где приняты следующие обозначения:

Вх.У – входное устройство, предназначенное для согласования выходного сопротивления линии с входным сопротивлением регенератора;

КУ – корректирующий усилитель, предназначенный для компенсации затухания регенерационного участка и коррекции амплитудно-частотных искажений, вносимых линией;

ПУ – пороговое устройство, предназначенное для определения превышения сигнала над помехами. Импульс на выходе порогового устройства появится только в том случае, если входной сигнал больше уровня срабатывания порогового устройства $U_{\text{пор}}$;

ВТЧ – выделитель тактовой частоты, предназначенный для выделения тактовой частоты и формирования коротких стробирующих импульсов в середине тактовых интервалов, где амплитуда входных импульсов максимальна; стробирующие импульсы подаются на второй вход решающего устройства;

ФВИ – формирователь выходных импульсов, осуществляющий формирование их амплитуды, длительности и взаимного временного соотношения между символами линейного цифрового сигнала, следующих с тактовой частотой;

Вых.У – выходное устройство, предназначенное для согласованного подключения регенератора к линии связи.

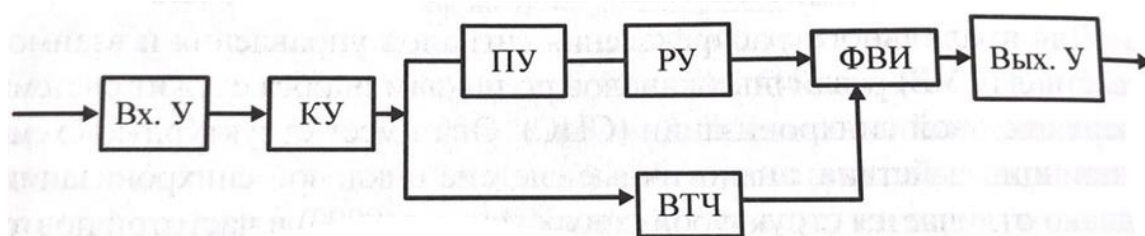


Рис. 6.27. Структурная схема регенератора

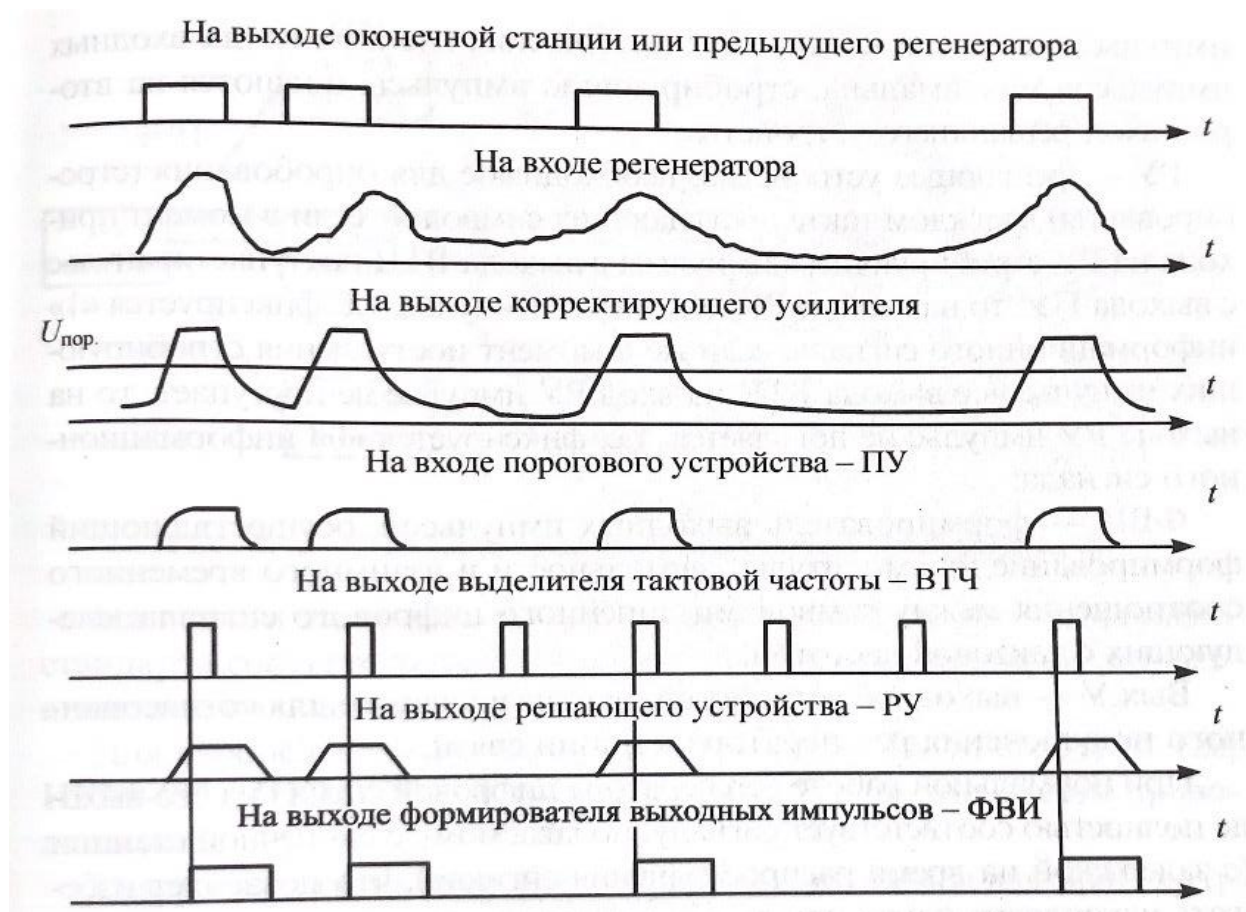


Рис. 6.28. Временные диаграммы работы регенератора

При нормальной работе регенератора цифровой сигнал на его выходе полностью соответствует сигналу, подаваемому с оконечной станции (с задержкой на время распространения сигнала), что позволяет избежать накопления помех при распространении сигнала по магистрали.

7 ТЕЛЕГРАФНАЯ СВЯЗЬ И ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ

7.1 Принципы телеграфной связи

Телеграфная связь и передача данных, являясь документальными видами электрической связи, используют для передачи информации дискретные сигналы. Как телеграф, так и передача данных входят в комплекс средств технологической связи, обеспечивая аппарат управления точной, полной и своевременной информацией о ходе технологических операций.

Особенностями систем передачи дискретной информации (СПДИ) является передача с использованием клавиатуры или автоматических считывающих устройств (фотосчитыватели) и получение твердой копии (бумага, перфолента, магнитная запись) документа в пункте приема.

С технической точки зрения в СПДИ преобразование сообщения в электрический сигнал происходит в два этапа: кодирование и модуляция на передаче и регистрация и декодирование на приеме.

Структура СПДИ не отличается от структуры других видов связи и содержит такие же элементы: передатчик, канал связи и приемник (рис. 7.1).

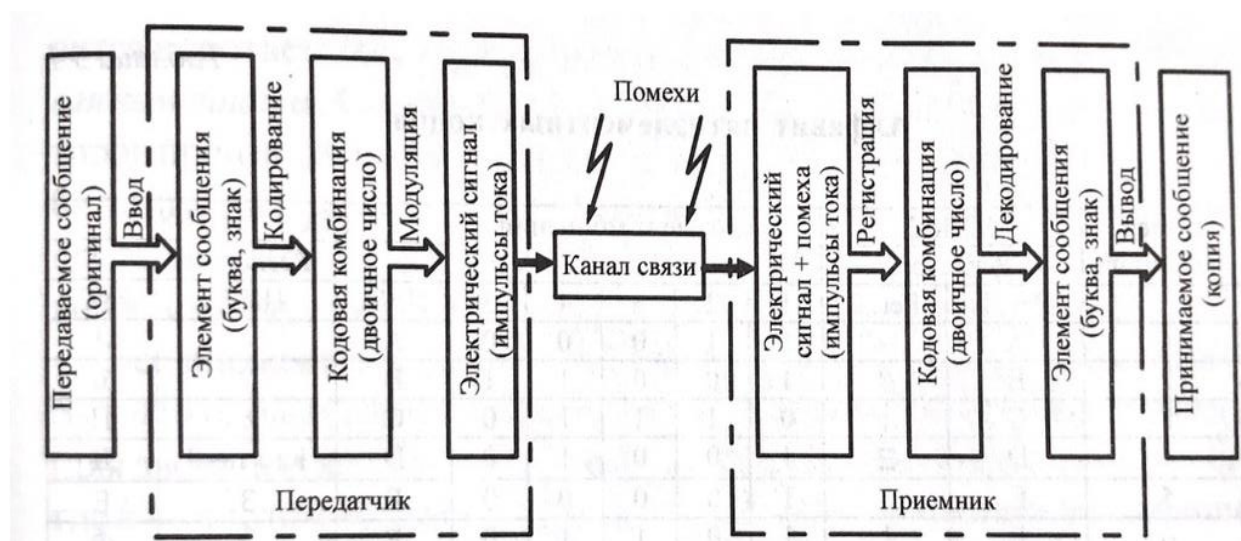


Рис. 7.1. Структура системы передачи дискретной информации

От источника информации оригинал передаваемого сообщения по-символьно (буква, цифра, знак) вводится в передатчик, где после операции кодирования превращается в двоичное число, а затем после дискретной модуляции – в электрические сигналы.

На приеме электрический сигнал с помехой вновь подвергается двойному преобразованию. Сначала производится последовательная регистрация каждого импульса, а затем декодирование двоичного числа и вывод сообщения-копии на технический носитель.

Телеграфная связь и передача данных, используя импульсно-кодовый метод передачи, имеют различие в видах передаваемых сообщений и в требованиях к скорости и точности передачи.

Телеграф служит средством обмена смысловыми, буквенно-цифровыми документами между людьми. Отсюда невысокие требования к скорости и верности приема.

Кодирование заключается в отображении (замене) множества графических символов передаваемого сообщения множеством чисел (обычно двоичных) для удобной, быстрой и практически безошибочной передачи их на расстояние средствами электрической связи.

При кодировании каждому графическому или функциональному символу сообщения (буква, цифра, пробел и др.) ставится в соответствие определенное сочетание двоичных цифр – кодовая комбинация. Совокупность правил и условий, в соответствии с которой производятся формирование, передача и обработка кодовых комбинаций, называется кодом.

Чтобы отличить кодовые комбинации друг от друга, вводят понятие **кодвое расстояние** $d(v_i, v_j)$, определяемое числом элементов, в которых одна комбинация отличается от другой.

Для оценки свойств кодов с точки зрения помехоустойчивости вводят понятие **минимальное кодвое расстояние** $d(V_k) = \min d(v_i, v_j)$.

По значению $d(V_k)$ коды делят на *простые* (*первичные*) при $d(V_k) = 1$ и *корректирующие* при $d(V_k)$ больше или равном двум.

Еще одним параметром кода является **вес кодовой комбинации** w – число ненулевых разрядов (единиц) в комбинации.

Из простых кодов сейчас имеют распространение Международный телеграфный код № 2 (МТК-2) и код для обработки информации (КОИ-7), разработанный на основе Международного алфавита № 5 (МА-5).

При передаче дискретных сигналов на расстояние используют физические цепи и каналы тональной частоты.

В любом случае требуется некоторый переносчик информации: постоянный или переменный ток, в изменении параметров которого и заключается передаваемая информация.

В телеграфии каждый элемент сигнала (элементарный импульс t_0) может принимать лишь два значения: единица или ноль.

При передаче по физическим цепям в качестве переносчика используют постоянный ток, как это показано на рис. 7.2. Если в качестве модулируемого (изменяемого) параметра взять величину тока, то получим однопольную модуляцию (рис. 7.2, а), а если направление – двухпольную модуляцию (рис. 7.2, б).

В первом случае единица будет передаваться токовым импульсом, а ноль – бестоковым импульсом. Во втором случае единице соответствует положительный импульс, а нулю – отрицательный импульс.

Различные виды модуляции на переменном токе показаны на рис. 7.3. Передаваемая кодовая последовательность представлена двумя комбинациями кода МТК-2 (рис. 7.3, а). В качестве переносчика используется

переменный ток (рис. 7.3, б). Модулируемыми параметрами могут быть амплитуда, частота и начальная фаза.

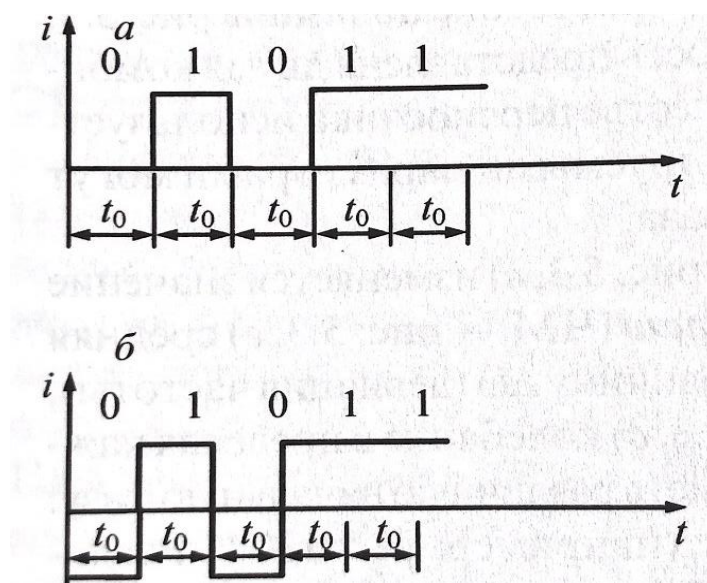


Рис. 7.2. Дискретная модуляция на постоянном токе

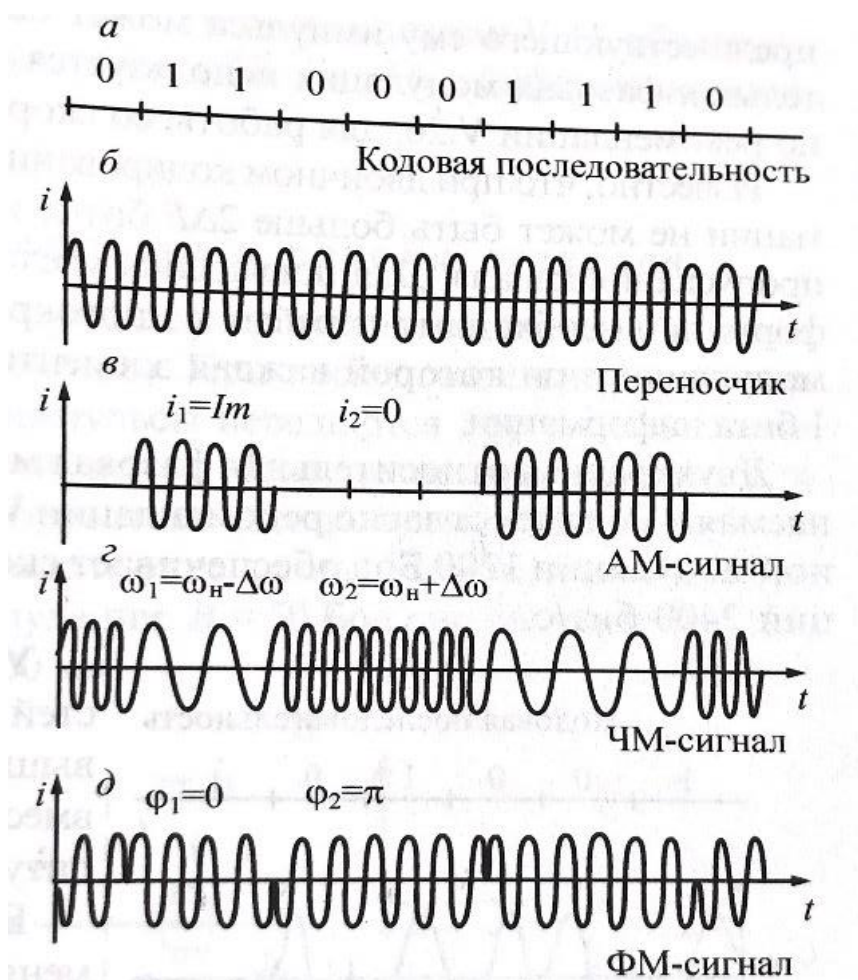


Рис. 7.3. Дискретная модуляция на переменном токе

При амплитудной модуляции АМ (рис. 7.3, в) изменяется значение тока от 0 до I_m , при частотной модуляции ЧМ (рис. 7.3, г) средняя частота ω_n изменяется на некоторую величину $\Delta\omega$ (девиация частоты), а при фазовой модуляции ФМ (рис. 7.3, д) колебание в пределах каждого элементарного импульса t_0 может иметь различную начальную фазу: например, $\varphi_1 = 0^\circ$ или $\varphi_2 = 180^\circ$.

Регламентированные (установленные МСЭ-Т) значения параметров для дискретной модуляции на переменном токе приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Значение параметров сигнала при различных видах модуляции

Модуляция	Значение параметра переносчика	
	Позиция нуля	Позиция единица
Амплитудная (АМ)	Отсутствие тока $i = 0$	Наличие тока $i = I_m$
Частотная (ЧМ)	Верхняя частота $\omega_n + \Delta\omega$	Нижняя частота $\omega_n - \Delta\omega$
Фазовая (ФМ)	Начальная фаза, совпадающая с опорной, $\varphi_i = \varphi_{оп}$	Начальная фаза, совпадающая с опорной, $\varphi_i = \varphi_{оп}$

Для количественной оценки процесса передачи вводят понятие скорость дискретной модуляции. За единицу скорости принят 1 Бод = 1 элементарный импульс/с. Численно эта величина обратно пропорциональная длительности элементарного импульса

$$B = 1/t_0, \text{ Бод.}$$

В телеграфии используют низкие скорости передачи (50, 100, 200 Бод).

Количество информации, передаваемое в единицу времени, называют *скоростью передачи дискретной информации*. Она измеряется в бит/с и зависит от свойств источника, вида модуляции, свойств каналов.

Из рассмотренных видов модуляции на переменном токе худшими свойствами по помехоустойчивости обладает АМ, а лучшими – ФМ.

В современных модемах используется относительная фазовая модуляция (ОФМ), многопозиционные и амплитудно-фазовые виды модуляции.

Отличие ОФМ от классической ФМ заключается в том, что изменение фазы передаваемого сигнала осуществляется не относительно опорной, а относительно фазы предыдущего импульса.

При передаче единицы фаза формируемого импульса сохраняется, а при передаче нуля – меняется на противоположную (рис. 7.4)



Рис. 7.4. Относительная фазовая модуляция

Так как для первого единичного элемента нет предыдущего, то фаза предшествующего ему импульса может быть произвольной. Относительная фазовая модуляция используется в модемах, разработанных по рекомендации V.26, для работы со скоростью 1200 бит/с.

Известно, что при двоичном кодировании скорость передачи информации не может быть больше $2\Delta F$ бит/с, или 2 бит/с на 1 Гц полосы пропускания канала.

Для повышения удельной скорости передачи информации необходимо перейти к многократной (многопозиционной) модуляции, при которой каждая элементарная посылка несет более 1 бита информации.

Увеличение удельных скоростей передачи до 3 бит/(Гц·с) и выше может быть получено за счёт совместного использования амплитудной и фазовой модуляции.

В скоростных модемах применяется так называемая квадратурная амплитудная модуляция.

Элементы сигнала могут передаваться последовательно (поочередно) и параллельно (одновременно).

При последовательной передаче (рис. 7.5, а) элементарные импульсы передаются друг за другом по однопроводной линии, что позволяет более экономно использовать дорогостоящие линейные сооружения. Однако время на передачу каждой комбинации $T_K = nt_0$ зависит от ее длины. Если использовать код МТК-2, то при скорости модуляции $B = 50$ Бод оно составит $T_K = 5t_0$ (рис. 7.5, б) и будет равно 100 мс.

Для параллельной передачи требуется n -проводная линия, по каждому проводу которой передается каждый элемент комбинации (рис. 7.6, а). Это дает возможность уменьшить время передачи комбинации до $T_K = t_0$ (рис. 7.6, б). Следовательно, для передачи той же комбинации при той же скорости модуляции потребуется время $T_K = 1/B = t_0 = 20$ мс. Но для этого необходимо пять проводов, что неэкономично.

