Лекция 3.
СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ.

3.1 Общие сведения

В нашей стране большая часть средств электросвязи объединяется в Единую автоматизированную сеть связи (ЕАСС). В рамках ЕАСС выделены из общей сети совокупность линий передачи (каналов связи) и так называемых сетевых узлов и сетевых станций, образующих сеть каналов связи (см. рис.3.1).Эта сеть, являющаяся своеобразным “скелетом” общей сети, получила название **первичной сети.** Первичная сеть по территориальному признаку подразделяется на магистральную, внутризоновую и местные первичные сети.

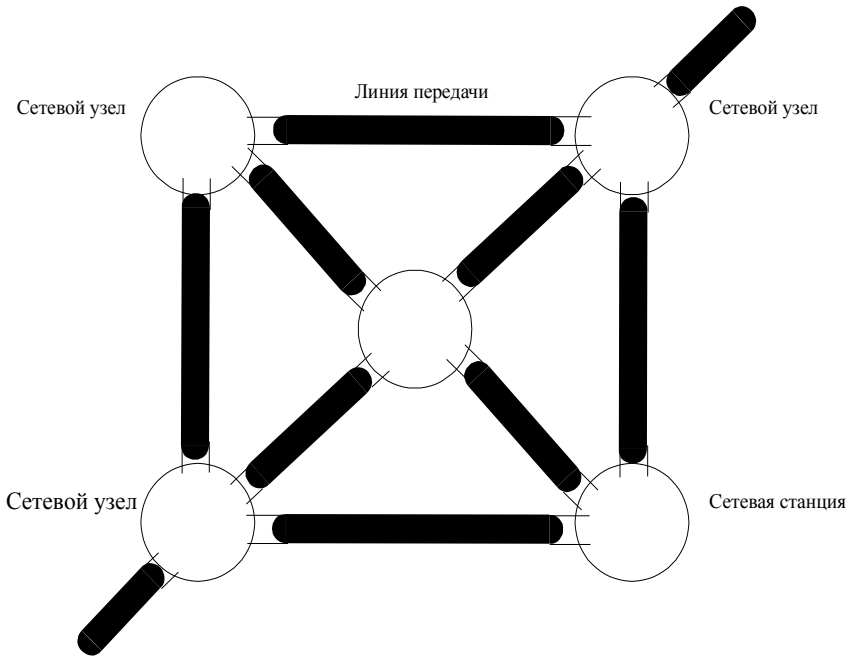

Рис. 3.1. Первичная сеть связи

Магистральная сеть соединяет каналами различных типов все областные и республиканские центры;

Внутризоновая сеть соединяет различными каналами районные центры области, края друг с другом и с областным центром;

Местная сеть ограничена территорией города или сельского района.

Таким образом первичная сеть страны имеет трехъярусную структуру.

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

Назначением конкретной вторичной сети электросвязи является доставка информации определенного вида. Из определения первичной сети следует, что она обеспечивает связь только между определенными узлами. При этом магистрали прокладываются далеко не между всеми узлами первичной сети. Поэтому для образования путей передачи информации на любой из узлов сети необходимо осуществить соединения между каналами (или группами каналов) различных магистралей, оканчивающихся на одном и том же узле. Если на всех узлах первичной сети или некоторых из них установить т.н**. кроссовые**

соединения, то на базе первичной сети будет создана **вторичная некоммутируемая сеть**. В узлы некоммутируемой сети могут включаться абонентские линии, которые соединяются с каналами сети также с помощью кроссовых соединений. Примером такой абонентской линии может служить линия от ЭВМ или ВЦ.

Однако в большинстве случаев каналы вторичных сетей являются коллективными для всех или группы абонентов, включенных в данный узел. На узле в этом случае устанавливаются средства коммутации, обеспечивающие подключение абонентской линии к соответствующему каналу лишь на время передачи информации. Таким образом образуется **вторичная коммутируемая сеть,** а узел становится **узлом коммутации**.

Вторичные коммутируемые сети подразделяются по способу коммутации на сети с коммутацией каналов, сообщений и пакетов. При этом такие вторичные сети, как телефонные и факсимильные чаще строятся на основе использования способа коммутации: каналов, и телеграфные и сети передачи данных могут использовать все три способа коммутации: каналов, сообщений и пакетов.

В современных сетях связи способы коммутации могут объединяться включением на сети узлов коммутации каналов и узлов сообщений (пакетов) или использования совмещенных (смешанных) узлов, реализующих все указанные способы коммутации.