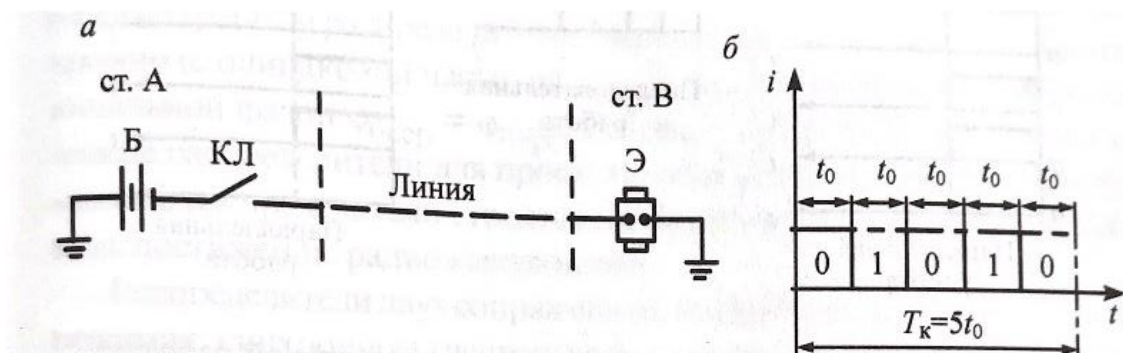


Рис. 7.5. Последовательная передача элементов дискретного сигнала

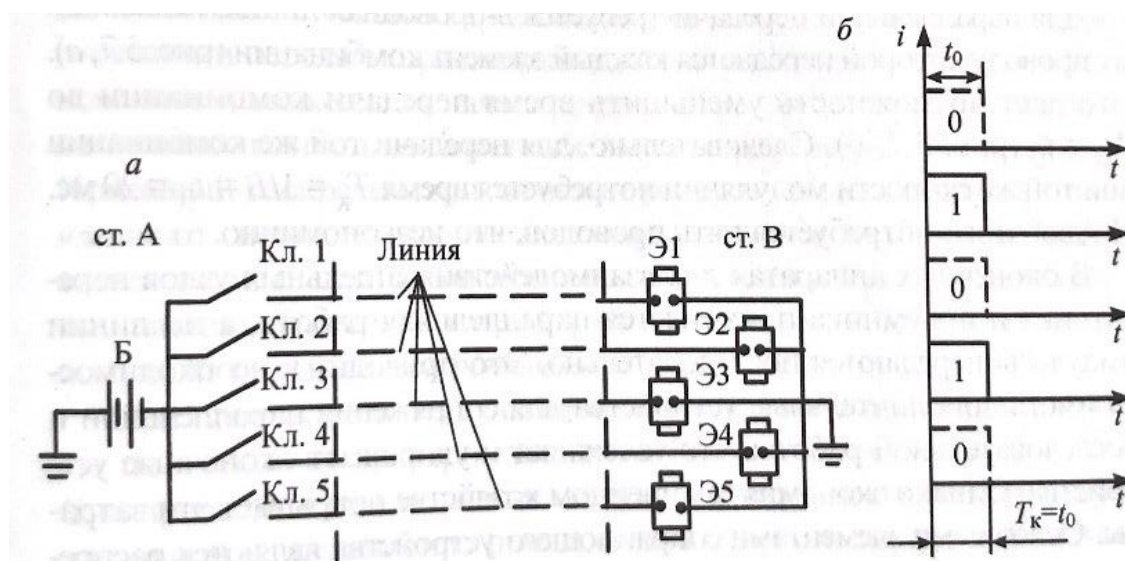


Рис. 7.6. Параллельная передача элементов дискретного сигнала

В оконечных аппаратах для взаимодействия отдельных узлов передатчика и приемника применяется параллельная работа, а по линии импульсы передаются последовательно. Это приводит к необходимости иметь дополнительные устройства для сопряжения параллельной и последовательной работы, что усложняет и удорожает оконечные устройства. Однако экономия в линейном хозяйстве покрывает эти затраты.

Основными элементами сопрягающего устройства являются распределители и накопители. На передаче с их помощью параллельная работа превращается в последовательную, а на приеме – последовательная в параллельную. Принцип сопряжения параллельной и последовательной работы поясняется с помощью рис. 7.7.

Распределители одновременно подключают к линии одноименные элементы накопителей так, что в линии в каждый момент времени существует лишь один импульс.

Вся комбинация будет передана (принята) за полный цикл работы распределителя. Распределители должны работать синхронно (с одинаковой частотой) и синфазно (с одинаковой начальной фазой).

На рис. 7.7 показаны электромеханические распределители для простоты понимания процессов. Все современные распределители электронные, для их построения применяют новейшие достижения радиоэлектроники.

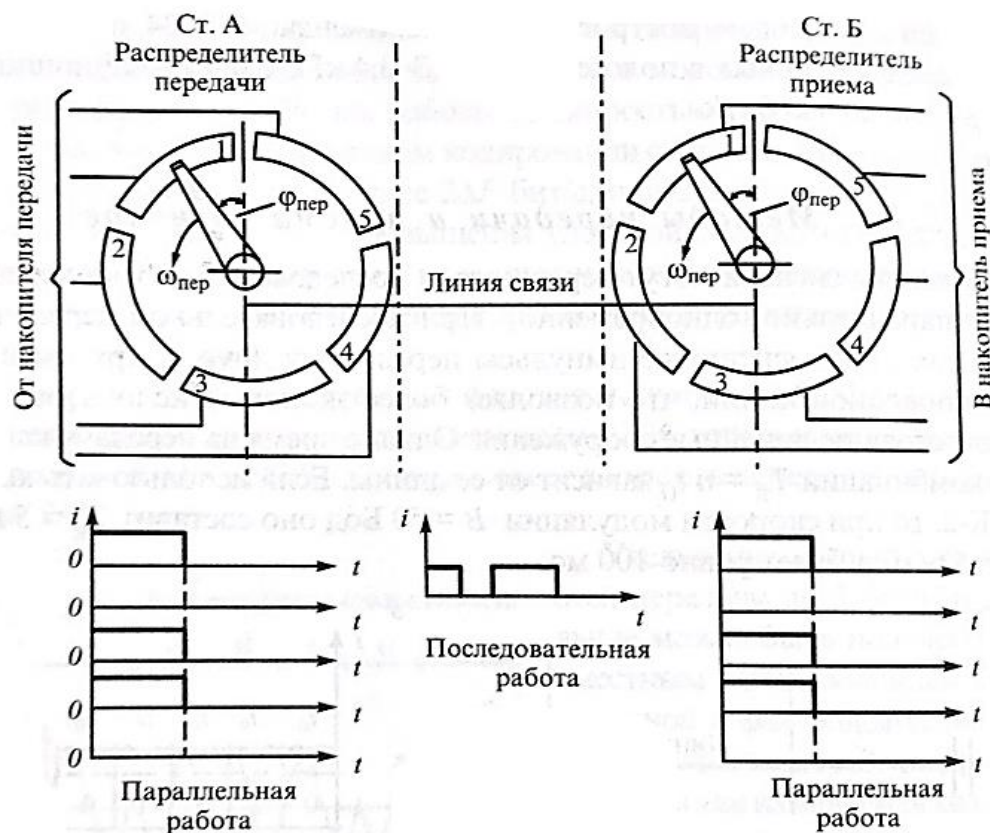


Рис. 7.7. Сопряжение последовательной и параллельной работы

Распределители двух сопряженных аппаратов могут работать в двух режимах: синхронном (непрерывном) и стартстопном (прерывистом).

В синхронном режиме распределители работают вне зависимости от наличия или отсутствия передачи/приема.

В стартстопном режиме при отсутствии передачи/приема распределители не работают и занимают исходное положение (в начале цикла).

С началом передачи передающий распределитель начинает работать и останавливается в конце цикла. Приемный распределитель начинает работать одновременно с передающим от специального сигнала *старт* (в начале цикла) и останавливается в конце специальным сигналом *стоп* (в конце цикла).

Аппараты, распределители которых работают в том или ином режиме, получили название *синхронные*, или *стартстопные*.

При прохождении импульсов по линиям и каналам на них действуют посторонние электромагнитные поля – помехи. Они приводят к изменению амплитуды и длительности по сравнению с идеальной длительностью при заданной скорости дискретной модуляции $t_0 = 1/B$.

Явление изменения длительности принятых импульсов (увеличение или уменьшение) получило название **искажение импульсов** (рис. 7.8).

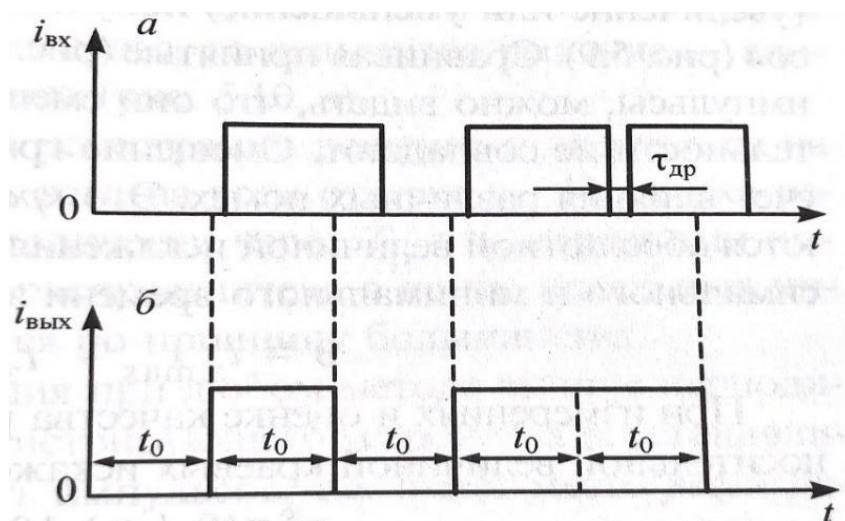


Рис. 7.8. Искажения элементарных импульсов

Сравнивая принятые (рис. 7.8, а) и переданные (рис. 7.8, б) импульсы, можно видеть, что они смещены по оси времени и их длительности не совпадают.

Смещение границ импульсов происходит за счет влияния различных помех. Это **краевые** искажения. Они оцениваются абсолютной величиной искажения, полученной как разность максимального и минимального времени запаздывания границ:

$$\theta = t_{з. \max} - t_{з. \min}, \text{ с.}$$

При измерениях и оценке качества работы каналов пользуются относительной величиной краевых искажений

$$\delta = (\theta/t_0) \cdot 100 (\%).$$

Под действием интенсивных импульсных помех и при кратковременных обрывах тракта передачи может возникнуть специфическое изменение длительности в виде кратковременного прерывания тока в пределах одного из импульсов (см. рис. 7.8, а). Такое искажение называется **дробление** и оценивается величиной $\tau_{др}$.

Первой операцией на приеме является регистрация – извлечение из входящего сигнала кодовой комбинации. Она осуществляется под управлением распределителя приема. Основанием для определения значения элемента сигнала (1 или 0) является состояние входного устройства.

Известны два классических метода регистрации: **метод стробирования и интегральный метод**.

При стробировании (рис. 7.9) решение принимается в одной точке (в середине) элементарного импульса и по этому результату оценивается весь импульс (1 или 0). Длительность проверочного импульса (строба) берется значительно меньше элементарного импульса, а регистрация ведется с периодом $T_p = t_0$. Если на входном устройстве (рис. 7.9, а) в момент пробы (рис. 7.9, б) будет токовый импульс, то выносится решение – единица, а если бестоковый – ноль (рис. 7.9, в).

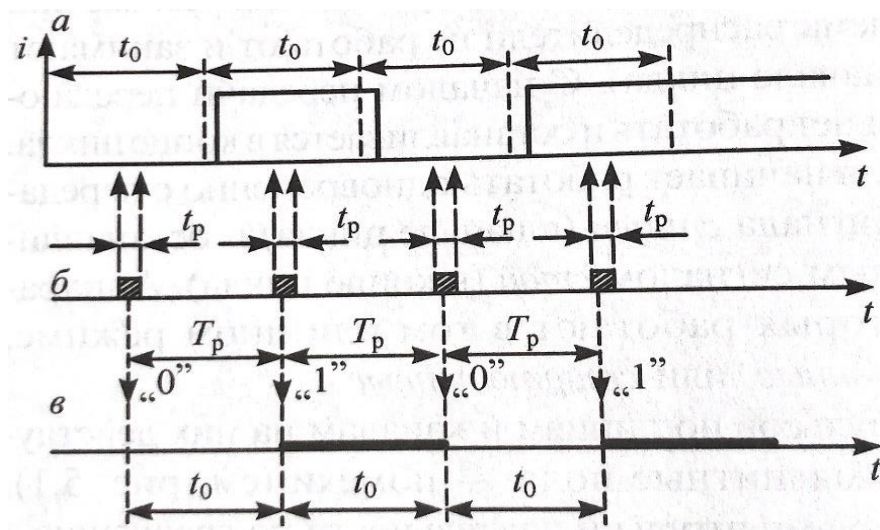


Рис. 7.9. Принцип регистрации методом стробирования

При интегральном методе регистрации решение принимается на основе непрерывного анализа тока на всем отрезке t_0 . Проверка результата осуществляется периодически через $T_p = t_0$ короткими импульсами, поступающими от распределителя в конце идеальных интервалов t_0 . Решение выносится по принципу большинства.

За счет того что регистрация при любом методе ведется периодически с периодом t_0 , после регистрирующего устройства восстанавливается идеальная длительность импульсов, т.е. имеет место **регенерация** длительности импульсов.

Искажения затрудняют работу приемного устройства, и если их значение превысит допустимый предел $\delta_{\text{доп}}$, то возникает **ошибка** – неверное определение цифры кодовой комбинации и, как следствие, на техническом носителе воспроизводится неверный символ.

Искажения и ошибки являются следствием действия помех на передаваемые сигналы и носят случайный характер. Однако, если искажения имеют место всегда, так как действие помех полностью устранить не удастся, ошибки возникают лишь при определенных условиях. Ошибочное определение значения элемента кодовой комбинации произойдет тогда, когда искажения превысят некоторый порог, называемый **исправляющей способностью приемника**. Эта величина является одной из характеристик окончательных аппаратов, оценивающих их помехоустойчивость.

Для оценки помехоустойчивости всей системы в целом вводят понятие **верность передачи**. Численно она определяется коэффициентом ошибок, представляющим собой отношение количества ошибочных элементов к общему числу принятых элементов

$$k_{\text{ош}} = n_{\text{ош}}/n_{\text{общ.}}$$

Нормой, оценивающей качество передачи в телеграфии, является значение $k_{\text{ош}} = 3 \cdot 10^{-5}$.

Структурная схема передающей и приемной частей оконечного устройства в системе передачи дискретной информации при взаимодействии их через канал связи представлена на рис. 7.10.

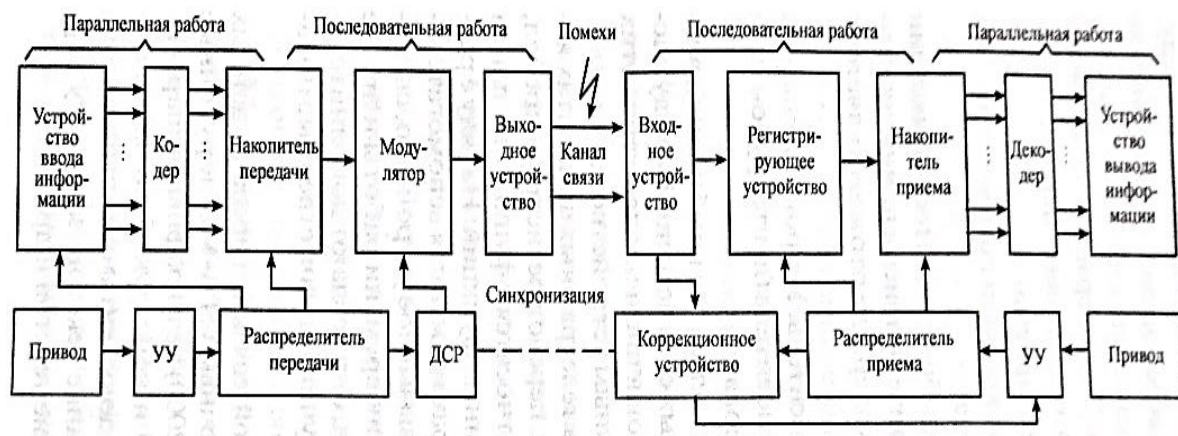


Рис. 7.10. Структурная схема передатчика и приемника дискретных сигналов

Передающее устройство в общем случае служит для преобразования передаваемого символа сообщения в электрический сигнал в виде импульсов тока, сгруппированных в кодовые комбинации. При этом происходят следующие операции, в которых участвуют отдельные элементы передатчика.

Ввод информации осуществляется с клавиатуры или считывающего устройства. Устройство ввода информации вырабатывает на одном из своих выходов сигнал, соответствующий передаваемому символу. Этот сигнал поступает на вход кодера.

Кодер (шифратор) в ответ на полученный от устройства ввода сигнал формирует информационные элементы кодовой комбинации. Они одновременно (параллельно) поступают в накопитель передачи.

Хранение (накопление) кодовой комбинации в накопителе передачи происходит до завершения полного цикла работы передатчика.

Операцию считывания элементов кодовой комбинации и включение в ее состав служебных разрядов выполняет распределитель передачи. Он также управляет устройством ввода, накопителем и датчиком служебных разрядов (ДСР), определяя мгновения их действия.

Энергию для работы распределитель получает от привода (электромотор или генератор), а режим его работы (непрерывный или прерывистый) определяется управляющим устройством.

Модулятором определяется вид переносчика и его изменяемый параметр, а выходное устройство обеспечивает гальваническую развязку передатчика от линии и формирует нужную амплитуду сигнала.

Приемник выполняет функции, обратные передатчику и преобразует принятый сигнал в сообщение с нанесением его на технический носитель. При этом выполняются следующие операции.

Прием сигналов и преобразование их в вид, удобный для последующей обработки. Входным устройством обеспечивается гальваническая развязка линии и приемника и выделение служебных разрядов.

Регистрация принимаемых импульсов выполняется регистрирующим устройством в строгой последовательности их поступления, определяемой распределителем приема.

Накопление элементов и сборка из них кодовой комбинации. Эта операция выполняется накопителем приема.

После фиксации всех ее элементов покоманде от распределителя приема принятая комбинация параллельно сбрасывается в декодер, где отождествляется (декодируется) с одним из символов сообщения.

Устройство вывода обеспечивает отпечатывание символа на носителе (бумага) или нанесение отверстий на перфоленту.

Правильная регистрация и нумерация элементов комбинации возможна при наличии определенных фазовых соотношений между распределителями передачи и приема. Установление и поддержание этих соотношений осуществляется коррекционным устройством.

Часть расшифрованных комбинаций в телеграфных аппаратах является непечатаемой. Это перевод строки, перевод регистров, пробел и т.д. Они относятся к функциональным символам и служат для выполнения указанных функций. Наряду с рассмотренными узлами в телеграфных аппаратах имеются вспомогательные устройства: автоответчик, вызывное устройство, сигнализатор окончания запаса бумаги и др. Не участвуя в передаче и приеме информации, они создают дополнительные сервисные услуги для оператора и улучшают качественные показатели телеграфной связи.

В настоящее время на сети телеграфной связи и передачи данных используются электромеханические и электронные телеграфные аппараты. Они представляют собой функционально и конструктивно законченные устройства, обеспечивающие обмен документами и выполнение ряда дополнительных функций (копирование текстов, заготовку перфоленты, редактирование текстов, хранение текстов и др.).

В последние годы в качестве оконечного оборудования в телеграфной связи стали использовать автоматизированные рабочие места (АРМ-Т) на базе ПЭВМ. Они включают в себя процессорный блок, монитор, клавиатуру, принтер и линейный интерфейс.

Автоматизированное рабочее место является аппаратно-программным комплексом, предназначенным для автоматизированной обработки сообщений с возможностью одновременной независимой работы на прием и передачу по нескольким линиям.

Программное обеспечение АРМ-Т позволяет: выполнять автоматический набор номера абонента; контролировать правильность установления связи и формата автоответа; автоматически передавать несколько сообщений в один адрес без отключения за один сеанс связи; редактировать текст сообщений, а также печатать любое количество копий принимаемых и передаваемых сообщений и т.д.

С помощью факсимильной связи можно передавать различного рода неподвижные изображения, машинописный или рукописный текст, фотографии и др. Структурная схема факсимильной связи представлена на рис. 7.11.

Развертывающий элемент (РЭ) формирует элементарные освещенные площадки на поверхности оригинала. Отраженный свет преобразуется в импульсы тока, амплитуда которого пропорциональна яркости освещаемой площадки.

Устройство развертки (УР) обеспечивает построчное перемещение развертываемого пятна по поверхности оригинала.

Преобразование оптических плотностей площадок оригинала в последовательность электрических сигналов выполняется фотоэлектрическим преобразователем (ФП).

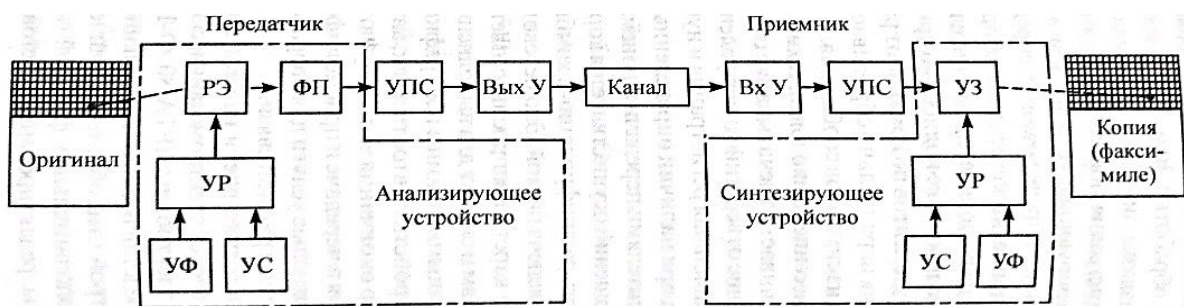


Рис. 7.11. Организация факсимильной связи

Процесс разложения изображений на отдельные элементы и преобразования их в импульсы тока называется анализом изображения, а совокупность устройства развертки, развертывающего элемента и фотоэлектрического преобразователя – анализирующим устройством.