Вторичные сети подразделяются на сети речевой (телефонной) и документальной электросвязи.

Ко второй группе относятся: сети телеграфной связи (телефонная связь общего пользования и абонентское телеграфирование - АТ), сети передачи данных, сети факсимильной связи (передача неподвижных изображений - текстовых документов, схем, чертежей и т.д.), а также сети: телетекст, видеотекс и телетекст, телефакс и бюрофакс.

При этом сети телеграфной связи и сети передачи данных выделены в отдельный вид - сети передачи дискретных сообщений (СПДС).

Под СПДС обычно понимают совокупность оконечных пунктов, узлов коммутации и каналов связи, расположенных на определенной территории и обеспечивающих передачу документальных сообщений (телеграфных сигналов(кодов) или данных) определенного вида с заданными качественными показателями.

Основные показатели, отражающие требования, предъявляемые пользователями к сети, следующие:

- своевременная доставка сообщений, т.е. в срок, не превышающий заранее обусловленного (контрольный срок);
- доставка сообщения по назначению;
- надежность доставки;
- верность передаваемой информации.

К некоторым сетям ПДС специального назначения могут предъявляться дополнительные требования - такие, как возможность предоставления приоритетов по срочности передачи - сообщений, секретности передачи сообщений и др.

Требование по скорости доставки связаны с возможностью задержки сообщения на различных этапах его прохождения с сети и обесцениванием (“старением”) содержащейся в нем информации. Надежность доставки

сообщения по назначению должна быть высока, а возможность потери - очень мала (10^{-6} ... 10^{-7}).

Верность передаваемой информации оценивается допустимым коэффициентом ошибок $К_{ош}$. В зависимости от важности передаваемой информации и ее смысловой избыточности значение $К_{ош}$ может быть различным. Так в сетях ПД эта величина должна быть значительно меньше, чем в телеграфных сетях и составлять 10^{-6} ... 10^{-9}, т.е. искажение одного знака из миллиона (миллиарда) переданных.

Таким образом, сети передачи данных относятся ко вторичным сетям документальной электросвязи, обеспечивающим передачу дискретных сообщений (данных) между человеком и ЭВМ или между ЭВМ.

3.2. Сети передачи данных.

Сеть передачи данных - это сеть доступа к ЭВМ (пользователю). Сети передачи данных могут быть классифицированы:

- по структуре сети;
- способу коммутации; по скорости передачи данных;
- размеру сети;
- по типу сети, используемой для передачи данных.

Рассмотрим подробнее эту классификацию.

1. ***По структуре*** сети ПД делятся на иерархические и неиерархические. При этом в зависимости от числа абонентов и размеров территории СПД могут иметь различное построение: радиальное, радиально-узловое, “каждый с каждым” (рис. 3.2.).