Устройством преобразования сигналов (УПС) импульсы тока от ФП приводятся к виду, удобному для передачи, и через выходное устройство (Вых.У) направляются в канал связи.

На приеме электрические сигналы через входное устройство (Вх.У) поступают на УПС приемника, где преобразуются в вид, удобный для управления устройством записи (УЗ).

На приемном бланке факсимильного аппарата с помощью устройства развертки (УР) обеспечивается последовательная фиксация элементарных сигналов. Запись производится либо на светочувствительные материалы, либо на обычную бумагу или специальную бумагу (штриховая запись).

Обратный процесс сложения изображения из отдельных элементов путем последовательного окрашивания поверхности бланка-копии называется синтезом изображения, а совокупность устройств записи и развертки – синтезирующим устройством.

Синхронизация устройств развертки факсимильных аппаратов заключается в установлении равенства скоростей развертки, а фазирование – в установлении одинакового положения, развертывающего устройства по отношению к началу каждой строки. Эти операции выполняются устройством синхронизации (УС) и устройством фазирования (УФ).

Какое бы изображение не передавалось по каналу связи, сигнал на выходе фотоэлектрического преобразователя является аналоговым, т.е. непрерывным по уровню и времени. В аналоговых факсимильных аппаратах этот сигнал после усиления переносится в область высоких частот и непосредственно передается в канал связи.

В цифровых факсимильных аппаратах аналоговый сигнал подвергается дискретизации по времени, квантованию и кодированию. После этих преобразований получается цифровой сигнал.

На железнодорожном транспорте одной из областей применения факсимильной связи является информационная связь, служащая для передачи на сортировочные станции натуральных листов. Кроме того, факсимильная связь может быть основой электронной почты для передачи официальных документов между подразделениями транспорта.

7.2 Передача данных в системе железнодорожного транспорта

Термин *передача данных* имеет в настоящее время двоякий смысл. Во-первых, это одна из сервисных служб сети связи, один из видов документальной электросвязи, обеспечивающий обмен цифровой информацией между ЭВМ. В первые годы своего существования под передачу данных использовали аналоговые телефонные каналы сети общего пользования, а в качестве оконечных устройств часто применяли телеграфные аппараты.

Однако время шло и на смену аналоговым каналам пришли цифровые каналы. Появилась возможность строить единую сеть с интеграцией в нее различных услуг: телефон, телеграф, неподвижные изображения, звуковое сопровождение TV, видеоконференции и др. Отпала необходимость создавать для каждого вида связи свою сеть. Все, что передается по цифровой сети связи, является передачей данных, поэтому старый термин получает новое звучание, новое содержание.

Но в любом случае, вне зависимости от вида услуги, в цифровых се-

тах имеется одна проблема – повышение качества передачи. Решение этой задачи заключается в разработке и применении различных методов повышения верности передачи.

Необходимость безошибочной передачи информации на расстояние очевидна. Стремление к этому ярко прослеживается в развитии письменности как одного из средств информационного обмена. Письменность совершенствовалась на своем долгом пути развития, и на этом пути прослеживаются две тенденции.

Первая тенденция, отражающая стремление к более краткой передаче информации, привела к появлению иероглифического письма. Каждый иероглиф обладает большой информативностью, а запись с их помощью занимает мало места. Но даже небольшая ошибка в начертании иероглифа приводит к тому, что запись воспринимается неверно.

Вторая тенденция заключается в стремлении к безошибочной передаче и восприятию текстов. В результате этого появилось буквенное или алфавитное письмо. Такая система позволяет правильно понять текст, даже если в нем пропущены или неправильно написаны несколько букв. Данное свойство алфавитного письма называют «смысловой избыточностью». Конечно, избыточность увеличивает время написания и удлиняет письмо, но уменьшает вероятность ошибочного понимания текста.

Все то же самое можно сказать и в случае передачи информации средствами электросвязи с применением импульсно-кодового метода, используемого в телеграфии и в передаче данных. Особенно это важно в передаче данных, ибо здесь передаются не смысловые сообщения, как в телеграфии, а потоки цифр, и замена одной цифры другой не может быть исправлена по смыслу. Поэтому в цифровую информацию, представленную двоичными цифрами «1» и «0», следует ввести избыточность. Введение логической избыточности является одним из методов повышения верности передачи информации.

Большинство причин снижения верности передачи информации связано со свойствами каналов, по которым осуществляется передача, и с помехоактивностью среды передачи. Поэтому вторым методом повышения верности передачи является ослабление действия помех и улучшение характеристик каналов. Классификация методов повышения верности представлена на рис. 7.12.

Эффект от применения организационно-технических и электротехнических методов невелик. Опыт показывает, что в совокупности они позволяют повысить верность в 5...7 раз. Методы введения логической избыточности позволяют повысить верность передачи теоретически в неограниченное количество раз, поэтому они являются основными.

Наиболее часто применяют корректирующие коды и системы с обратной связью. Корректирующими считаются коды, построенные на основе первичных (простых) кодов путём введения логической избыточности, которая помогает обнаружить или исправить ошибки в защищаемом блоке.



Рис. 7.12. Классификация методов повышения верности передачи

Простые коды не являются избыточными, поэтому замена одного любого элемента комбинации противоположным приводит к тому, что вместо переданной буквы на носителе появится другая буква. Ввести избыточность можно только одним путем: добавить по определенному логическому правилу дополнительные элементы (контрольные элементы) в комбинацию. Это приведет к тому, что каждая комбинация будет передаваться за более длительное время. Однако это же позволит обнаружить наличие ошибки в комбинации.

Покажем это на примере. За исходные возьмем пятиэлементные комбинации кода МТК-2. Пусть имеются две комбинации: 10101 и 01100. Они не имеют избыточности. Введем ее искусственно: к пяти информационным элементам добавим шестой – контрольный и сделаем это так, чтобы сумма единиц в комбинации была четной. Тогда в линию будут передаваться уже не 5-, а 6-элементные комбинации: 101011 и 011000 (жирным выделены контрольные элементы). Если теперь в результате действия по-

мех какой-либо элемент принят ошибочно, то независимо от номера элемента, в котором это произошло, сумма единиц будет уже нечетной и наличие ошибки будет зафиксировано

Подсчет суммы единиц в комбинации осуществляется сумматором «по модулю 2» ($\text{mod } 2$) по правилу

$$(0 + 0) \text{ mod } 2 = 0 \quad (0 + 1) \text{ mod } 2 = 1,$$

$$(1 + 0) \text{ mod } 2 = 1 \quad (1 + 1) \text{ mod } 2 = 0.$$

Просуммировать все цифры в кодовой комбинации и убедиться в наличии или отсутствии ошибки очень просто: очередная цифра, поступающая на сумматор, складывается с результатом предыдущего суммирования. Если число единиц в этом наборе цифр нечетное, то в результате суммирования на выходе появится «1» (ошибка есть), а при четном числе единиц – «0» (ошибки нет).

Корректирующий код, построенный по такому принципу, получил название **код с проверкой на четность**. Он применяется для обнаружения ошибок при вводе и выводе информации в аппаратуре передачи данных (АПД).

Еще одним кодом с обнаружением ошибок является **код с постоянным числом единиц** в комбинации. Для передачи берутся только те комбинации, в которых содержится одинаковое установленное число единиц, например, три. Если за исходный взять код МТК-2, то говорят: три из пяти, а если КОИ-7 – три из семи.

Комбинации МТК-2 11100, 01101, 10101, ... и другие с тремя единицами применяются для передачи, а остальные нет. Нарушение отношения числа единиц к числу нулей в комбинации (3:2 для МТК-2 или 3:4 для КОИ-7) служит признаком наличия ошибки.

Для исправления ошибок следует применять коды с большей избыточностью. При этом можно не только обнаружить наличие ошибки, но и указать ее номер в комбинации. Исправление ошибки при двоичном кодировании сводится к замене единицы нулем или наоборот в указанном элементе.

В качестве примера рассмотрим код Хэмминга, в котором к **информационным элементам (k)** добавляется несколько **контрольных (r)**, полученных путём проверки на четность в группах элементов. Состав группы определяется наличием «1» в соответствующем разряде двоичного ряда последовательности чисел. Например, для четырехразрядных чисел проверочные группы формируются следующим образом:

Номер элемента комбинации	Двоичное число	Контрольные проверки
a_1	0001	
a_2	0010	$S_1 = (a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9 + \dots) \bmod 2$
a_3	0011	
a_4	0100	$S_2 = (a_2 + a_3 + a_6 + a_7 + \dots) \bmod 2$
a_5	0101	
a_6	0110	$S_3 = (a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + \dots) \bmod 2$
a_7	0111	
a_8	1000	$S_2 = (a_8 + a_9 + \dots) \bmod 2$
a_9	1001	

Контрольными (r_i) будут те элементы, которые встречаются в проверочных суммах (группах) лишь однажды (первый, второй, четвертый, восьмой). Остальные места занимают **информационные (k_i) элементы**.

В качестве примера рассмотрим формирование девятиэлементной комбинации кода Хэмминга из комбинации простого пятиэлементного кода МТК-2. Пусть исходной будет комбинация 10110. Условием формирования контрольных разрядов будет равенство нулю контрольных сумм в группах.

Составим уравнения проверок:

$$S_1 = (a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9) \bmod 2 = 0;$$

$$S_2 = (a_2 + a_3 + a_6 + a_7) \bmod 2 = 0;$$

$$S_3 = (a_4 + a_5 + a_6 + a_7) \bmod 2 = 0;$$

$$S_4 = (a_8 + a_9) \bmod 2 = 0.$$

Заменяя в формулах первые слагаемые соответствующими контрольными, а информационные соответствующими цифрами из исходной комбинации, получим систему уравнений

$$(r_1 + 1 + 0 + 1 + 0) \bmod 2 = 0;$$

$$(r_2 + 1 + 1 + 1) \bmod 2 = 0;$$

$$(r_3 + 0 + 1 + 1) \bmod 2 = 0;$$

$$(r_4 + 0) \bmod 2 = 0.$$

Решая эти формулы относительно r_i , получим: $r_1 = 0$; $r_2 = 1$; $r_3 = 0$; $r_4 = 0$.

Полученная комбинация кода Хэмминга и порядок ее формирования представлены в табл. 7.2.

Построение комбинации кода Хэмминга

Номер элементов	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
Вид элементов	r_1	r_2	k_1	r_3	k_2	k_3	k_4	r_4	k_5
Значения элементов	0	1	1	0	0	1	1	0	0

На приеме невыполнение условия четности в любой проверочной группе указывает на наличие ошибки. Запись результатов проверок S_4, S_3, S_2, S_1 дает r -разрядное двоичное контрольное число, десятичный эквивалент которого определяет номер ошибочного элемента.

Если в рассматриваемом примере сделать ошибку в пятом элементе, принятая комбинация будет иметь вид 011011100. Проводя в ней проверки, получим результат:

1-я проверка

$$S_1 = (a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9) \bmod 2 = 1;$$

2-я проверка

$$S_2 = (a_2 + a_3 + a_6 + a_7) \bmod 2 = 0;$$

3-я проверка

$$S_3 = (a_4 + a_5 + a_6 + a_7) \bmod 2 = 1;$$

4-я проверка

$$S_4 = (a_8 + a_9) \bmod 2 = 0.$$

Получается двоичное число 0101, неравное нулю. Это указывает на наличие ошибки. Десятичным эквивалентом этого числа является цифра 5, следовательно, пятый элемент комбинации подлежит исправлению.

На практике для исправления ошибок чаще применяют **циклический код**, который может обнаруживать и исправлять ошибки большой кратности и группирующиеся ошибки (пакеты ошибок).

В системах, использующих корректирующие коды, заложенная в том или ином коде избыточность остается неизменной, т.е. это статические методы защиты. В то же время качество реальных каналов меняется во времени и, если заданы требования на верность передачи, необходимо ввести такую избыточность, которая позволила бы обеспечить заданную верность даже при самом плохом качестве канала.

Выходом из создавшегося положения является изменение избыточ-

ности, вводимой в кодовую комбинацию, по мере изменения характеристик канала связи. Такие системы, которые приспосабливаются к условиям прохождения сигналов, являются динамическими, адаптивными. Это системы с **обратной связью**.

В них между приемником и передатчиком помимо основного (прямого) канала организуется вспомогательный (обратный), по которому передатчик информируется о качестве приема сигналов. В общем они характеризуются блочной передачей и повторением блоков (в простейшем случае кодовых комбинаций), в которых обнаружены ошибки. Решение о необходимости повторной передачи может выноситься на передаче (системы с **информационной обратной связью – ИОС**) или на приеме (системы с **решающей обратной связью – РОС**).

В системах с ИОС принятая кодовая комбинация A_i возвращается на передающую сторону по обратному каналу, где она сравнивается с переданной комбинацией A_i , которую рассматривают как эталонную. Если комбинации различаются, то происходит повторная передача комбинации A_i .

При разговоре по телефону также часто используют ИОС, когда в условиях сильных помех просят собеседника повторить переданное ему сообщение, чтобы убедиться, что он его понял правильно.

В системах с РОС в приемнике определяется наличие ошибки и, если она обнаружена, то по обратному каналу посылается сигнал решения о необходимости повторения. Если ошибки нет или она не обнаружена, посылается сигнал подтверждения и по прямому каналу посылается следующая комбинация. Соответствующий аналог передачи с РОС имеется в телефонной связи. Если вследствие действия помех абонент не расслышал слово, то обычно просят его повторить.

Система с РОС получила наибольшее практическое применение. Имеется несколько разновидностей таких систем. Структурная схема простейшей и довольно часто применяемой системы с РОС показана на рис. 7.13.

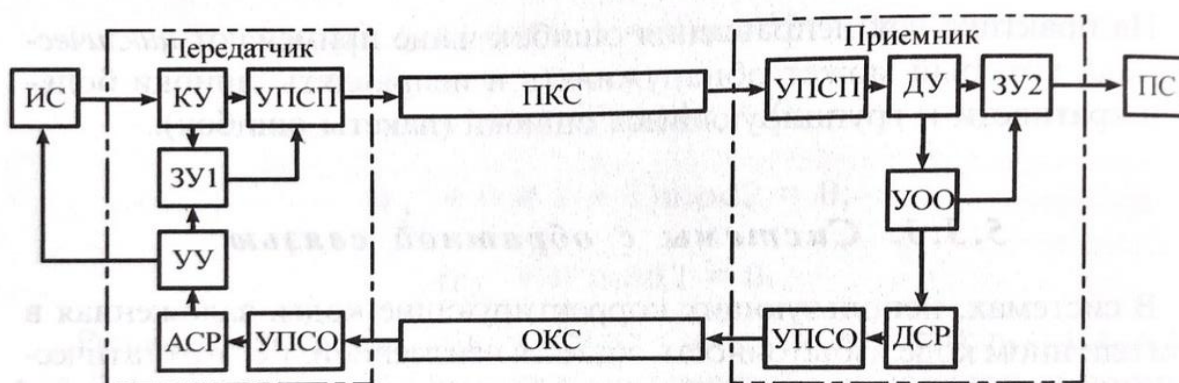


Рис. 7.13. Структура с обратной связью

Блок данных от источника сообщений (ИС) поступает в кодирующее устройство (КУ), где к нему добавляются проверочные элементы. Затем

он поступает в *прямой канал связи (ПКС)* и одновременно в *запоминающее устройство (ЗУ1)*. После выдачи блока передатчик ждет ответа о том, как он принят.

На приемной станции принятый блок расшифровывается *декодирующим устройством (ДУ)*, информационные элементы записываются в ЗУ2, а с помощью *устройства обнаружения ошибок (УОО)* производится оценка правильности приема. Если ошибка не обнаружена, то информация из ЗУ2 выдается *получателю сообщения (ПС)*, а *датчик сигнала решения (ДСР)* вырабатывает сигнал «Да», который посылается по обратному каналу. По сигналу «Да», расшифрованному *анализатором сигнала решения (АСР)*, *управляющее устройство (УУ)* стирает в ЗУ1 хранящийся там блок и дает разрешение на выдачу от ИС следующего блока.

Если в следующем блоке на приеме обнаружены ошибки, то информация в ЗУ2 стирается, а ДСР посылает по обратному каналу сигнал «Нет». По этому сигналу на передающем конце управляющее устройство запрещает выдачу следующего блока от ИС и дает команду на повторную передачу блока из ЗУ1 в прямой канал связи.

Теоретически каждый блок может передаваться бесконечное число раз. Обычно количество повторений ограничено и после определенного их числа (3...5) система переходит в режим аварии.

Рассматриваемый алгоритм работы системы называется алгоритмом работы с ожиданием, а сама система – системой *с решающей обратной связью и ожиданием (РОС-ОЖ)*.

В системах с РОС и *непрерывной передачей* информации (РОС НП) отсутствуют потери времени на ожидание. В них при обнаружении ошибки в блоке производится повторная передача этого блока и ряда других, к нему примыкающих.

Для уменьшения потерь на передачу всех блоков иногда по каналу обратной связи передается адрес (номер) того блока, который следует повторить. Такой метод применяется в системах с *адресным переспросом* (РОС-АП). Однако непрерывная передача информации и тем более адресный переспрос значительно усложняют аппаратуру передачи данных, что приводит к ее удорожанию и снижению надежности.

В простейших системах с ИОС для передачи информации по прямому каналу можно использовать простые коды, тогда обратный канал должен иметь такую же пропускную способность, что и прямой.

В системах с РОС любого типа по обратному каналу передаются только сигналы решения, и он может иметь существенно меньшую пропускную способность.

Возможность использования узкополосного канала в качестве обратного – существенное преимущество систем с РОС, делающее их применение на практике более предпочтительным, чем систем с ИОС.

Организация связи в распределенных сетях (рис. 7.14) основывается на принципах коммутации и реализуется в узловых точках сети, где сходятся два или больше входящих и исходящих каналов разных направлений.

Задачу распределения информационных потоков выполняет система коммутации, состоящая из узлов коммутации (УК), абонентских линий (а.л.) и окончательных пунктов (ОП). Узлы коммутации соединяются между собой пучками каналов соединительных линий (с.л.). Главную роль в этом процессе играют узлы коммутации, которые обеспечивают установление, поддержание и разъединение соединений между терминалами (телефонные и телеграфные аппараты, компьютеры, АРМ и т.п.), каждому из которых присвоен адрес (номер). Классификация методов коммутации приведена на рис. 7.15.

В зависимости от соотношения времени поддержания соединения и времени передачи сообщения различают *долговременную* и *оперативную коммутацию*.

Долговременная коммутация обеспечивает поддержание соединения на время, превышающее время передачи одного сообщения. Это выгодно при большом, постоянном обмене между какими-либо пунктами.