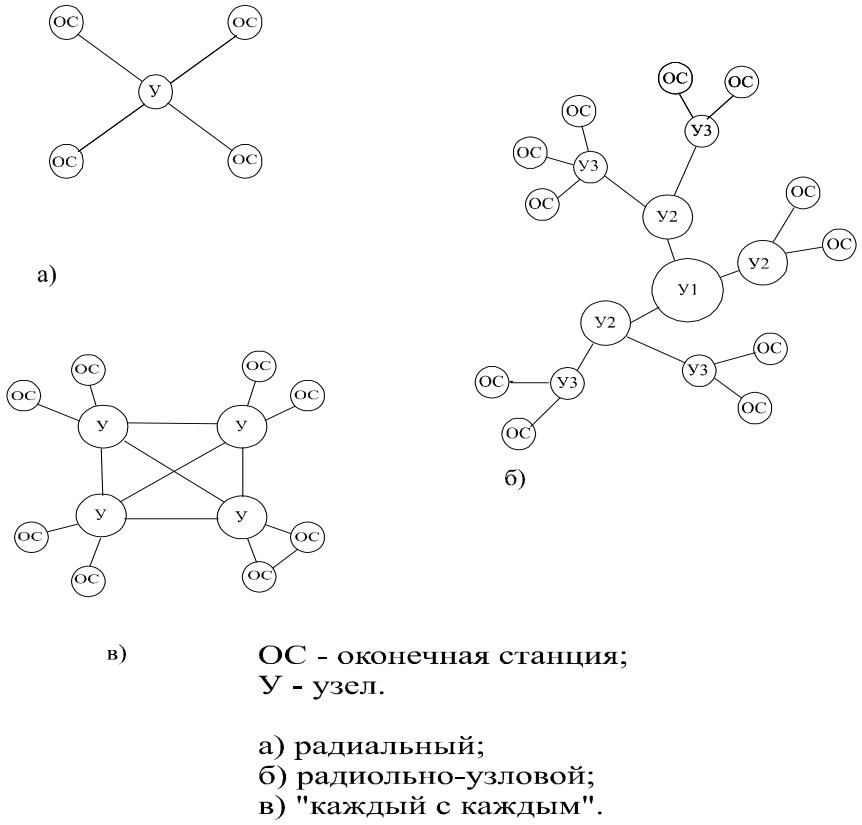

Рис. 3.2. Варианты структуры сетей ПД.

При радиальном построении СПД все оконечные (абонентские) пункты (станции) включаются в один узел (центр) коммутации, осуществляющий транзитные соединения между оконечными станциями (см. рис.3.2а). Радиальный способ построения сети может быть использован на небольшой территории. На большой территории строить сеть по радиальному принципу невыгодно из-за большого расхода на каналы связи и низкой надежности сети, т.к. повреждение узла парализует всю сеть.

При радиально-узловом построении сети кроме центрального (главного узла) создаются низовые узлы (см. рис.3.2б) (второго, третьего и т.д. классов). Однако, радиально-узловой принцип построения СПД допускает только один путь установления соединения, хотя часто возникает необходимость в организации обходных путей (например, для повышения надежности и живучести сети, уменьшения числа отказов в соединении и т.д.).

С этой точки зрения более предпочтителен принцип построения СПД, при котором имеется связь между всеми узлами. В данном случае (см. рис.3.2в) узлы соединяются по принципу **“каждый с каждым”.** Ясно, однако, что такая сеть имеет другой недостаток - большое число соединительных линий между узлами и следовательно, высокую стоимость.

На реальных сетях обычно применяются комбинированные принципы построения сетей - радиально-узловой и “каждый с каждым”. При этом узлы первого класса соединяются между собой по принципу “каждый с каждым” и в то же время являются центрами радиально-узлового построения сети.

2. ***По способу коммутации*** сети ПД делятся на сети с долговременной (кроссовой) коммутацией (рис.3.3а) и сети с оперативной коммутацией (рис. 3.3б).

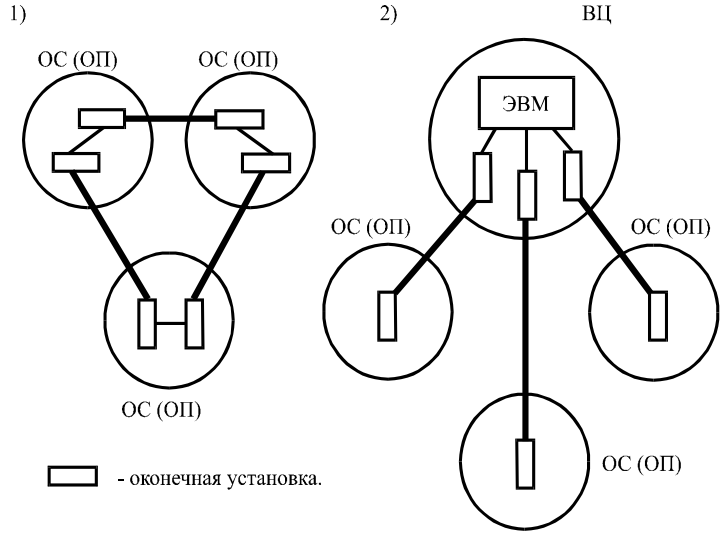

Рис. 3.3а. Примеры сетей ПД с долговременной (кроссовой) коммутацией

В сети ПД с долговременной коммутацией оконечные пункты (ОП) связаны друг с другом закрепленными каналами, используемыми для обмена только между двумя пунктами. Организация таких каналов осуществляется на УК с помощью долговременной (кроссовой) коммутации. При малом трафике (информационном потоке) использование таких сетей не эффективно, поэтому использование их экономически целесообразно при необходимости

непрерывного взаимодействия абонентов и передачи между ними больших объемов информации или в случаях создания специальных сетей, например, сетей ПД военного назначения, при очень высоких требованиях к скорости передачи сообщений и надежности доставки. В основном указанные сети организуются в сфере управления технологическими процессами, на транспорте, а также в АСУ предприятий, когда цехи, участки и отделы соединяются непосредственно с ЭВМ (ВЦ) данного предприятия (см. рис. 3.3а).

В сети ПД с **оперативной коммутацией** каждый абонент (ОП) может передавать сообщение любому другому абоненту. Это обеспечивается наличием на УК оборудования оперативной коммутации (см. рис. 3.3б). Оконечные пункты (абонентские станции) таких сетей одним или несколькими дискретными каналами соединяются с ближайшим УК. В УК осуществляется распределение информации, т.е. по адресу определяется ОП назначения и направление передачи сообщения.

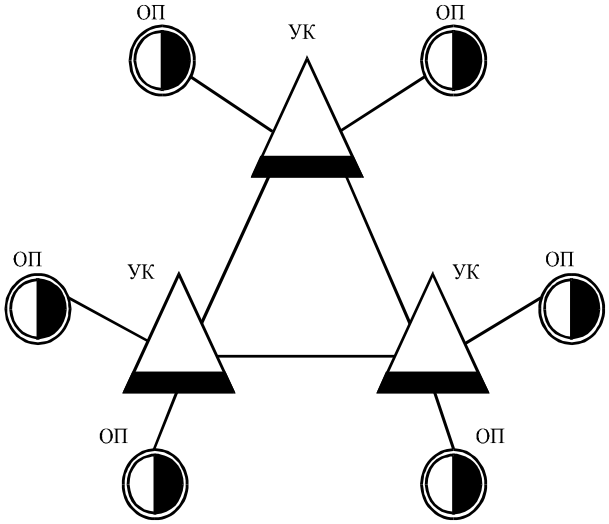

Рис. 3.3б. Пример сети ПД с оперативной коммутацией.

В основном сети ПД строятся как сети с оперативной коммутацией, что более экономично и обеспечивает лучшее использование каналов связи.

В сетях ПД с оперативной коммутацией в узлах коммутации возникает необходимость определения ОП назначения сообщения и пути дальнейшей его передачи. Эту функцию - распределение информации на узлах - выполняет оборудование оперативной коммутации. Применяются три основных вида оперативной коммутации: каналов (КК), сообщений (КС) и пакетов (КП).

В сетях ПД с коммутацией каналов (см. рис.3.4)

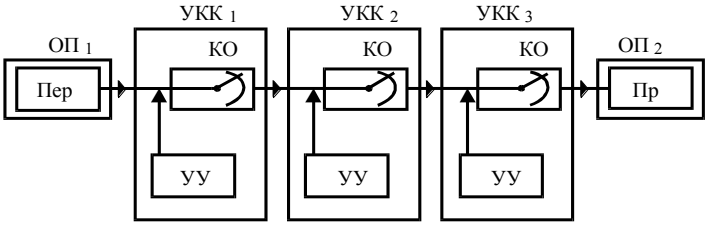

Рис. 3.4. Схема передачи сообщения в сети ПД с КК.

ОП сначала посылает на ближайший узел коммутации каналов (УКК) требование (вызов) на передачу сообщения и посредством номеронабирателя

или клавиатуры, находящейся на ОП передающей стороны, передает условный адрес вызываемого ОП. В УКК этот адрес поступает в УУ, которое на основе его анализа определяет путь передачи сообщения и с помощью коммутационного оборудования (КО) узла соединяет (коммутирует) канал вызывающего ОП с каналом в следующему УКК. После установления соединения УУ первого УКК передает в УУ второго УКК адрес сообщения. На втором УКК процесс соединения продолжается и так до последнего УКК, где происходит соединение с вызываемым ОП. Таким образом, перед началом передачи сообщения между ОП образуется сквозной тракт передачи, который разрушается после окончания сеанса связи.

Среднее время прохождения сообщения между ОП в этом случае

$$t_{дост} = t_{соед}*N + t_{пер}, \quad где$$

$t_{соед}$ - среднее время передачи адреса и установления соединения на одном УКК;

$t_{пер}$ - среднее время передачи сообщения;

N - количество УКК.

Так как $t_{соед}$ исчисляется секундами или десятками секунд, то доставка сообщения при наличии свободных каналов осуществляется с незначительной задержкой (см. рис.3.5).