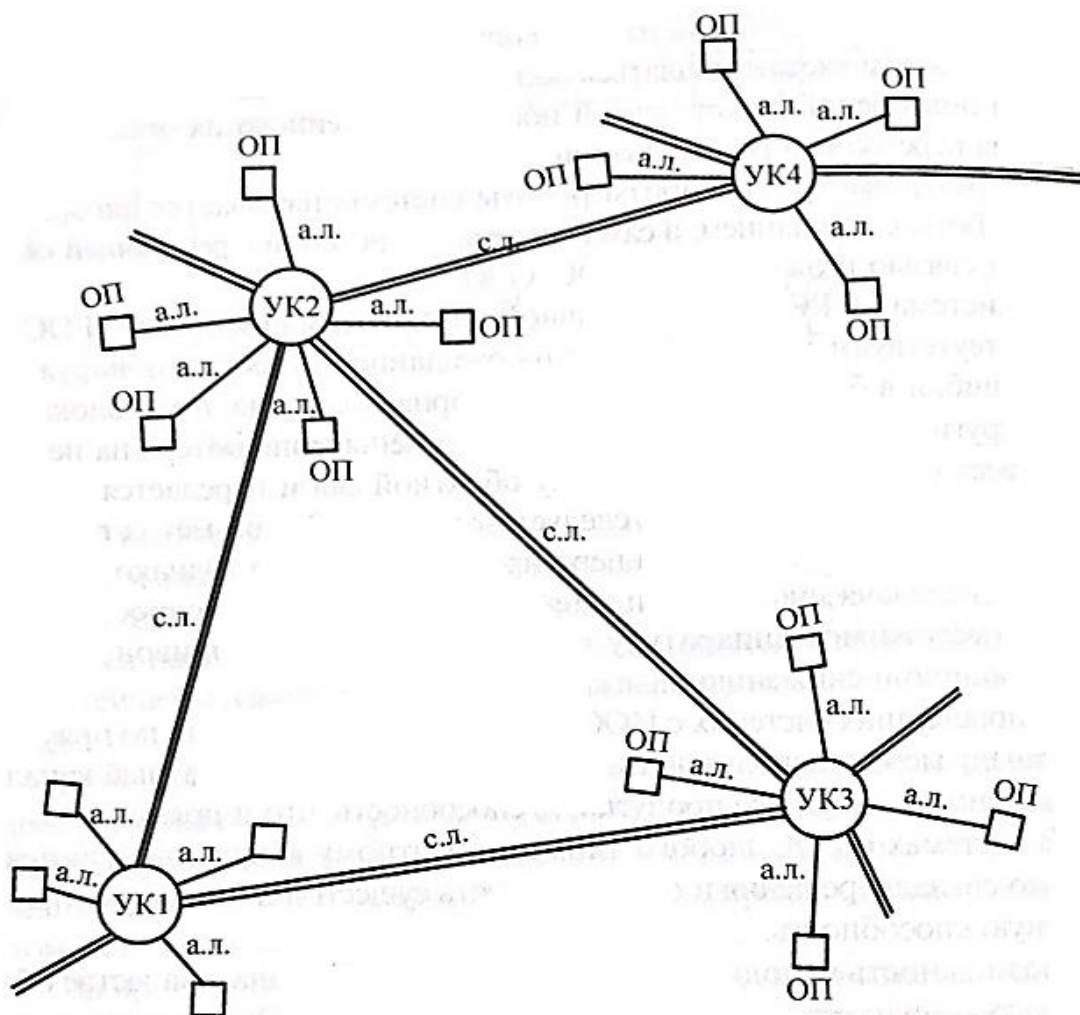


Рис. 7.14. Структура распределенной сети



Рис. 7.15. Классификация методов коммутации

Оперативная коммутация обеспечивает поддержание соединения только на время передачи одного сообщения. Связные ресурсы (каналы, коммутационные устройства, память) становятся коллективным ресурсом, что повышает эффективность их использования. Чаще используется оперативная коммутация.

Известно два основных принципа оперативной коммутации:

- с предварительным резервированием ресурсов;
- с динамическим распределением ресурсов.

В первом случае осуществляется физическое соединение входящих в УК каналов с соответствующими адресу исходящими каналами. Памяти в узлах нет. Этот метод называется **коммутация каналов (КК)**.

Во втором случае сигналы из входящих в УК каналов сначала записываются в запоминающее устройство, а затем через определенный промежуток времени поступают в исходящие каналы. В зависимости от объема памяти в узлах различают **коммутацию сообщений (КС** – память большая) и **коммутацию пакетов (КП** – память ограниченного объема).

Системы, построенные по первому принципу, получили название **систем с отказами**, а построенные по второму принципу – **систем с ожиданием**.

Технологию передачи сообщений в сети с разными методами коммутации рассмотрим на примере фрагмента сети линейной структуры с четырьмя узлами (рис. 7.16).

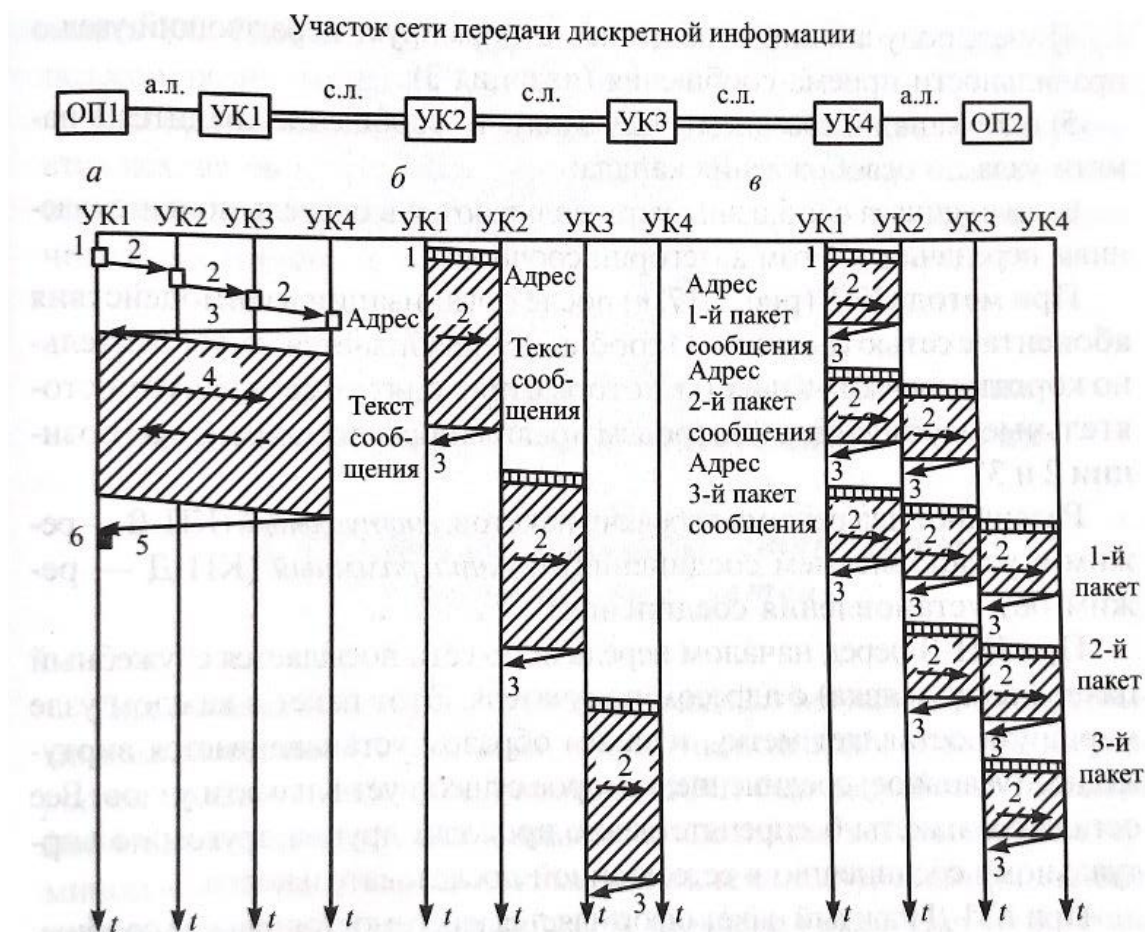


Рис. 7.16. Технология работы сетей с разными методами коммутации

При *коммутации каналов* осуществляется соединение каналов для получения сквозной цепи, связывающей через узлы коммутации один ОП с другим. При соединении каналов в сети происходит занятие (резервирование) средств передачи и коммутации для пары взаимодействующих ОП на время сеанса связи. Таким образом, при КК сначала организуется сквозной канал передачи сообщений между абонентами, а потом осуществляется передача.

До тех пор пока взаимодействующие абоненты не сообщат о своем решении ликвидировать соединение, выделенные ресурсы будут находиться в их монопольном владении, независимо от того, используются они или нет.

Процесс передачи сообщений в сети с **коммутацией каналов** состоит из следующих операций (рис. 7.16, *a*):

1) вызывающий абонент ОП1 с помощью вызывного устройства посылает по абонентской линии (a.l.) в узел УК1 заявку на соединение (позиция 1), содержащую условный адрес абонента ОП2;

2) узел коммутации осуществляет соединение абонентской линии с соединительной линией (с.л.) к другому узлу (УК2). Сквозной канал организуется через несколько промежуточных узлов, где осуществляется аналогичная процедура (позиция 2);

3) после установления соединения абонент ОП2 получает из узла УК4 сигнал вызова, а абонент ОП1 – сигнал установления соединения (позиция 3);

4) происходит передача сообщений между абонентами (позиция 4), при этом возможен как двусторонний одновременный, так и двусторонний поочередный (диалоговый) режим работы;

5) после завершения сеанса связи и получения сигнала отбоя (позиция 5) аппаратура узлов коммутации разрушает соединение (позиция 6).

При отсутствии свободного канала либо его неисправности на любом участке маршрута или отсутствии свободных соединительных путей в любом УК соединение абонентов не может быть установлено и УК посылает абоненту ОП1 сигнал занятости. Для установления соединения абонент ОП1 должен повторить заявку.

При **коммутации сообщений** (рис. 7.16, б) процесс протекает следующим образом:

1) вызывающий абонент ОП1 передает в УК1 сообщение вместе с адресом абонента ОП2 (позиция 1);

2) в узле УК1 сообщение запоминается, по его адресу определяется направление передачи и отыскивается свободный канал в этом направлении;

3) если канал к соседнему узлу УК2 свободен, то сообщение с адресом немедленно передается ему (позиция 2) и в нем происходят те же операции;

4) узел, получивший сообщение, информирует передающий узел о правильности приема сообщения (позиция 3);

5) если канал к соседнему узлу занят, то сообщение хранится в памяти узла до освобождения канала;

6) хранящиеся сообщения устанавливаются в очередь по направлениям передачи с учетом категории срочности.

При методе КП (рис. 7.16, в) после организации взаимодействия абонента с сетью (позиция 1) сообщение разбивается на относительно короткие части – пакеты, которые проходят по сети как самостоятельные сообщения с контролем правильности их получения (позиции 2 и 3).

Различают два режима передачи пакетов: **виртуальный** (КП-В – режим с установлением соединения) и **датаграммный** (КП-Д – режим без установления соединения).

При КП-В перед началом передачи по сети посылается служебный пакет (пакет-заявка) с адресом получателя. Этот пакет в каждом узле маршрута оставляет метку, и таким образом устанавливается виртуальное (условное) соединение, которое существует в памяти узлов. Все остальные пакеты беспрепятственно проходят друг за другом по виртуальному соединению в естественной последовательности.

При КП-Д каждый пакет оформляется как самостоятельное сообщение (датаграмма), снабжается адресом и порядковым номером и передается сетью независимо от других пакетов по свободному в данный момент маршруту.

По существу, КП-Д является разновидностью КС со стандартной длиной сообщения, а КП-В напоминает КК, в котором физический канал заменен логическим.

У каждого из рассмотренных методов коммутации имеется своя область применения, обусловленная его особенностями. Из этого следует целесообразность сочетания в сетях с большим числом абонентов, отличающихся друг от друга объемом сообщений, величинами нагрузки, характером ее распределения во времени, используемыми терминалами различных методов коммутации.

При небольшой средней нагрузке и передаче сообщений большими массивами в небольшое число адресов предпочтительнее использовать КК.

При большой загрузке абонентских пунктов, передаче многоадресных сообщений, необходимости приоритетного обслуживания более эффективно использовать КС.

При передаче коротких сообщений в диалоговом режиме целесообразно использовать КП.

Выбор метода коммутации – достаточно сложная задача. Она решается исходя из требований пользователей, которые, в свою очередь, определяются особенностями трафика, их классом и требованиями качества обслуживания.

8 СВЯЗЬ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

8.1 Сети станционной радиосвязи

Система управления технологическими процессами занимает особое место в сложном и многообразном комплексе работ железнодорожной станции. В свою очередь, эффективность систем управления во многом зависит от использования средств связи – *радиотехнических систем (РТС)*.

В зависимости от конкретных условий работы РТС с подвижными объектами радиостанции классифицируются следующим образом.

Стационарная – радиостанция, устанавливаемая в помещениях, специальных контейнерах или на открытом воздухе. Абонентами стационарных радиостанций (обычно такие радиостанции принадлежат службам управления) являются диспетчеры, начальники, командиры, дежурные и т.д.

Подвижная – радиостанция, предназначенная для использования во время движения или остановок в неопределенных пунктах. Подвижные радиостанции делятся на мобильные и носимые.

Мобильная – радиостанция, предназначенная для установки на подвижных объектах связи, которыми являются маневровые, специальные дорожные вагоны (ремонтные, пассажирские, рефрижераторные и др.), локомотивы и механизмы, служебные автомобили, дрезины и т.д. На этих объектах радиосредства получают питание от бортовой сети.

Носимая – радиостанция имеет собственный источник питания и находится в рабочем состоянии во время транспортировки. Абонентами подвижной связи являются различные категории работников железнодорожной станции: составители поездов, рабочие по ремонту, осмотрщики вагонов, электромеханики, сигналисты и т.д. Все такие абоненты оснащаются носимыми радиостанциями.

Станционная радиосвязь с подвижными объектами включает в себя радиосвязь машинистов маневровых и горочных локомотивов с маневровыми диспетчерами, операторами горок, составителями, другими работниками и службами железнодорожной станции. В эту систему могут входить радиосвязь дежурных по технической конторе со списчиками вагонов, связь осмотрщиков вагонов, служебная связь, связь транспортной полиции.

Радиосвязь ремонтных подразделений позволяет оперативно передавать необходимую информацию, благодаря чему сокращается время выполнения этих работ, более эффективно используются в графике движения выделенные «окна», повышается безопасность движения поездов по участку работ, а также повышается безопасность персонала, работающего на путях.

Все виды железнодорожной связи можно классифицировать:

– **по назначению** – станционная (действует в пределах зоны станции), поездная (обеспечивает связь машинистов локомотивов со службами

движения), ремонтно-оперативная (временная на участке железной дороги), оповещения (стационарная), телеметрическая (передача данных и управление);

- **по направлению передачи** – односторонняя, двусторонняя;

- **по режиму работы** – симплексная одночастотная (абоненты связываются на одной несущей частоте и говорят по очереди), симплексная двухчастотная (два абонента говорят по очереди, используя разные частоты), дуплексная (два абонента могут говорить одновременно на разных частотах), полудуплексная, дежурная (режим в ожидании вызова).

Основными показателями качества РТС являются:

- **точность воспроизведения (верность)**, которая характеризуется разборчивостью речи и определяется процентом правильно принятых элементов речи (звуков, слогов, слов, фраз).

В соответствии с ГОСТ установлены следующие классы качества разборчивости речи:

- 1-й класс – понимание без малейшего напряжения внимания;

- 2-й класс – понимание без затруднений;

- 3-й класс – понимание с напряжением без переспросов и повторений;

- 4-й класс – понимание с большим напряжением и с переспросом;

- 5-й класс – полная неразборчивость текста (срыв связи);

- **помехоустойчивость**, которая представляет собой свойство выполнять свои функции в условиях мешающих воздействий;

- **помехозащищенность**, которая определяет способность РТС противостоять мешающему действию определенных помех;

- **пропускная способность РТС**, которая определяет способность системы обрабатывать принимаемую информацию без накопления (без задержки) в фиксированное реальное время;

- **электромагнитная совместимость**, которая определяет способность РТС одновременно функционировать в реальных условиях с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех и не создавать недопустимых радиопомех другим радиоэлектронным средствам (РЭС), оценивается вероятностью.

Для федерального железнодорожного транспорта выделены частоты следующих диапазонов:

- 1-й диапазон – 2150 и 2130 кГц (симплексная связь);

- 2-й диапазон – 151,725...156,000 МГц (симплексная связь);

- 3-й диапазон – 330 МГц (дуплексная связь: 307 МГц на передачу, 341 МГц на прием);

- 4-й диапазон – 460 МГц (дуплексная связь: 457,400...458,450 МГц на передачу, 467,400...468,450 МГц на прием).

Радиоволны первого диапазона распространяются вдоль земной поверхности, поэтому для их использования применяются специальные направляющие системы, которые канализируют излучаемую энергию вдоль железнодорожного пути. Этот диапазон радиоволн (длина волны со-

ставляет примерно 140 м) используется для организации линейной поездной радиосвязи.

Радиоволны остальных диапазонов (метровый, дециметровый диапазоны волн) распространяются прямолинейно в пределах прямой видимости (с учетом рефракции и многократного переотражения возможна передача и вне пределов прямой видимости).

Наименования радиоволн, их частоты и область применения приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Классификация радиоволн

Радиоволны	Частота	Применение
Мириаметровые $\lambda = 10 \dots 100$ км	ОНЧ – очень низкая частота (VLF) 3...30 кГц	Дальняя связь (поверхностное распространение)
Километровые $\lambda = 1 \dots 10$ км	НЧ – низкие частоты (LF) 30...300 кГц	Радиовещание (поверхностное распространение)
Гектометровые $\lambda = 0,1 \dots 1$ км	СЧ – средние частоты (MF) 0,3...3 МГц	Поездная линейная радиосвязь (поверхностное распространение)
Декаметровые $\lambda = 10 \dots 100$ м	ВЧ – высокие частоты (HF) 3...30 МГц	Дальняя связь (распространение за счет переотражений от ионосферы)
Метровые $\lambda = 1 \dots 10$ м	ОВЧ – очень высокие частоты (VHF) 30...300 МГц	Станционная радиосвязь (прямолинейное распространение)
Дециметровые $\lambda = 0,1 \dots 1$ м	УВЧ – ультравысокие частоты (UHF) 300...3000 МГц	Станционная и поездная радиосвязь (прямолинейное распространение)
Сантиметровые $\lambda = 1 \dots 10$ см	СВЧ – сверхвысокие частоты (SHF) 3...30 ГГц	Спутниковая радиосвязь, радиорелейная связь (прямолинейное распространение)
Миллиметровые $\lambda = 1 \dots 10$ мм	КВЧ – крайне высокие частоты (EHF) 30...300 ГГц	Радиолокация (прямолинейное распространение)

В соответствии с ГОСТ электромагнитная совместимость РЭС представляет способность РЭС одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех и не создавать недопустимых радиопомех другим РЭС.

Для железнодорожного транспорта характерно весьма плотное и насыщенное оборудование радиосредствами железнодорожных станций, высокий уровень электрических помех и металлическое окружение, приводящее к многочисленным переотражениям и рефракции радиоволн.

Высокий уровень помех не позволяет в полной мере реализовать высокую чувствительность радиоприемных устройств. Спектральный состав помеховых сигналов, как известно, спадает в сторону высоких частот, что объясняет стремление к развитию средств связи в высокочастотных диапазонах дециметровых радиоволн. Однако по причине близкого размещения значительного числа радиосредств в условиях железнодорожных станций в первую очередь имеет значение взаимное влияние радиостанций. Это, как правило, влияние основного и побочного излучения передатчиков на основном и побочных каналах приема радиоприемников.

Из всего многообразия путей и способов влияния радиоизлучений можно выделить несколько наиболее важных и значительных проблем по обеспечению электромагнитной совместимости, существенных для железнодорожного транспорта:

1 *Определение координатных расстояний (пространственный разнос) между радиостанциями, работающими на одной частоте*, для обеспечения их нормальной работы.

2 *Определение минимально необходимого пространственного разноса антенн радиостанций, работающих на разных частотах, но размещенных территориально близко*, для предотвращения явления блокирования (частотно-пространственный разнос).

3 *Применение разнонаправленных и разнополяризованных антенн (пространственно-ориентированный разнос)* для уменьшения расстояний между радиостанциями.

4 *Планирование сетки совместимых рабочих частот в станционной радиосвязи* для предотвращения помех от интермодуляции (частотный разнос).

Любая железнодорожная станция, на которой выполняется маневровая работа или возникает необходимость мобильной связи, имеет станционную радиосвязь. В зависимости от типа станций, их мощности, организуют несколько отдельных радиосетей.

Радиосети станционной радиосвязи организуются по радиальному принципу с использованием одной несущей частоты. Связь осуществляется в симплексном режиме.

Все станционные радиосети классифицируются *по степени важности, уровню надежности и времени ожидания установления связи*.

Сети маневровой и горочной станционной радиосвязи (СРС-МГ) имеют допустимое время ожидания передачи информации 1...3 с.

Маневровая радиосвязь предназначена для связи маневрового (ДСЦ) и станционного (ДСЦС) диспетчеров, старшего помощника начальника станции (ДСПС) и дежурных по паркам приема (ДСПП), формирования (ДСПФ)

и отправления (ДСПО) с машинистами маневровых, хозяйственных и вывозных локомотивов, а также машинистов с составителями поездов.

Количество маневровых радиосетей определяется классом станции. Количество стационарных радиостанций определяется числом радиосетей, возимых радиостанций, числом локомотивов; носимых – количеством работников, обеспечивающих технологические процессы в маневровой работе. Как правило, дальность действия в маневровой сети радиостанций РС-РВ составляет 4...6 км, РВ-РН – 1...1,5 км.

Горочная радиосвязь предназначена для оперативного управления горочным технологическим процессом и обеспечивает связь между дежурным по горке (ДСПГ) и машинистами горочных локомотивов, горочными составителями, регулировщиками скорости отцепов. Количество радиосетей определяется количеством горок на сортировочной станции.

Дальность радиосвязи ограничена зоной работы горки и составляет: для радиостанций РС-РВ – 2,8 км, РС-РН – 1,5 км, РВ-РН – 1 км. Горочная сеть строится по принципу групповой связи.

Сети технологических абонентов. Эти абоненты не связаны непосредственно с маневровой работой, но обеспечивают обработку составов и вагонов, а также обслуживание устройств автоматики, телемеханики и связи (СРС-Т) с допустимым временем ожидания связи до 10...20 с.

Радиосеть ПТО (пунктов технического обслуживания вагонов и тормозов) организуется в парках приема и отправления поездов и в парках обработки транзитных поездов. Состав радиосетей определяется объемом технической работы и может включать: радиосети на участковых и грузовых станциях. Дальность действия радиосетей ПТО должна составлять не менее: для радиостанций РС-РН 1,5...2,5 км, для РН-РН – 0,8...1,2 км.

Радиосеть ПКО (пунктов коммерческого осмотра) предназначена для связи оператора ПКО с коммерческими осмотрщиками вагонов и рабочими по устранению брака. Обычно это одна радиосеть на сортировочных станциях. Дальность действия между стационарной и носимой РС составляет 2...3 км, между носимыми радиостанциями – 0,8...1 км.

Радиосеть ОТК (объединенной технической конторы) предназначена для оператора ОТК и списчиков вагонов. Используются на участковых и сортировочных станциях. Дальность действия 3...4 км.

Радиосеть ВОХР (вооруженной охраны) предназначена для связи начальника караула со стрелками охраны. Действует на расстоянии 2...4 км.

Радиосеть ЦСБ (центр службы безопасности) и связи предназначена для связи старшего электромеханика и дежурных постов электрической централизации, а также начальников радиоузлов с мобильными работниками связи.

Сети управления крупных железнодорожных станций и узлов (СРС-У). Основными абонентами этих сетей являются диспетчеры линейных подразделений, руководящие подвижными ремонтными бригадами по обслуживанию и ремонту технических средств. Сети управления допускают ожидания передачи сообщений до 40...60 с. К этим сетям относятся:

радиосети ШЧ, ПЧ, ЭЧ, ТЧ, ВЧД. Все эти сети характеризуются наличием средств подвижной связи: возимых и носимых радиостанций с повышенной дальностью связи до 5...+10 км для РС-РВ и 1,5 км для РВ-РН.

Станционная радиосвязь предназначена для организации служебных переговоров командиров станции с машинистами маневровых и горочных локомотивов, а также с другими работниками, участвующими в технологических процессах на железнодорожной станции.

Принципы организации кругов маневровой, горочной радиосвязи и радиосвязи списчиков вагонов с использованием трехканальных радиостанций показаны на рис. 8.1–8.3, в которых приняты следующие обозначения: СР – стационарные, ЛР – локомотивные, НР – носимые радиостанции.

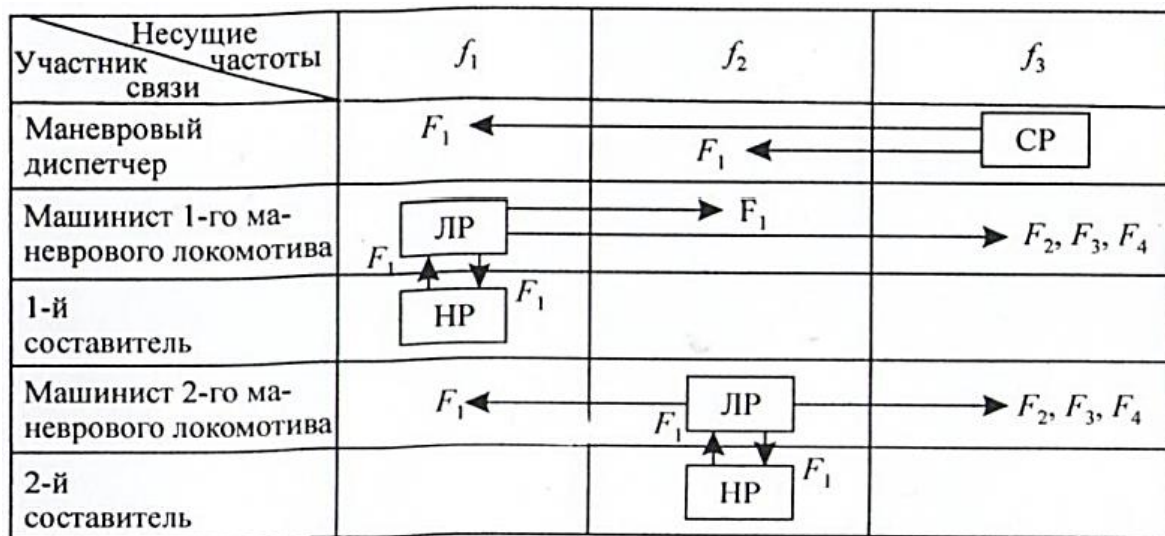


Рис. 8.1. Организация маневровой радиосвязи

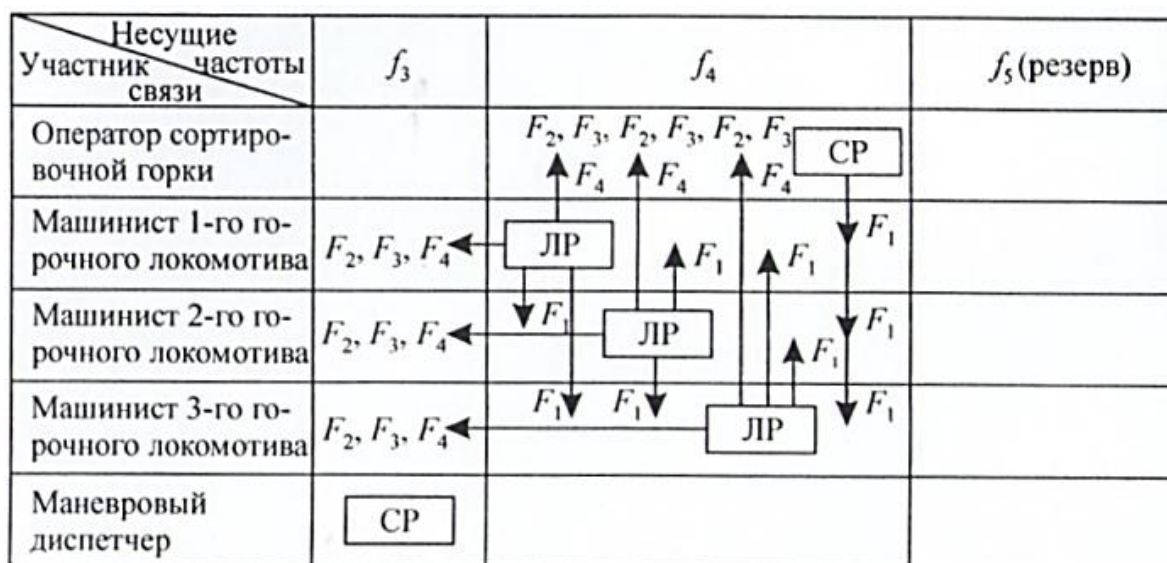


Рис. 8.2. Организация горочной радиосвязи

Несущие частоты Участник связи		f_6	f_7	f_8 (резерв)
1-й парк прибытия	Дежурный технической конторы			
	1-й списчик вагонов			
	2-й списчик вагонов			
2-й парк прибытия	Дежурный технической конторы			
	1-й списчик вагонов			
	2-й списчик вагонов			

Рис. 8.3. Организация радиосвязи списчиков вагонов

В строках таблиц на этих рисунках указано местоположение радиостанций.

Стационарные радиостанции располагаются в служебных помещениях маневрового диспетчера, оператора сортировочной горки и дежурных технических контор.

Локомотивные радиостанции устанавливают в кабинах маневровых и горочных локомотивов. Составители поездов и списчики вагонов получают в свое распоряжение носимые радиостанции.

Столбцы таблиц соответствуют несущим частотам, на которых могут работать радиостанции. Условное изображение радиостанций помещается в столбце, соответствующем несущей частоте, на которой данная радиостанция работает в режиме дежурного приема.

В системе используются вызывные частоты тонального избирательного вызова $F_1 = 1000$ Гц, $F_2 = 700$ Гц, $F_3 = 1400$ Гц, $F_4 = 2100$ Гц.

Смысл графических изображений на примере первой строки табл. 8.2 состоит в следующем. Стационарная радиостанция, установленная в помещении маневрового диспетчера, находится в режиме дежурного приема на несущей частоте f_3 , маневровый диспетчер может вызвать первую (вторую) пару «машинист локомотива – составитель» посылкой вызывного сигнала частотой F_1 на несущей частоте f_1 (f_2).

Кроме того, абонентам двух кругов маневровой радиосвязи (см. рис. 8.1) предоставлены следующие возможности:

– машинисты локомотива могут подключать к стационарной радиостанции диспетчера первый, второй пульта управления или аппаратуру громкоговорящей парковой связи посылкой на несущей частоте f_1 вызывных сигналов частотами соответственно F_2, F_3, F_4 ;

– машинист первого (второго) локомотива путем посылки вызывного сигнала частотой F_1 может вызывать первого (второго) составителя на несущей частоте f_1 (f_2);

– первый (второй) составитель может вызывать машиниста первого (второго) локомотивов посылкой на частоте f_1 (f_2) вызывного сигнала частотой F_1 .

Специфика работы на сортировочной горке, требующая минимального времени соединения оператора с машинистом локомотива, осуществляющего надвиг состава на горку, обуславливает необходимость выделения группового радиоканала между оператором и всеми машинистами горочных локомотивов на общей несущей частоте (см. рис. 8.2, частота f_4). Оператор вызывает машинистов, машинисты друг друга, посылая вызывной сигнал частотой F_1 . Машинисты горочных локомотивов подключают к стационарной радиостанции оператора горки маневрового диспетчера первый и второй пульта управления и аппаратуру громкоговорящей связи посылкой вызывного сигнала частотами соответственно F_2 , F_3 , F_4 на несущей частоте f_4 (f_3).

Радиосвязь дежурных технических контор со списчиками вагонов (см. рис. 8.3) осуществляется на общей частоте (f_6 , f_7) для каждого парка прибытия. Взаимный вызов осуществляется посылкой вызывного сигнала частотой F_1 . Выбор носимых радиостанций производится в зависимости от предполагаемой дальности радиосвязи, помеховой обстановки и других факторов.

На крупных станциях и в узлах организуется радиосеть с равнодоступными каналами СРС-У, обеспечивающая возможность совместной работы диспетчеров различных служб с подвижными абонентами. В радиосети могут работать девять диспетчеров и до 99 мобильных абонентов. Радиосеть СРС-У работает в симплексном режиме с использованием трех несущих частот.

8.2 Сети поездной радиосвязи

Поездная радиосвязь предназначена для служебных переговоров поездного, локомотивного диспетчеров, энергодиспетчеров и дежурных по станциям с машинистами локомотивов. Кроме того, следует обеспечить связь машинистов со службами станций, охраной, депо, с внутripоездными абонентами.

В зависимости от территориального размещения абонентов связи относительно подвижного локомотива поездная радиосвязь подразделяется на два вида: **линейная** и **зонная**, которые могут организовываться в симплексном и дуплексном режимах.

В зависимости от технической оснащенности и размеров движения диспетчерские участки оборудуются системой ПРС, организованной в

диапазонах волн: гектометровом, метровом и дециметровом. Радиосети, организованные в гектометровом и метровом диапазонах волн, работают в симплексном режиме, в дециметровом – в дуплексном режиме.

При оснащении диспетчерских участков однодиапазонными радиостанциями гектометрового диапазона волн линейные и зонные радиосети организуются в одном диапазоне.

Поездная симплексная радиосвязь (ПРС-С) с машинистом локомотива на перегонах осуществляется в диапазоне 1 на частотах 2,13 МГц – для связи с поездным диспетчером и дежурными по станциям и 2,15 МГц – для связи с дежурными по депо и электромеханиками контрольных пунктов на станциях с основными и оборотными депо. Используются стационарные, возимые и распорядительные радиостанции.

Линейные радиосети ПРС-С строятся по радиопроводному принципу с установкой стационарных радиостанций на всех промежуточных пунктах, где имеется постоянное дежурство работников службы движения. Стационарные радиостанции подключаются к специально выделенному проводному каналу связи.

В симплексной ПРС используется групповой взаимно-избирательный вызов, при котором поездной диспетчер или дежурный по станции после послышки вызова должен дополнительно голосом назвать номер вызываемого поезда (локомотива), так как вызывной сигнал принимается всеми радиостанциями, находящимися в пределах действия стационарной радиостанции.

При организации линейных сетей ПРС должны быть выполнены требования ПТЭ: поездная радиосвязь должна обеспечивать непрерывную надежную двустороннюю связь машинистов поездных локомотивов с поездным диспетчером – в пределах диспетчерского участка; с дежурными по станциям – в пределах смежных перегонов; с машинистами других локомотивов, находящихся на одном перегоне. Поэтому расчет высокочастотной части канала линейных сетей ПРС гектометрового диапазона ведется из условия

$$r_1 + r_2 \geq l_{\text{п}} + 3 \text{ км},$$

где r_1 , и r_2 — дальности уверенной радиосвязи между возимой радиостанцией (РВ) и стационарными радиостанциями (РС), ограничивающими перегон;

$l_{\text{п}}$ – длина перегона или расстояние между соседними радиостанциями, км.

Таким образом, машинист может связаться надежно (с перекрытием в 3 км) с необходимыми абонентами через одну из радиостанций, ограничивающих перегон.

Если перегон имеет значительную протяженность, превышающую дальность связи подвижной радиостанции машиниста, устанавливают дополнительные радиостанции на перегоне, имеющие ретрансляционную связь или четырехпроводную связь с ближайшими стационарными радиостанциями.

Поездной диспетчер через распорядительную станцию по проводным каналам связи соединяется с одной из радиостанций диспетчерского круга для переговоров с машинистом движущегося состава. Для линейных радиосетей ПРС-С предусматриваются специально выделенные проводные каналы. При отсутствии такой возможности допускается совмещение проводного канала ПРС-С с каналом ПДС (поездной диспетчерской связи). В качестве выделенного канала связи для ПРС-С могут применяться групповые каналы НЧ или групповые каналы ТЧ, прямые каналы ТЧ для подтягивания и различные их сочетания, построенные на принципах оперативно-технологической связи.

Для диспетчерских пунктов предназначены распорядительные станции СР-34 различных вариантов использования (варианты различаются количеством управляемых стационарных радиостанций, количеством и назначением пультов управления и требованием по обеспечению дистанционного контроля работоспособности стационарных радиостанций).

Требования к проводному каналу радиосети ПРС-С включают в себя требования к аппаратуре линейного канала связи и требования к параметрам линейного тракта. В состав аппаратуры входят: распорядительная станция СР, устройство сопряжения УС-2/4, блоки управления постоянным током – БУП, устройства обхода дуплексных усилителей ОУДУ, вводно-защитные устройства ВЗУ и сами радиостанции.

Аппаратура ПРС-С должна обеспечивать заданное входное сопротивление, затухание асимметрии входа и выхода, среднее значение психофизических шумов не более 0,1 мВ для стационарных радиостанций.

Управление для пупинизированных линий НЧ используется по постоянному току, для непупинизированных линий НЧ – кодовое управление, для каналов ТЧ – тональное управление.

При организации проводного канала радиосети ПРС-С должны использоваться те же принципы построения каналов связи, что и для ОТС. При этом могут использоваться различные сочетания каналов НЧ и ТЧ.

Схема организации проводного канала связи ПРС-С приведена на рис. 8.4.

При использовании канала ПДС станция распорядительная РС-234 должна подключаться параллельно РСДТ диспетчерской связи. При подключении стационарных радиостанций РС-6 к каналам НЧ, организованным по пупинизированным двухпроводным КЛС, управление ими должно осуществляться постоянным током с использованием БУП, подключенным к СР или устройству сопряжения, как показано на рис. 8.5.

При использовании непупинизированных КЛС должно применяться кодовое управление радиостанциями. При этом блоки БУП не применяются.

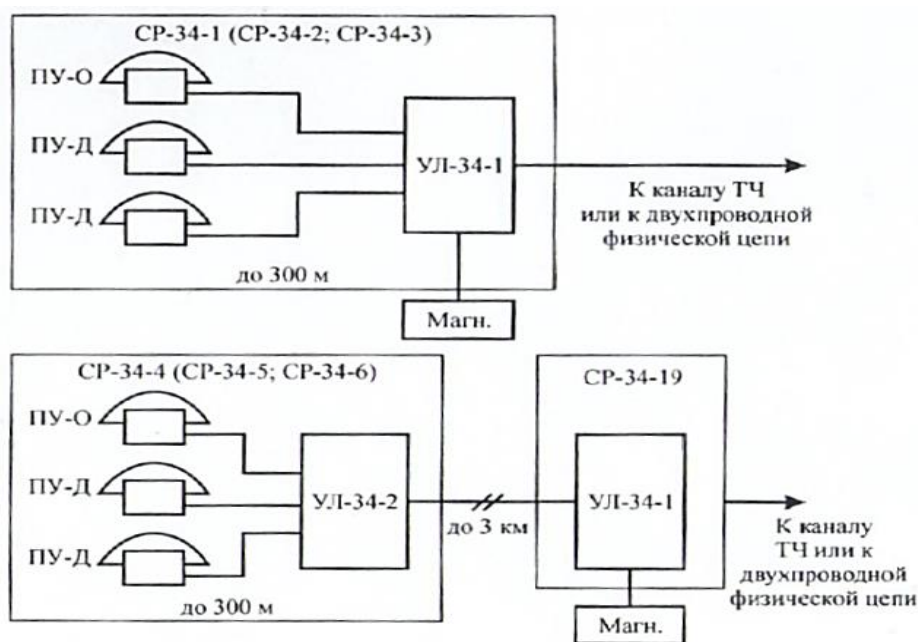


Рис. 8.4. Схема оборудования диспетчерского пункта

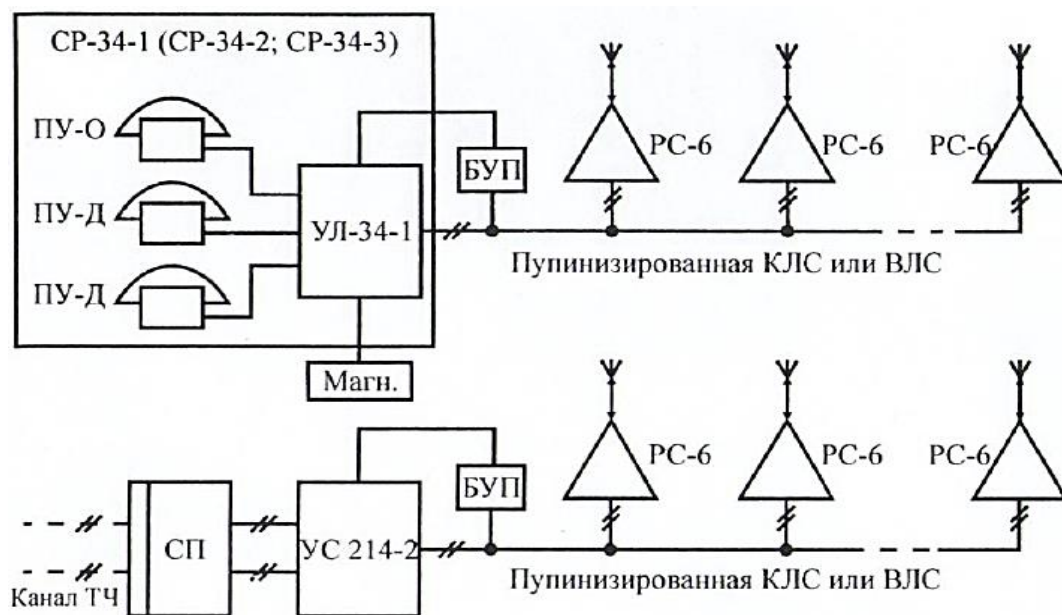


Рис. 8.5. Схема проводного канала связи на пупинизированных КЛС и ВЛС

Проводной канал дуплексной связи радиосети ПРС-Д должен организовываться в соответствии с типовыми структурными схемами, приведенными на рис. 8.6.

Первый вариант (см. рис. 8.6) применяется при четырехпроводных каналах кабельной связи на всем протяжении диспетчерского участка. При невозможности обеспечить проводной канал на диспетчерском участке следует использовать структурные схемы второго и третьего вариантов.

В настоящее время в связи с развитием цифровых сетей с участием системы ДХ-500 используют цифровые каналы передачи сигналов управления.

Радиоволновой участок ПРС-С между стационарными радиостанциями, устанавливаемыми на железнодорожных станциях и, если необходимо, на перегонах, и локомотивными (возимыми) радиостанциями обеспечивается организацией радиопроводного канала на рабочей частоте 2,150 (2,130) МГц.