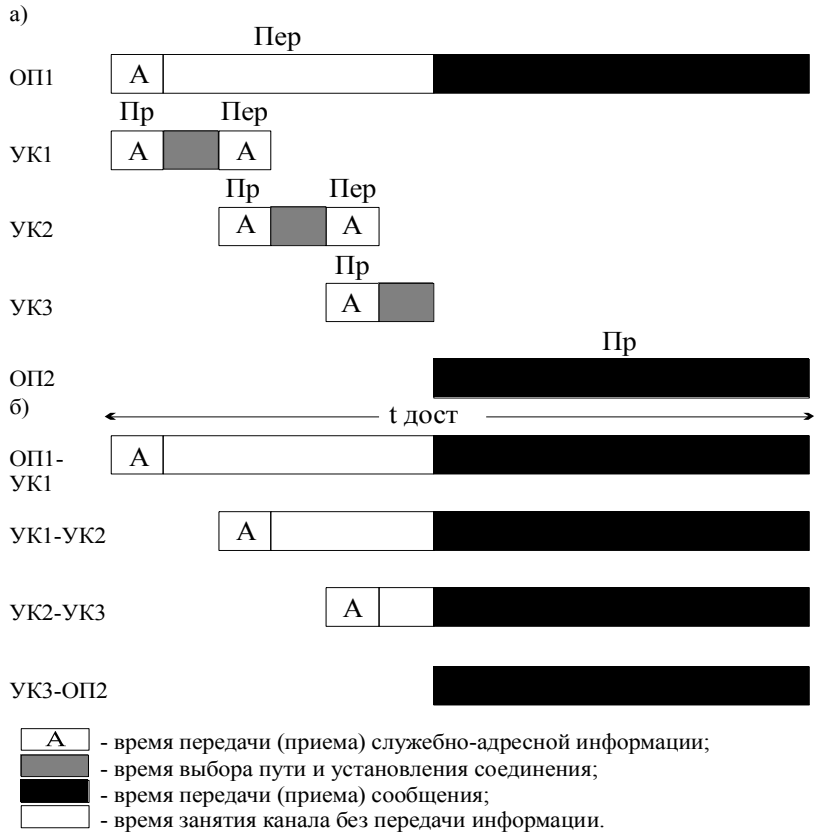

Рис. 3.5. Время доставки сообщения и занятости каналов в сетях ПД с КК.

а) время доставки сообщения;

б) время занятия канала.

Если в процессе установления соединения на каком-то этапе не оказывается свободных каналов в нужном направлении, то вызывающему ОП дается отказ в соединении. Поэтому сети ПД с КК называют **сетями с отказами**. При отказе вызов повторяется до установления соединения, что приводит к задержке в передаче сообщения.

В сетях ПД с коммутацией сообщений (см. рис.3.6)

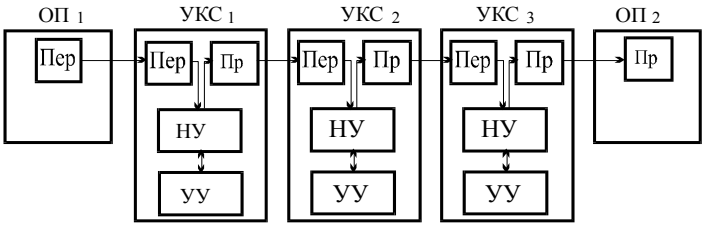

Рис. 3.6. Схема передачи сообщения в сети ПД с КС.

ОП подготавливает сообщение для передачи, представляет его в формализованном виде, где кроме текста самого сообщения содержится также служебная часть, включающая в себя все сведения, необходимые для передачи сообщения по назначению: адрес ОП назначения, категорию сообщения по срочности доставки и т.д., и передает его на ближайший узел коммутации сообщений (УКС). На узле принимаемое по каналу сообщение записывается в накопительное устройство (НУ). Устройство управления (УУ) анализирует адрес принятого сообщения и определяет направление дальнейшей его передачи. Если в данном направлении есть свободные исходящие каналы, то сообщение передается на следующий УКС. Таким образом, сообщение передается по этапам (подобно эстафетной палочке) до тех пор, пока не поступит в ОП назначения. При этом в каждом узле происходит переприем сообщения, т.е. его прием, запоминание, передача.

Если на каком-то этапе передачи все исходящие каналы нужного направления оказываются занятыми, сообщение ставится в очередь и ожидает освобождения одного их них. Поэтому сети ПД с КС называют **сетями с ожиданием**. Доставка в них сообщения происходит с задержкой во времени, так как среднее время прохождения сообщения между ОП или время доставки (см. рис.3.7)

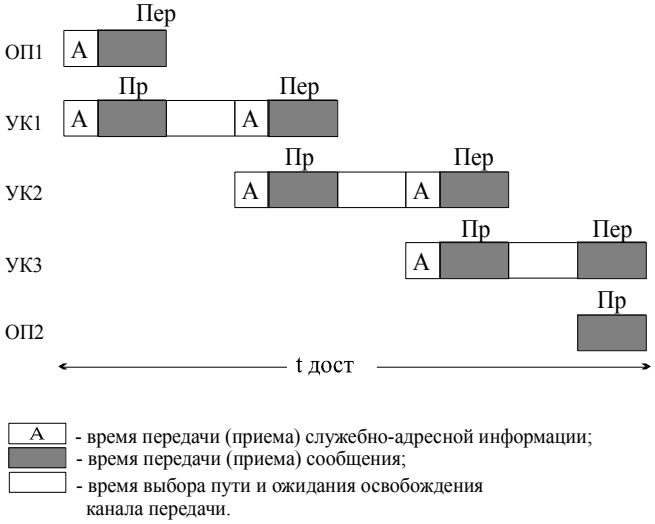

Рис. 3.7. Время доставки сообщения в сети ПД с КС.

$$t_{дост} = t_{пер} * (N+1) + t_{ож} * N, \quad где$$

$t_{пер}$ - среднее время передачи служебно-адресной информации и текста сообщения на каждом этапе передачи;

$t_{ож}$ - среднее время выбора пути и ожидания освобождения канала связи;

N - число УКС, через которые проходит сообщение.

Чем разветвленнее сеть, тем через большее число узлов проходит сообщение, тем больше время его доставки.

В сетях ПД с коммутацией пакетов сообщение вместе со служебно-адресной информацией передается из ОП на ближайший узел коммутации пакетов (УКП). Схема передачи такая же, как и при КС (см. рис.3.6). Здесь сообщение разделяется на блоки определенной длины - пакеты (см. рис.3.8), каждый из которых снабжается соответствующей служебной информацией, необходимой для доставки его по назначению.

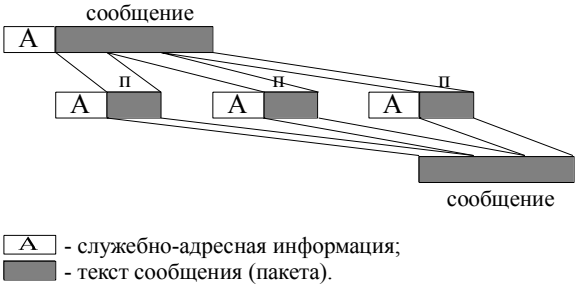

Рис. 3.8. Формирование пакетов.

Формирование пакетов может начинаться сразу же после поступления на УКП заголовка сообщения. Каждый из пакетов передается независимо от других. В последнем на пути следования пакетов УКП производится сборка (сшивка) пакетов в сообщение и передача его в ОП назначения. Разбивка сообщения на пакеты и сборка его могут осуществляться и непосредственно в ОП. При занятости исходящих каналов нужного направления пакеты ставятся на ожидание и передаются по мере освобождения каналов. Поэтому сети с КП, как и сеть с КС, называют сетями с ожиданием.

Особенностью коммутации пакетов является поэтапная передача не всего сообщения целиком, как при КС, а отдельных его блоков (пакетов). Это приводит к сокращению времени доставки сообщения адресату (см. рис.3.9). При построении диаграммы на рис.3.9 время выбора пути и ожидания освобождения канала передачи в узлах коммутации принято равным нулю.

Каждый из видов оперативной коммутации имеет свои достоинства и недостатки при их использовании в сетях передачи данных.

1. Сети ПД с КК.