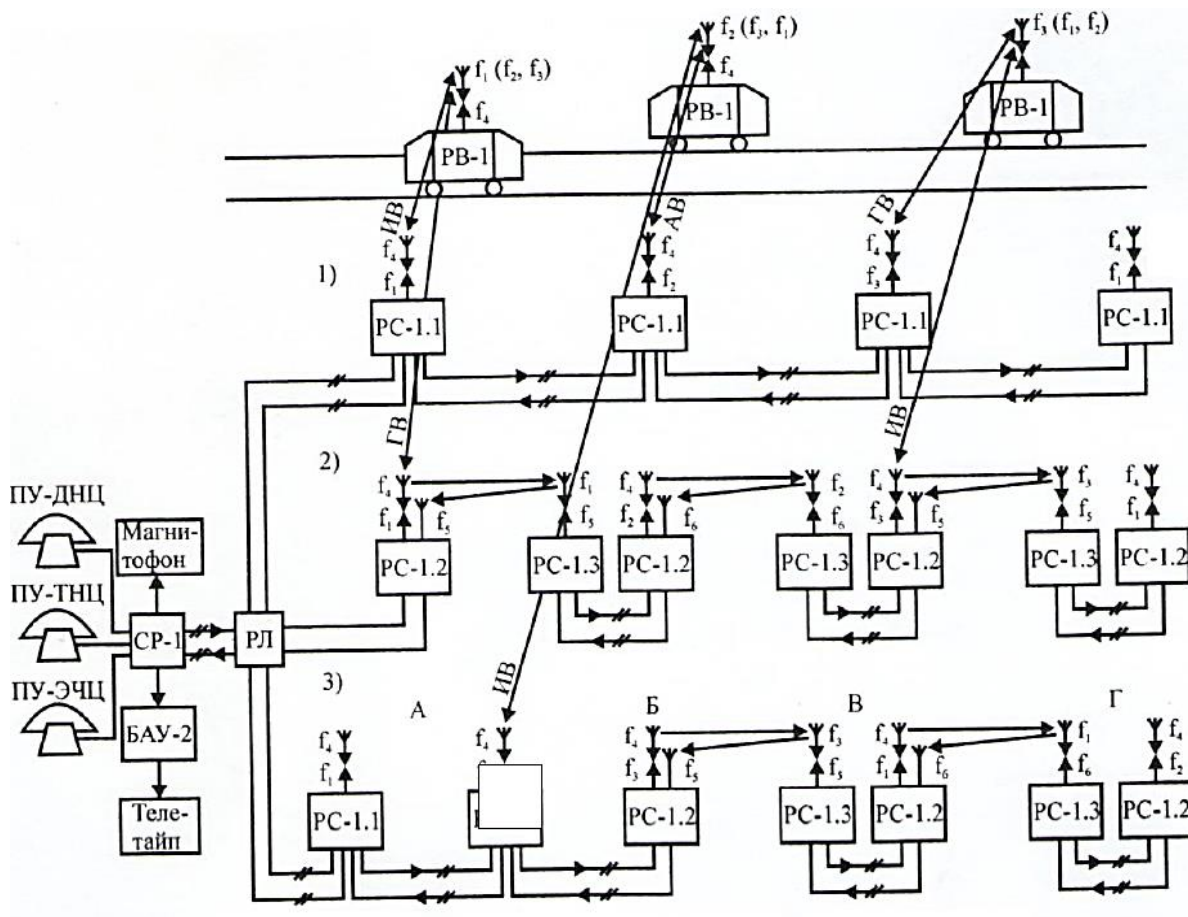


Рис. 8.6. Варианты организации дуплексной радиосети ПРС-Д

Для концентрации электромагнитной энергии вдоль железнодорожного пути используются направляющие «волноводы» – токопроводящие линии, расположенные вдоль пути (обычно их подвешивают на опорах контактной сети) или линий связи СЦБ.

Излучающая антенна длиной $\lambda/4 = 35$ м располагается рядом с горизонтальным проводом-волноводом и возбуждает в нем электрические колебания вдоль этого волновода, который вторично излучает электромагнитную волну. Протяженность волновода желательно иметь на всю длину от одной радиостанции к другой.

Для усиления действия волновода его дублируют таким же проводом, получается двухпроводный волновод. В качестве волновода можно

использовать другие проводящие системы, имеющиеся вдоль пути. Это могут быть воздушные линии связи, электроэнергетические линии небольшой мощности (вспомогательные линии) и т.д.

Подвеску двухпроводного волновода следует предусматривать: в тоннелях длиной свыше 300 м и на перегонах, содержащих несколько тоннелей; в местах высокочастотных обходов тяговых подстанций постоянного и переменного тока; при наличии кабельных вставок на ВЛ; в качестве фидеров на станциях, где запитываемые высоковольтные провода находятся на расстоянии более 300 м от стационарной радиостанции; на участках со сложным рельефом местности, где предусматривается вождение соединенных поездов, а также на перегонах, где требуемая дальность связи не может быть обеспечена при использовании других типов направляющих линий.

Высокочастотное возбуждение однопроводного волновода должно осуществляться по схеме на рис. 8.7. При подвеске волновода на опорах контактной сети заземление возбуждающих проводов должно осуществляться через запирающий контур ЗК-4 (или СК-6) на рельс, в остальных случаях – на отдельный контур заземления.

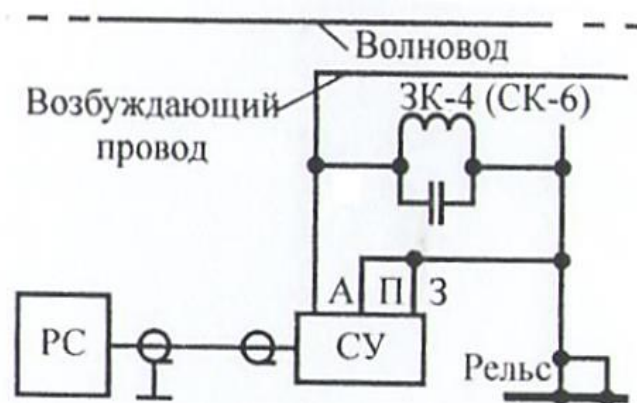


Рис. 8.7. Схема ВЧ возбуждения однопроводного волновода

В местах анкеровки волновода его высокочастотное возбуждение должно выполняться по схеме, приведённой на рис. 8.8.

При этом необходимо, чтобы согласующее устройство СУ находилось со стороны анкеровки, а изолированный конец возбуждающего провода был направлен в сторону, противоположную концу направляющего провода. Длина отрезка волновода $l_x = 0$ или кратна целому числу полу-волн (70 м). Согласованная нагрузка на конце волновода в этом случае не устанавливается.

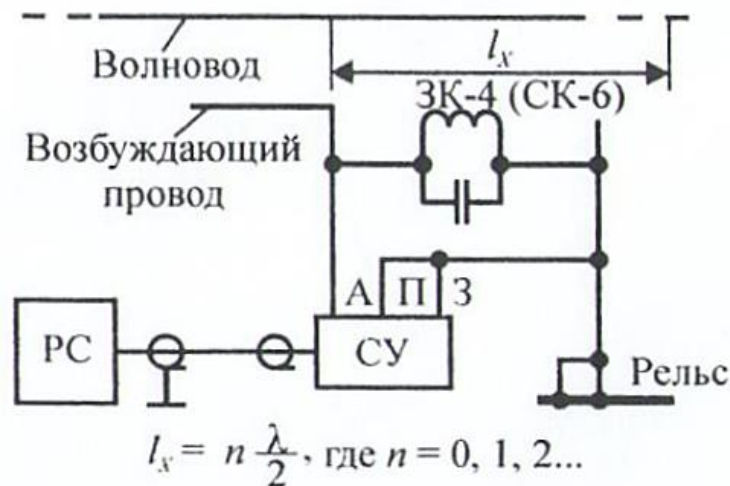


Рис. 8.8. Схема ВЧ возбуждения в местах анкеровки

Возбуждающие провода должны подвешиваться на двух специально установленных опорах, находящихся на расстоянии 37...38 м друг от друга и примерно на одинаковом расстоянии от опор контактной сети. На этих же опорах должны фиксироваться и возбуждаемые токами высокой частоты провода высоковольтных линий.

Для обеспечения электробезопасности каждый из возбуждающих проводов должен быть соединен с заземлением опоры через запирающий контур ЗК-4, если расстояние от тяговой подстанции превышает 5 км, или через согласующий контур СК-6, если это расстояние меньше 5 км. Расстояние между осями контуров, укрепленных на одной траверсе, должно быть не менее 250 мм. Опора, на которой установлены СК-6 (ЗК-4) и СУ, должна иметь глухое двойное присоединение к рельсу.

Во всех схемах возбуждения направляющих проводов, применяемых на участках с электротягой постоянного и переменного тока, оболочки коаксиальных кабелей должны заземляться только у радиостанций, а у согласующих устройств должны быть изолированы, чтобы избежать гальванического влияния, которое может вызвать повреждение кабеля при заземлении его с обеих сторон. Радиостанции должны заземляться на общий контур заземления отдельным проводом.

Направляющая линия в виде специального волноводного провода разбивается на секции (особенно при электрической тяге на переменном токе) для снижения наведенной ЭДС от контактной сети.

В среднем волноводная секция имеет длину 1000...2500 м (при наведенном напряжении на концах в 250 В). Длина секции зависит от тягового тока в контактной сети, характера проводимости почвы, одно- или двухпутного пути, волнового сопротивления между волноводной и контурной сетью, расположением тяговой подстанции и высокочастотной обработкой тяговой сети и электрической системы электровоза. Для тяги на постоянном токе и автономной требования к направляющей системе упрощаются.

Применение высоковольтных линий в качестве направляющих требует дополнительной высокочастотной обработки ввиду низкого сопротивления на радиочастоте силовых трансформаторов питающих подстанций, различных нагрузочных приборов, а также возможного прерывания на разъединителях.

Высокочастотная обработка силовых трансформаторов, подключенных к высоковольтным проводам, предусмотрена при использовании этих проводов в качестве направляющих линий и предназначена для уменьшения утечки токов высокой частоты в местах подключения трансформаторов, а также для снижения уровня радиопомех в высоковольтных проводах, проникающих в них со стороны потребителей электроэнергии.

Наиболее эффективным способом высокочастотной обработки трансформаторов является включение высокочастотных загрядителей в провода отводов в местах их присоединения к высоковольтным проводам.

Схемы включения загрядителей приведены для однофазных (КТПО) и трехфазных (КТПТ) трансформаторов, подключенных к проводам ДПР (рис. 8.9, а), и для трансформаторов, подключенных к проводам ВЛ (рис. 8.9, б).

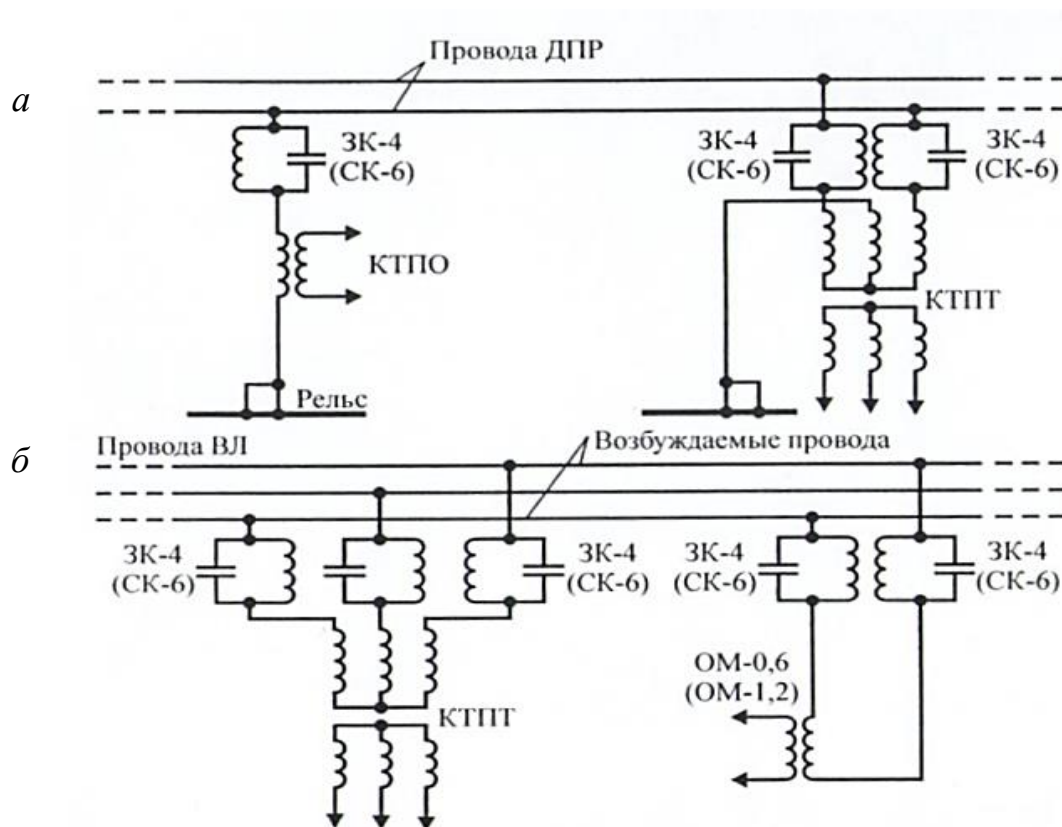


Рис. 8.9. Схема ВЧ обработки силовых трансформаторов

Если длина проводов отводов не превышает 15 м, то высокочастотные загрядители могут включаться непосредственно у силовых трансформаторов.

В качестве высокочастотных заградителей в большинстве случаев могут применяться контуры ЗК-4, но на участках с электротягой переменного тока при расстоянии между силовым трансформатором и ближайшей тяговой подстанцией менее 10 км должны использоваться контуры СК-6.

Для защиты от ВЧ закорачивания служат заградительные фильтры ЗК-4 и запирающие контуры СК-6 (ЗК-4 пропускает рабочий ток до 25 А, СК-6 – до 100 А).

Разделительные конденсаторы (РК) предназначены для секционирования волноводов на участках переменного тока. Кроме того, они применяются в схемах соединения волноводов с высоковольтными линиями, используемыми в качестве направляющих линий ПРС.

Запирающие резисторы (ЗР) применяются для заземления волноводов при их секционировании. Сопротивление блоков ЗР на постоянном токе составляет 750 Ом, а на частотах поездной радиосвязи – не менее 15 кОм.

Согласующие и запирающие контуры (СК-6 и ЗК-4) применяют в качестве высокочастотных заградителей при ВЧ обработке высоковольтных трансформаторов тяговых подстанций и разъединителей, а также в качестве элементов защитных заземлений.

Кроме защиты от высокочастотного короткого замыкания тяговых подстанций необходимо предусмотреть высокочастотный обход электрических разъединителей (высокочастотные перемычки). Высокочастотная перемычка должна иметь малое сопротивление на частоте поездной радиосвязи и большое для токов промышленной частоты.

Полная схема высокочастотного обхода тяговой подстанции для проводов ДПР и ВЛ (рис. 8.10, а) отличается от схемы системы проводов ДПР-ПП (рис. 8.10, б) типом заградителей.

Высокочастотная перемычка может быть любой с низковольтной соединительной линией (см. рис. 8.10, а) или без нее (см. рис. 8.10, б), где все элементы высокочастотной перемычки установлены на одной опоре, до которой продлены высоковольтные провода. Контуры СК-6, включенные между перемычкой и рельсом, настроены в резонанс на частоту поездной радиосвязи и служат для контроля исправности конденсаторов СМ.

При стыковании различных типов направляющих линий присоединение по высокой частоте одно- и двухпроводных волноводов к проводам высоковольтных линий, используемых для передачи сигналов поездной радиосвязи, следует выполнять с применением линейных трансформаторов ЛТ-2, блоков РК и конденсаторов связи СМ, как показано на рис. 8.11.

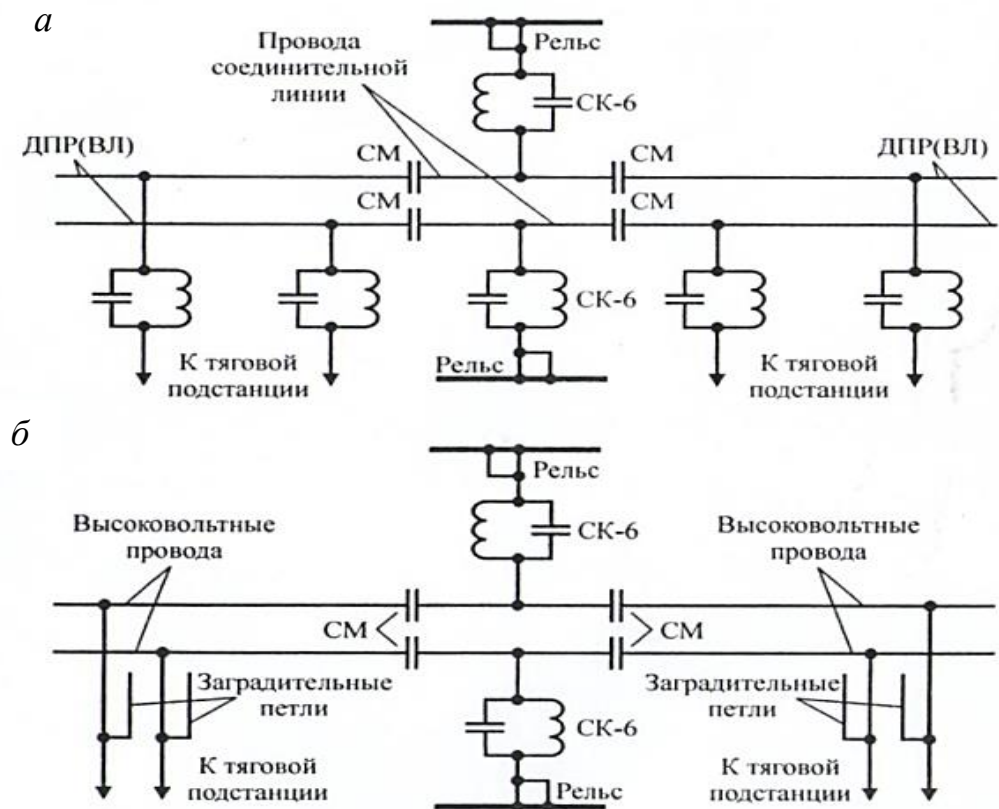


Рис. 8.10. Схема ВЧ обхода тяговой подстанции

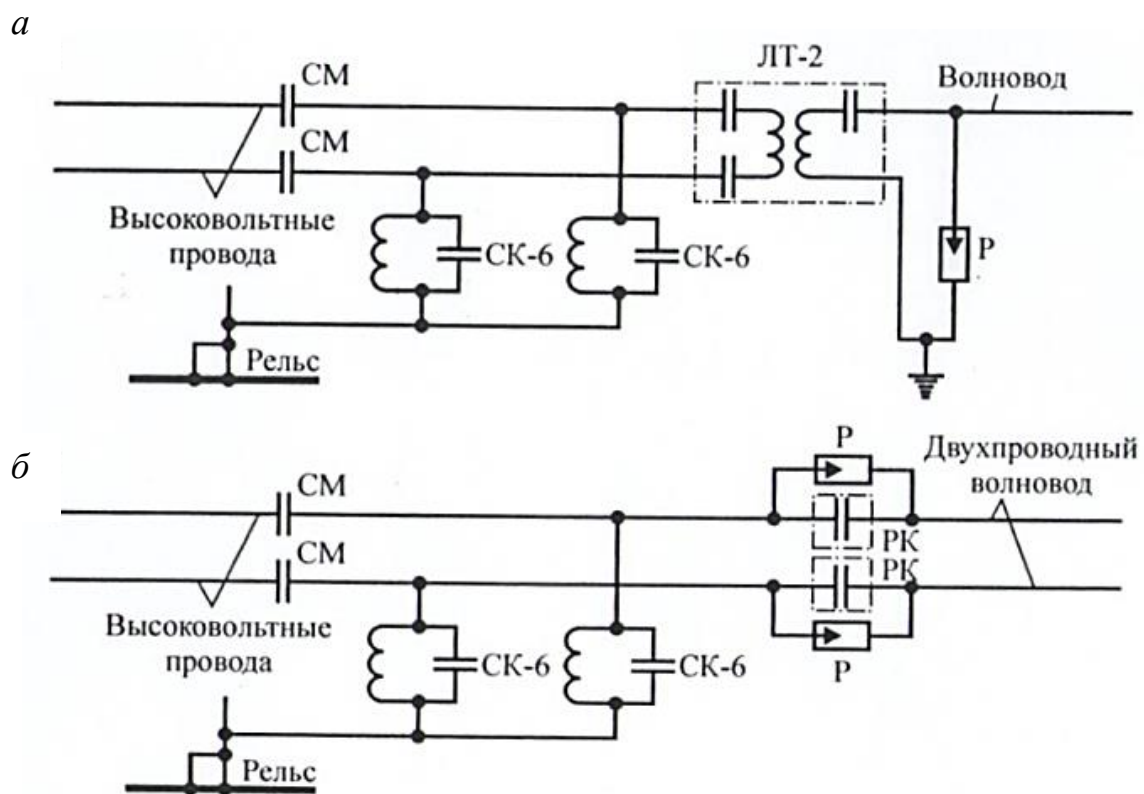


Рис. 8.11. Схемы присоединения однопроводного (*а*) и двухпроводного (*б*) волноводов к высоковольтным проводам

Кроме линейной поездной радиосвязи с использованием направляющих линий, гектометровый диапазон частот используется и для организации зонной радиосвязи на станциях, крупных узлах, на промежуточных пунктах перегонов.

В гектометровом диапазоне частот геометрические размеры локомотивной антенны намного меньше длины волны и могут иметь разные размеры, а следовательно, разные волновые сопротивления.

Стационарные антенны имеют другие особенности, связанные с разными видами направляющих линий, а также ввиду большого расстояния между излучающей системой и радиостанцией требуют дополнительного согласования передающего фидера с выходным каскадом радиостанции, с одной стороны, и с излучающей антенной – с другой.

В состав радиостанций гектометрового диапазона обязательно входит блок АнСУ – антенно-согласующее устройство.

Если со стороны радиостанции фидер достаточно просто согласуется (следует выбрать коаксиальный кабель нужного волнового сопротивления), то со стороны излучающего элемента необходимо пользоваться АнСУ.

При комплексном характере сопротивления антенны требуется скомпенсировать реактивную составляющую и обеспечить равенство активных нагрузок антенны и генератора.

В АнСУ гектометрового диапазона применяются реактивные сопротивления (конденсаторы и катушки индуктивности, колебательные контуры и трансформаторы).

Локомотивные антенны имеют в основном индуктивный характер, и их согласуют по схеме, приведённой рис. 8.12.

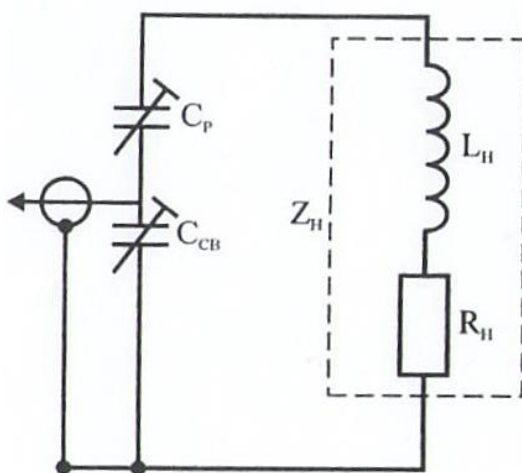


Рис. 8.12. Антенно-согласующее устройство

Конденсаторы C_p и C_{cb} совместно с Z_n образуют параллельный резонансный контур, настроенный на частоту излучения.

Делитель из конденсатора C_p и C_{cb} согласует входное сопротивление антенны. Из этого условия выбирается конденсатор C_{cb} :

$$C_{\text{св}} = \frac{\sqrt{R_{\text{н}}(Z_{\text{ф}} - R_{\text{н}})}}{\omega_0 Z_{\text{ф}} R_{\text{н}}};$$

$$C_{\text{р}} = \frac{1}{\omega_0 [\omega_0 L_{\text{н}} - \sqrt{R_{\text{н}}(Z_{\text{ф}} - R_{\text{н}})}]},$$

где $Z_{\text{ф}}$ – полное сопротивление фидера.

Индуктивное сопротивление антенны компенсируется емкостью конденсаторов $C_{\text{р}}$ и $C_{\text{св}}$. Такое согласование возможно только при соотношении

$$R_{\text{н}} \leq Z_{\text{ф}} \leq R_{\text{н}} + \omega_0^2 L_{\text{н}}^2 R_{\text{н}}^{-1}.$$

Для согласования нагрузок, имеющих емкостный характер, используется схема, приведённая на рис. 8.13.

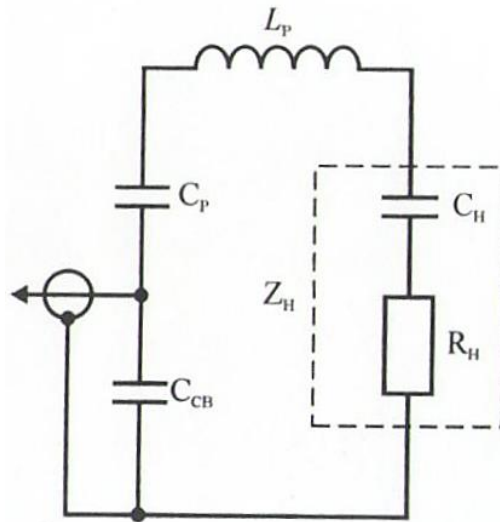


Рис. 8.13. АнСУ для согласования емкостной нагрузки

Последовательно с нагрузкой $Z_{\text{н}}$ включается индуктивность $L_{\text{р}}$, значение которой выбирается такой, чтобы общее сопротивление цепи было индуктивным.

Для согласования цепей с емкостью $C_{\text{н}} < 150$ пФ применяется схема, приведённая на рис. 8.14.

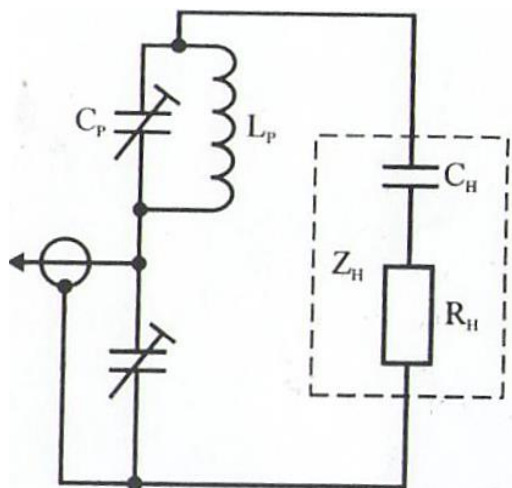


Рис. 8.14. АнСУ для согласования индуктивной нагрузки

Зонная радиосвязь организуется на станциях и крупных узлах. В качестве стационарных антенн применяются Г-образные или Т-образные антенны.

Основные параметры антенн: η_a – КПД, зависящий от высоты установки антенны (H) и коэффициента направленности $D = 1,5$.

Для расчета дальности радиосвязи определяют минимально доступную напряженность поля сигнала $E_{\text{доп}}$ мкВ/м в точке приема и напряженность поля E_a , создаваемой антенной передатчика в зависимости от расстояния между антенной и местом приема.

Допустимая напряженность поля в точке приема зависит от уровня помех и определяется видом тяги подвижного состава.

Напряженность поля антенны передатчика зависит от типа антенны, высоты установки, электропроводимости почвы и др.

Стационарные антенны должны иметь высоту не менее 15 м, а общая длина горизонтальной части и снижения определяется по формуле

$$L_r = 0,25\lambda - 0,5H,$$

где λ – длина волны;

H – высота (длина снижения) подвеса горизонтальной части, м.

В качестве антенного провода должен использоваться антенный канатик, изолируемый от мачт тремя орешковыми изоляторами.

Горизонтальную часть антенн следует располагать вдоль железнодорожного пути. Снижение антенны рекомендуется выполнять на мачте, удаленной от здания. Снижение подключается к антенно-согласующему устройству, которое соединяется с радиостанцией коаксиальным кабелем.

Стационарные антенны должны оборудоваться рабочими заземлениями с сопротивлением не более 10 Ом.

8.3 Сети спутниковой связи

Системы спутниковой связи (ССС) по существу развивают идею радиорелейных линий с тем отличием, что промежуточная станция – ретранслятор размещается на искусственном спутнике Земли (ИСЗ).

Если ИСЗ движется по достаточно высокой орбите, то движение сохраняется длительное время без затрат энергии. Электроснабжение бортового ретранслятора осуществляется от солнечных батарей. С высоколетящего ИСЗ имеется прямая видимость большей части земной поверхности, примерно $1/3$, так что трех ИСЗ достаточно для создания почти глобальной СССР.

В мире существует множество различных международных, региональных и национальных СССР, построенных по разным принципам и использующих разные варианты расположения спутников на орбите. Существует также множество различных национальных систем, обеспечивающих страны возможностью осуществлять обмен информацией со всем миром.

Несколько иная ситуация наблюдается в России. Огромная территория, большое количество труднодоступных и малоосвоенных регионов, слабая инфраструктура и недостаточные экономические возможности страны не позволили пока создать единую национальную СССР, которая давала бы возможность из любой точки России вести обмен информацией со всем миром. Поэтому сегодня актуальна задача разработки и создания такой национальной системы спутниковой связи, которая решала бы проблему обеспечения глобальности связи при допустимых затратах.

Рассмотрим ряд основных определений, используемых в описании СССР.

Космическая связь – радиосвязь, при которой используются космические станции, расположенные на ИСЗ и других космических объектах.

Космическая станция (КС) – станция, расположенная на объекте, находящемся за пределами основной части атмосферы.

Спутниковая связь – связь между ЗС через КС.

Спутниковое вещание – частный случай спутниковой связи, отличающийся однонаправленной передачей радиовещательных программ (телевизионных или звуковых) от передающей ЗС к сети приемных ЗС через КС.

Ствол (транспондер) ЗС, КС – приемопередающий тракт, в котором радиосигналы проходят через общие усилительные элементы системы в выделенной для ствола полосе частот. Число стволов на ИСЗ составляет 6...10, достигая на наиболее мощных 25...50. В зависимости от типа ЗС и назначения СССР возможны фиксированная ФСС, подвижная ПСС, радиовещательная РСС, спутниковые службы.

Зона покрытия – часть поверхности земного шара, в пределах которой создается необходимый для приема на ЗС уровень сигнала, излучаемого ИСЗ, а также обеспечивается необходимый уровень сигнала от ЗС на входе приемника ИСЗ.

Зона обслуживания – часть поверхности земного шара, на которой могут располагаться ЗС данной системы. В отличие от зоны покрытия в пределах зоны обслуживания не только обеспечивается необходимый уровень сигнала на линиях ИСЗ – ЗС и ЗС – ИСЗ, но и соблюдаются необходимые защитные соотношения по отношению к мешающим сигналам других систем (зона обслуживания никогда не выходит за пределы зоны покрытия).

Многостанционный доступ (МД) является принципиальной особенностью ССС и представляет собой метод передачи, при котором сигналы от нескольких ЗС принимаются и ретранслируются общим приемопередающим стволом бортового ретранслятора. МД применяется потому, что обычно невозможно и нецелесообразно разместить на ИСЗ столько стволоретрансляторов, чтобы сигнал каждой ЗС усиливался отдельным стволом.

Принципиальной особенностью прохождения сигналов по линиям ССС является запаздывание сигнала на 300 мс из-за большой длины трассы распространения ЗС – КС – ЗС (до 80 000 км). Для каналов вещания или передачи изображений газетных полос это не имеет значения, но для каналов ТЧ задержка затрудняет контакт между абонентами; кроме того, запаздывание делает более заметными на слух *эхосигналы*, возникающие во всех линиях связи из-за неидеального согласования с нагрузкой.

Орбита – траектория движения ИСЗ. Наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора характеризуется углом между этими плоскостями (рис. 8.15).

Различают *экваториальные* $i = 0$, *полярные* $i = 90^\circ$, *наклонные* $0 < i < 90^\circ$ орбиты.

Подспутниковая точка – точка пересечения с поверхностью Земли радиуса-вектора, проведенного в данную точку орбиты из центра Земли (точка С на рис. 8.16).



Рис. 8.15. Плоскости орбит спутника

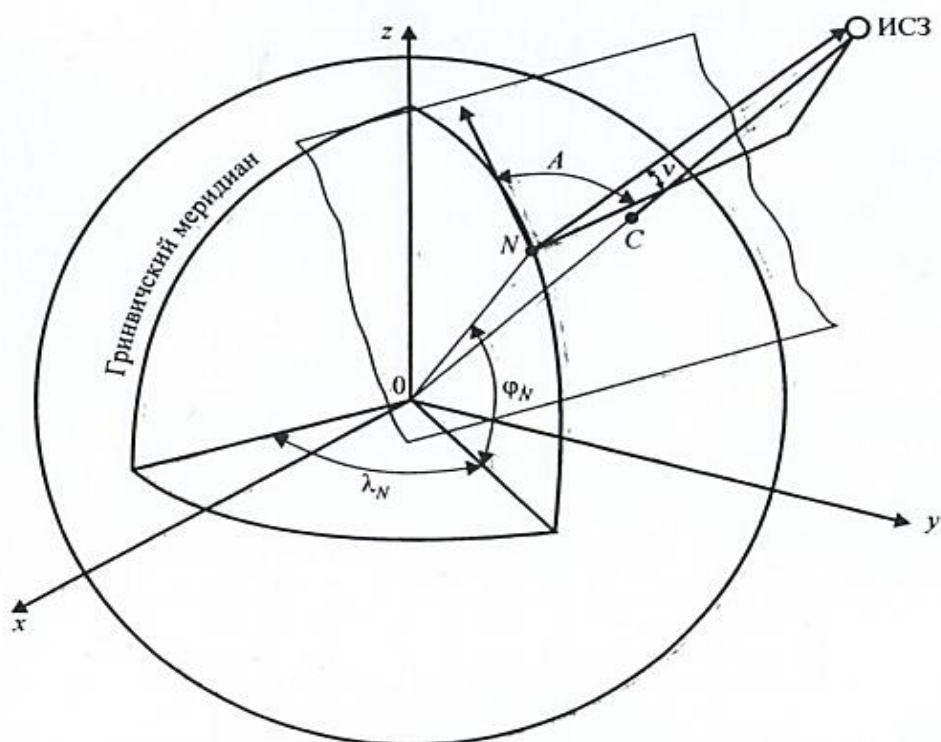


Рис. 8.16. Подспутниковая точка орбиты

Долгота подспутниковой точки при размещении ИСЗ в апогее называется **долготой апогея** и характеризует сдвиг большой оси орбиты относительно начального меридиана.

Из подспутниковой точки C виден ИСЗ точно в зените, т.е. ось луча антенны ЗС при наведении на ИСЗ должна быть перпендикулярна поверхности Земли.

В любой другой точке N земной поверхности положение луча антенны ЗС характеризуется **азимутом** A и **углом места** V .

Азимут – угол между направлением на север и проекцией направления на ИСЗ на касательную плоскость.

Угол места – угол между направлением на ИСЗ и проекцией этого направления на касательную плоскость.

Долгота точки N – угол λ_N между плоскостью Гринвичского меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через N .

Широта точки N – угол φ_N между радиусом ON и плоскостью экватора.

Период обращения – время между двумя последовательными прохождением ИСЗ через одну и ту же точку орбиты.

Синхронные орбиты – орбиты с периодом обращения, кратным времени оборота Земли вокруг своей оси (звездным суткам, 23 ч 56 мин 04 с). Геостационарная орбита (ГО) не только соответствует периоду обращения, равному длительности звездных суток, но является круговой и экваториальной ($i = 0$), ИСЗ движется с запада на восток.

Геостационарный ИСЗ неподвижен относительно поверхности Земли; он как бы висит над некоторой точкой поверхности Земли (расположенной на экваторе и имеющей постоянную долготу) на высоте 35 875 км от поверхности Земли, которая соответствует периоду обращения 24 ч.

Эффект Доплера – изменение частоты принимаемого сигнала из-за взаимного перемещения передатчика и приемника. На бысродвижущихся ИСЗ доплеровский сдвиг может достигать большой величины на отдельных участках орбиты. Так, на отдельных участках орбиты ИСЗ «Молния» он составляет 0,002. Доплеровский эффект вызывает нестабильность несущей и изменение разности между несущей и боковыми полосами частот.

Эффекты затенения ИСЗ и «засветки» антенн ЗС. Двигаясь по ГО, ИСЗ может оказаться в тени Земли, что приведет к прекращению работы солнечных батарей, прекращению работы ретранслятора (при отсутствии громоздких аккумуляторных батарей) и резкому изменению теплового режима ИСЗ. Расчеты показали, что период проявления затенений около 1,5 месяца (дважды в год); длительность ежесуточного непрерывного затенения достигает максимального значения 79 мин в дни равноденствия, снижаясь до нуля к началу и концу указанного выше периода.

Системы спутниковой связи используют орбиты с разными типами.

Геостационарные ССС. Как было отмечено выше, геостационарный ИСЗ неподвижен относительно поверхности Земли; он как бы висит над некоторой точкой поверхности Земли (расположенной на экваторе и имеющей постоянную долготу), что определяет следующие преимущества:

- обеспечивается непрерывность связи;
- сеанс связи становится круглосуточным;
- антенны ЗС могут после первоначальной установки оставаться почти или полностью неподвижными, что значительно упрощает их конструкцию.

ССС на эллиптических орбитах. При движении по эллиптической орбите ИСЗ «зависает» над выбранной зоной на длительное время.

Так, спутник «Молния» с периодом обращения 12 ч, находясь в зоне апогея на протяжении 8 ч имеет угол склонения над Европой более 50°, а спутник «Тундра» с периодом обращения 24 ч и более вытянутой орбитой – на протяжении 12 ч.

Недостатком является то, что для перекрытия определенной территории в течение активного периода ретрансляции угол луча антенны должен меняться. Существенным является и доплеровское смещение. Оно достигает 10 кГц в фидерной линии и 14 кГц в линии связи с мобильной станцией, что приводит к необходимости установки системы слежения за ИСЗ на ЗС.

Применение высокоэллиптической орбиты с углом наклона 63,4° и периодом обращения около 12 ч (спутник «Молния») позволяет обслуживать территорию России, включая приполярные районы, и обеспечивает длительность сеансов не менее 8 ч, так что для круглосуточной работы достаточно трёх ИСЗ на орбите.

Низкоорбитальные ССС. Реализация таких систем становится возможной по мере совершенствования технологий бортовых электронных комплексов и вычислительных средств, а также технологий создания малогабаритных станций.

Низкоорбитальные ССС строятся с ИСЗ на орбитах с высотой до 1000 км и с периодом обращения 1,5...2 ч. В них может использоваться одиночная космическая станция или ретрансляторы на множестве ИСЗ, функционирующих как единая коммутационная среда с коммутацией каналов и пакетов.

Достоинствами низкоорбитальных ССС по сравнению с ССС на ГО являются: глобальный характер обслуживания, более чем в 10 раз меньшие мощности (из-за этого более простые антенные и портативные дешевые приемопередающие абонентские устройства), возможность предоставления пользователю значительно больших ресурсов для передачи длинных сообщений при относительно невысокой стоимости системы в целом.

Рассмотрим принципы построения систем спутниковой связи железнодорожного транспорта. В различных вариантах построения систем спутниковой связи федерального железнодорожного транспорта используется система спутниковой связи «Экспресс», включающая 13 спутников на геостационарной орбите с координатами подспутниковых точек 11°, 14°, 155° западной долготы и 37,5°, 40°, 53°, 80°, 90°, 96,5°, 99°, 103°, 140°, 145° восточной долготы. Зона покрытия системы «Экспресс» показана на рис. 8.17.

Вариант организации системы спутниковой связи транспорта (шифр «Сириус»). Основу составляют радиоканалы диапазона 4/6 ГГц, образуемые ЗС через КА «Экспресс» на ГО. Предусмотрена аренда частотного ресурса ствола или части ствола КА в точке стояния на ГО, с которой обеспечивается максимальная видимость территории обслуживания железнодорожного транспорта: 80°, 90°, 96,5° восточной долготы (см. рис. 8.17).

Для целей многоканальной телефонии выделяются три ствола ретранслятора КА по результатам анализа реальной загрузки стволов в указанных точках стояния. Для обеспечения связи ЗС между собой может быть организована ретрансляция сигналов через стволы разных КА.

При организации ССС «Сириус» приняты следующие меры повышения ее эффективности:

- объединение одиночных каналов передачи различных видов сообщений в общий пучок («групповой поток»), формируемый на центральном ЦУСС или дорожном ДУСС узле ССС;
- организация групповых потоков различной емкости;
- одновременное использование закрепленных и незакрепленных по частоте и во временных позициях одиночных и групповых потоков;
- применение однонаправленных и многонаправленных симплексных групповых потоков в различных сочетаниях для организации дуплексных каналов связи;

- осуществление режима незакрепленных каналов внутри общего полnodоступного группового потока;
- использование для уплотнения статистики пауз речевого сигнала.

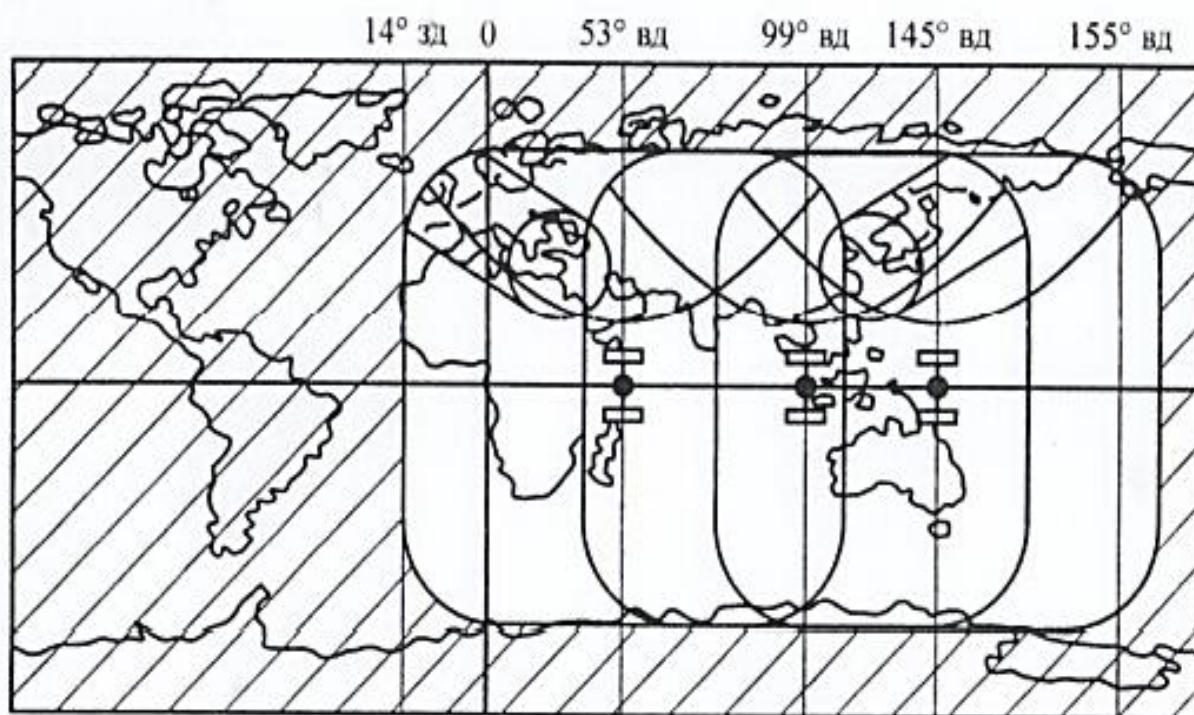


Рис. 8.17. Зона покрытия системы «Экспресс»

Связь в ССС «Сириус» организуется по иерархическому радиально-узловому принципу, а также по принципу «каждый с каждым» на уровне всех станций в системе. При этом используются мультиплексированные потоки трех типов:

- высокоскоростные 2,048 /4,096 Мбит/с от ЦУСС на ДУСС;
- среднескоростные 256 кбит/с от ДУСС к ЦУСС, от ДУСС к ЦУСС и между ДУСС;
- низкоскоростные 16 кбит/с от отделенческого узла спутниковой связи ОУСС к ДУСС и между станциями сети в режиме «каждый с каждым».

Управление в ССС осуществляется автоматизированной системой управления АСУСС и строится по иерархическому принципу с тремя уровнями:

- управление в радиальной сети и системой в целом, осуществляемое **центральный комплекс управления (ЦКУ)** на ЦУСС;
- управление в узловых сетях, осуществляемое **унифицируемыми комплексами управления (УКУ)** на ДУСС;
- управление работой аппаратуры ЗС.

Аппаратно-программные средства АСУСС размещаются на каждом узле ССС.

ЦКУ осуществляет взаимодействие с Центральной станцией связи

МПС, государственной сетью связи и организует работу системы до уровня узловых и, при необходимости, конечных станций.

УКУ осуществляет взаимодействие с центром управления связью и информационными центрами Управлений железных дорог и организует (планирует) работу спутниковой узловой сети, согласуя ее с планом ЦУСС.

По регламенту радиосвязи спутниковую связь подразделяют на: **фиксированную службу связи (ФСС), подвижную (ПСС) и радиовещательную (РСС).**

Рассмотренная выше фиксированная служба связи предназначена для организации связи между стационарными пользователями.

Подвижная спутниковая служба первоначально планировалась для связи транспортных средств. В настоящее время идет переориентация ПСС на обеспечение услуг персональной связи.

Радиовещательная спутниковая служба предназначена для передачи телевизионных и радиовещательных программ. Для ПСС характерна и новая услуга – определение местоположения подвижных абонентов, необходимая для сопровождения транспортных перевозок.

Рассмотрим систему спутниковой связи на примере системы VSAT, установленной в Ленинградской области.

VSAT является полносвязной спутниковой системой связи, содержащей терминалы, которые могут быть стационарными или транспортируемыми, обслуживаемыми и необслуживаемыми; станцию управления доступом (*ACS – Access Control Station*), выполняющую функции управления и координации; космический сегмент, организованный на базе спутника LMI в KU-диапазоне.

С точки зрения сигнализации VSAT представляет собой звездообразную сеть с ACS в центре звезды. С точки зрения передаваемого трафика VSAT является полносвязной сетью. Кроме того, группу терминалов можно организовать в виде звездообразной сети, где потоки трафика переносятся между малыми терминалами и большим терминалом, располагающимся в центре звезды. Полная схема сети представлена на рис 8.18.

Центральная станция системы оборудована антенной диаметром 6...7 м (рис. 8.19), радиочастотным и каналобразующим оборудованием фирмы «NERA» и располагается в Ленинградской области. Обеспечивает передачу информации в 20 направлениях связи со скоростью от 64 до 2048 кбит/с в каждом направлении в режиме DAMA или PAMA, а также передачу и прием телевизионной информации в формате MPEG-2 со скоростью от 1,5 до 10 Мбит/с.

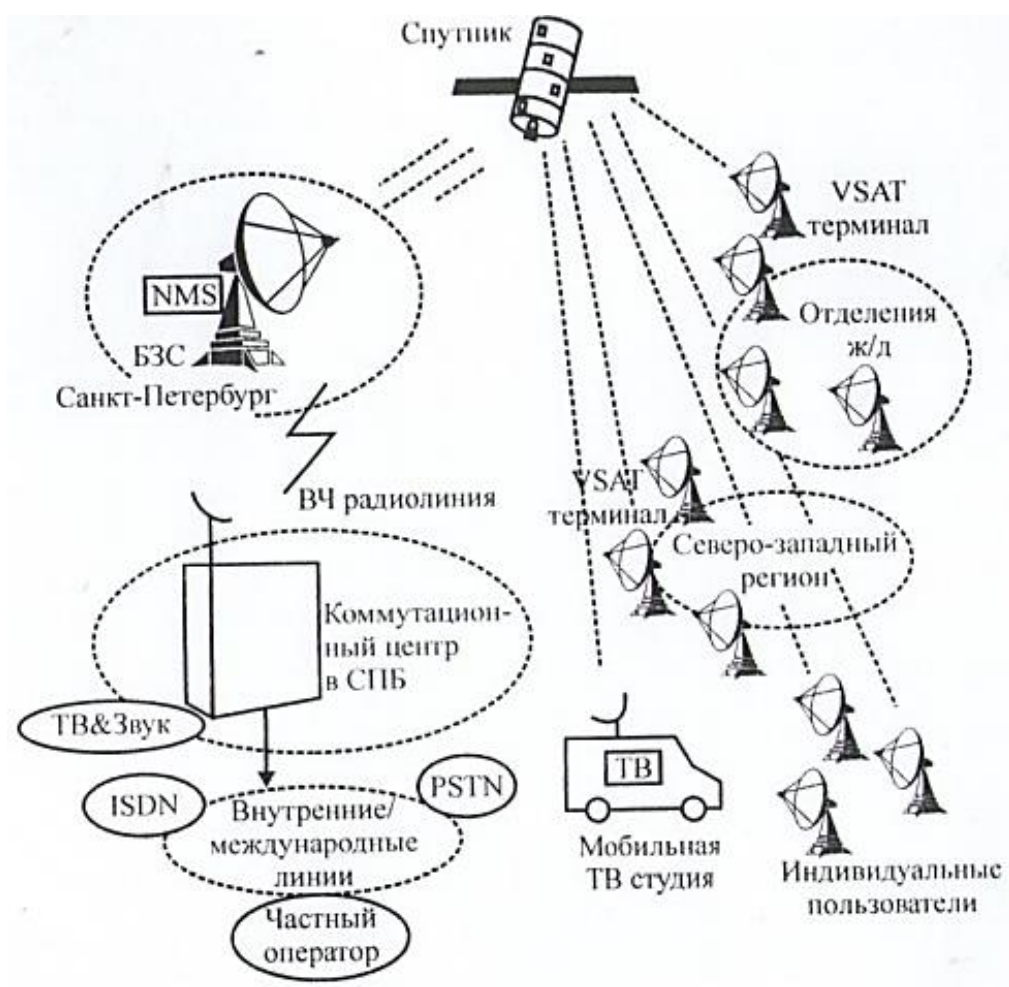


Рис. 8.18. Спутниковая связь



Рис. 8.19. Антенна центральной станции

Узловые (региональные) станции системы оборудуются антеннами диаметром 3,7 м (рис. 8.20), радиочастотным и каналообразующим оборудованием фирмы «NERA» и обеспечивают передачу информации в четырех направлениях связи со скоростью от 64 до 2048 кбит/с в каждом направлении в режиме DAMA или PAMA, а также передачу и прием телевизионной информации в формате MPEG-2 со скоростью от 1,5 до 8 Мбит/с.

Места расположения узловых станций: Москва, Калининград, Мурманск, Астрахань, Ярославль, Нижний Новгород, Новороссийск, Воронеж, Ростов-на-Дону, Саратов, Самара, Екатеринбург, Челябинск, Красноярск, Иркутск, Чита, Владивосток, Хабаровск, Южно-Сахалинск, Новосибирск.



Рис. 8.20. Антенна узловой станции ССС

Абонентские станции системы оборудованы антеннами диаметром 2,4 м (при необходимости – 3,7 м), будут установлены в районах крупных железнодорожных узлов.

Узловая станция спутниковой связи VSAT-NL состоит из радиочастотной, трафиковой подсистем и антенной системы. Структурная схема трафиковой подсистемы узловой станции связи приведена на рис. 8.21.

Радиочастотная подсистема состоит из повышающего конвертора, усилителя мощности, малошумящего усилителя и конвертора. Структурная схема радиочастотной подсистемы приведена на рис. 8.22.

Радиочастотная подсистема представляет собой типичную ВЧ подсистему K_u -диапазона, которая передает и принимает диапазоны частот, установленные распределениями полосы для VSAT системы.

Антенное разветвляющее устройство, которое объединяет передаваемый и принимаемый сигналы в антенне, установлено на антенне.

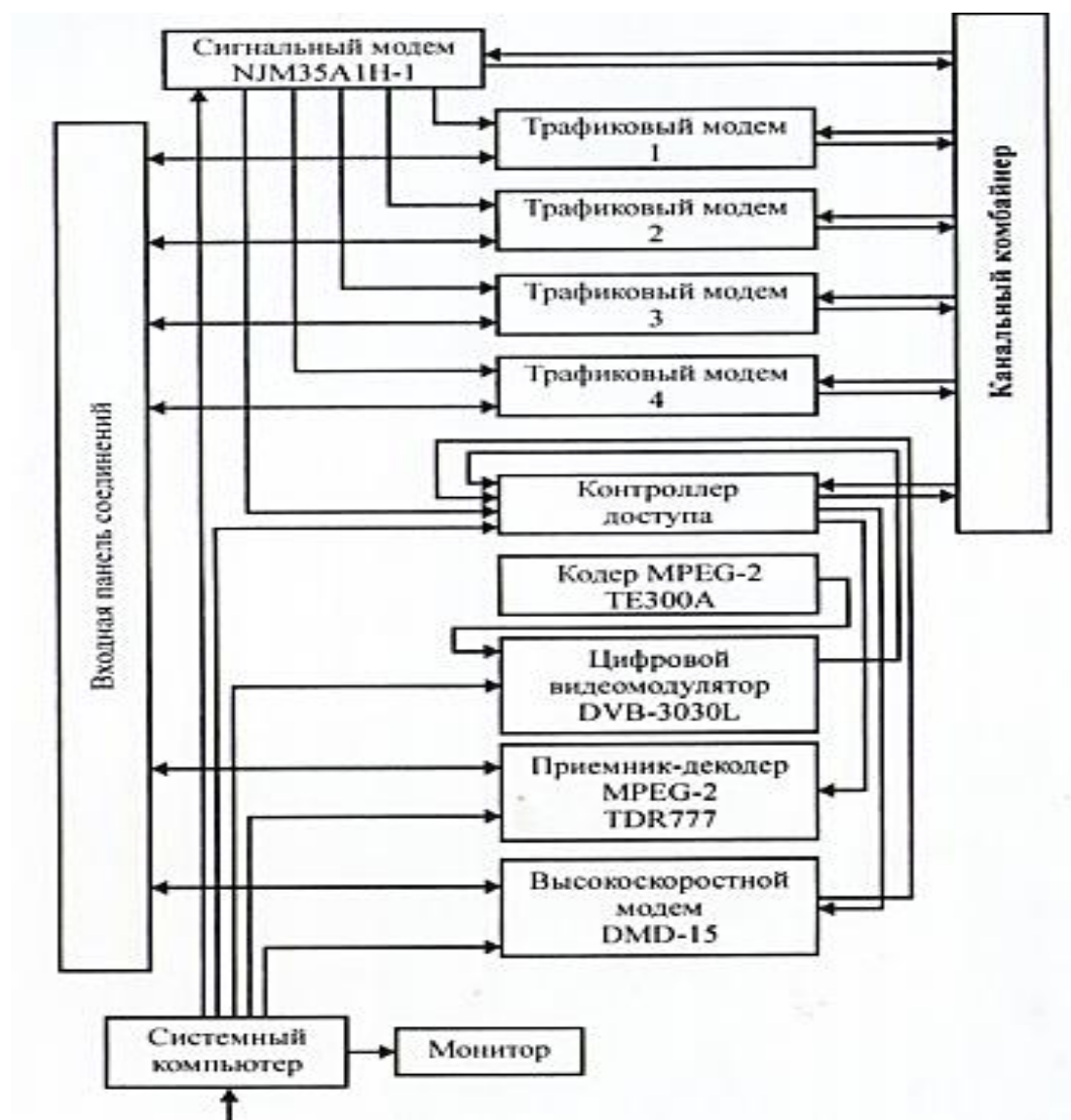


Рис. 8.21. Структурная схема трафиковой подсистемы



Рис. 8.22. Структурная схема радиочастотной подсистемы

Повышающий конвертор повышает диапазон ПЧ 950...1450 МГц до С- или К_u-диапазона для передачи. Структурная схема повышающего конвертора приведена на рис. 8.23.



Рис. 8.23. Структурная схема повышающего конвертора

Усилитель мощности вместе с антенной станции определяют мощность, которую станция может передать к спутнику, выраженную как эффективная изотропная мощность излучения (ЭИМИ).

Емкость связи определяет минимум ЭИМИ в канале, который является необходимым для надежной связи. Чем больше количество каналов, которые станция может одновременно передать, тем большая мощность необходима, чтобы обеспечить минимум ЭИМИ в канале. Следовательно, центральная станция, которая может передать разветвляющее устройство, которое объединяет передаваемый и принимаемый сигналы в антенне, установлено на антенне.

Малошумящий усилитель и конвертор понижают диапазон частот С- или К_u-диапазона до диапазона промежуточных частот 950...1450 МГц. В качестве гетеродина в конверторе применяется кварцевый генератор с фазовой автоподстройкой частоты.

Модемная подсистема трафиковой подсистемы узловой станции связи состоит из сигнального и четырех трафиковых модемов и контроллера доступа. Сигнальный модем отвечает за внутреннюю сигнализацию сети. Он передает на центральную станцию пакеты с запросами на вызовы станции VSAT и «слушает» TDM/TDMA QPSK модулированный канал, по которому передается ответ центральной станции.

Передача осуществляется по общему каналу сигнализации, т.е. по каналу TDMA. Скорость передачи этого канала 45,51 кбит/с (прямое исправление ошибок не применяется), используется модуляция BPSK.

Сообщения радиовещательного канала (передаваемые только станцией управления доступом) принимаются по каналу TDM со скоростью 68,27 кбит/с с уровнем исправления 3/4. Канал использует схему кодирования речи согласно протоколу V.35 МСЭ.

Процессор DAMA распознает сигналы, предназначенные для этой станции VSAT, и соответственно запускает нужный модем. Этот модем также осуществляет автоматическую подстройку частоты. Один модем M35 может управлять семью многоскоростными модемами трафика M36. Структурная схема сигнального модема M35 приведена на рис. 8.24.



Рис. 8.24. Структурная схема сигнального модема

Контрольный процессор состоит из мультиплексора/демультиплексора, адаптера интерфейса и устройства контроля станции.

Процессор DAMA передает до ЦС вызов по требованию, принимает от ЦС свободное распределение каналов и осуществляет связь между блоками.

В блоке контроля базовой полосы осуществляется исправление ошибок кодирование/декодирование и скремблирование/дескремблирование.

Трафиковый модем M36 является основой инфраструктуры каналов связи сети VSAT. Он контролируется сигнальным модемом M35. При каждом сеансе связи можно реализовать следующие скорости соединения $N \times 64$ кбит/с, где $N = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30$.

Модем может передавать и принимать симплексные, дуплексные, асимметричные и симметричные каналы. Это значит, что он может быть использован для реализации мультиплексных соединений «точка – несколько точек». Модем осуществляет связь в режиме один канал на несущую, таким образом он занимает две частоты спутникового транспондера: одну для передачи, вторую для приема. Ширина полосы передачи 500 МГц, приема – 800 МГц (вся ширина частотной полосы спутника LMI-1).

Сетевой терминал трафикового модема содержит адаптер интерфейса и мультиплексор/демультиплексор. Сигнальный процессор производит исправление ошибок и операции скремблирования/дескремблирования. В приемном и передающем тюнерах происходит демодуляция/модуляция сигналов и выбор канала.

Контроллер доступа K46 используется в высокоскоростных подсистемах трафика для объединения и разделения сигналов различных источников.

Широкополосная модемная подсистема трафиковой подсистемы состоит из кодера/декодера MPEG-2, цифрового видеомодулятора и высокоскоростного модема.

Кодер MPEG-2 TE-300A предназначен для компрессии входного аналогового телевизионного сигнала. Модуль поддерживает сжатые телевизионные пакеты от 1 до 15 Мбит/с и сжатые аудиопакеты от 32 до 348 кбит/с.

Приемник/декодер телевизионного сигнала формата MPEG-2 TDR777 позволяет получать на своем выходе телевизионный сигнал в стандарте NTSC или PAL и аудиосигнал в аналоговой форме.

Приемник/декодер позволяет получить видеоизображение профессионального качества и четырехканальный звук. Возможно применять переменные скорости компрессированного видео-, аудиосигнала и различные частоты дискретизации аудиосигнала. Данный блок предназначен для работы в паре с кодером TE-300A.

Высокоскоростной модем DMD15 предназначен для модуляции/демодуляции данных пользователя со скоростью передачи данных до 8,44 Мбит/с. Входной интерфейс модема поддерживает стандарты V.35 и RS422/449. Возможно применение избыточного кодирования. Структурная схема модема приведена на рис. 8.25.



Рис. 8.25. Структурная схема модема

В составе узловой станции применяется двухзеркальная антенна типа Грегори диаметром 3,7 м. Усиление на фланце волновода облучателя производится на частотах приема 51...52,3 дБ, на частотах передачи 53,1...53,4 дБ. Поляризация линейная, ширина диаграммы по уровню 3 дБ не более 0,42°.

Угломестно-азимутальная опора антенны позволяет производить наведение от горизонта до горизонта в любой точке мира. Антенна оборудована антиобледенительной системой с датчиком дождя/снега.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 **Кудряшов, В. А.** Транспортная связь : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / В. А. Кудряшов, А. Д. Моченов ; под редакцией В. А. Кудряшова. – Москва : Маршрут, 2005. – 292 с. – ISBN 5-89035-2997.
- 2 **Зиновьев, А. Л.** Введение в специальность радиоинженера : учебное пособие / А. Л. Зиновьев, Л. А. Филиппов. – Москва : Высшая школа, 1983. – 176 с.
- 3 **Лосев, А. К.** Введение в специальность «Радиотехника» : учебное пособие / А. К. Лосев. – Москва : Высшая школа, 1980. – 240 с.
- 4 **Дурнев, В. Г.** Основы построения систем передачи ЕАСС. / В. Г. Дурнев, В. Д. Стандрик. – Москва : Радио и связь, 1985. – 208 с.
- 5 **Романов, В. В.** Системы и сети электросвязи / В. В. Романов, В. П. Кубанов. – Москва : Радио и связь, 1987. – 292 с.
- 6 **Тихвинский, В. О.** Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – Москва : Эко-Трендз, 2010. – 283 с. – ISBN 978-5-88405-094-5.
- 7 **Кульбикаян, Х. Ш.** Современные технологии беспроводных телекоммуникационных систем и сетей / Х. Ш. Кульбикаян, Б. Х. Кульбикаян, А. В. Шандыбин ; под редакцией Х. Ш. Кульбикаяна ; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2017. – 176 с.

Учебное издание

**Кульбикаян Хачерес Шагенович
Костоглотов Андрей Александрович
Шандыбин Алексей Викторович**

ОСНОВЫ ТРАНСПОРТНОЙ СВЯЗИ

Редактор Т. В. Бродская
Корректор Т. В. Бродская

Подписано в печать 04.10.2022. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 12,78. Тираж экз. Изд. № 18. Заказ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Адрес университета:
344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2, www.rgups.ru