Достоинствами КК являются:

- возможность непосредственного обмена данными между абонентами (диалоговый режим),
- отсутствие задержки в передаче сообщений после установления соединения;

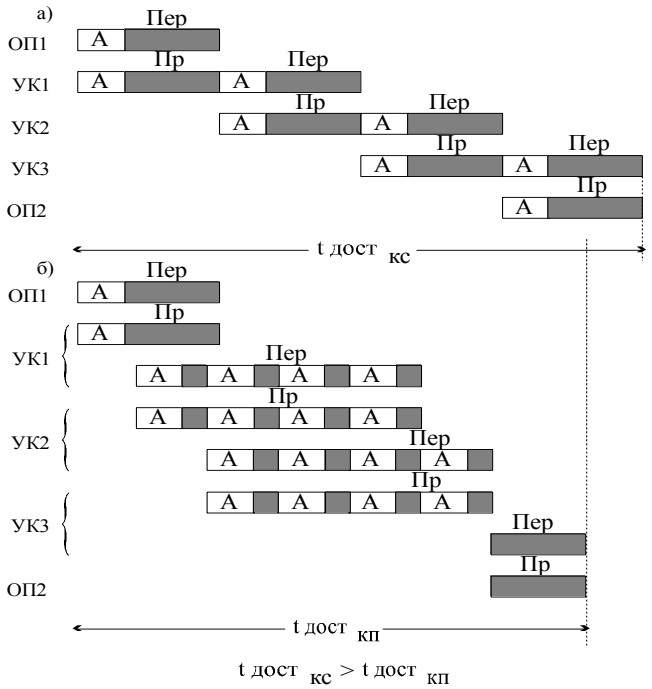

Рис. 3.9. Сравнение времени доставки сообщения в сетях ПД с КС и КП (при t ож = 0).

а) ПД с КС.
б) ПД с КП.

- относительная простота, а соответственно и меньшая стоимость оборудования УКК по сравнению с УКС и УКП.

Недостатки КК:

- возможна на сети ПД, оборудованной только однотипными оконечными установками;
- затруднена поэтапная передача многоадресных и циркулярных сообщении, а также введение категорий сообщений по срочности;
- многоадресные и циркулярные сообщения либо передаются последовательно, как соответствующее число одноадресных сообщений, либо требуется установки дополнительного оборудования с ручной коммутацией;
- при передаче срочных сообщений в сетях с КК приходится прерывать передачу сообщений более низких категорий срочности;
- высокая чувствительность к перегрузкам и неэффективное использование каналов; при резком возрастании нагрузки на отдельных участках сети увеличивается число отказов в соединениях через данный участок; это, в свою очередь приводит к увеличению числа повторных вызовов, непроизводительным занятием каналов предыдущих участков, увеличению их нагрузки, росту числа отказов и т.д. возникает лавинообразный процесс отказов, который может привести к нарушению работы сети с КК;
- использование каналов в сетях в КК ограничивается допустимым процентом отказов в установлении соединений из-за их занятости; чтобы число повторных вызовов было небольшим, величина процента отказов на междугородних участках обычно не должна превышать 1...2%; при этом, занятость каналов не должна превышать 40...50%; из рис.3.5 видно, что в общем времени занятости канала передача сообщения занимает лишь часть; остальное время канал занят передачей служебно-адресной информацией или простаивает в процессе установления соединения на последующих этапах; при установлении

соединения через несколько узлов и передаче небольших сообщений время непроизводительного занятия канала может превысить время непосредственной передачи сообщения;

- при установленном соединении передача информации ведется абонентами поочередно, хотя междугородные каналы допускают возможность ведения одновременной двусторонней передачи сообщений; это еще больше снижает полезное использование каналов в сетях ПД с КК; в результате для передачи одного и того же количества сообщений на сети с КК требуется в 4...6 раз больше каналов, чем на сети с КС.

2. Сети ПД с КС.

Коммутация сообщений благодаря поэтапной передаче предоставляет широкие возможности для взаимодействия в пределах одной сети разнотипных средств передачи и приеме сообщений с разной скоростью, различными кодами и разными методами синхронизации и фазирования. Допустимость применения на сети в коммутацией сообщений разнотипных оконечных установок облегчает развитие сети, позволяет заменять устаревшую аппаратуру новой. В сетях с ПД с КС возможно введение различных категорий срочности сообщений, каждой из которых соответствует свое допустимое время доставки. Приоритетность передачи достигается тем, что срочные сообщения передаются в первую очередь при задержке в накопителях УКС сообщений более низкой категории.

КС позволяет просто организовать передачу многоадресных и циркулярных сообщений. Для этого в заголовке сообщения достаточно перечислить адреса всех ОП назначения или указать номер циркуляра. Работа операторов ОП при этом упрощается: их задача состоит только в передаче сообщения на ближайший УКС.

Большим достоинством сетей с КС является высокий уровень использования каналов и низкая чувствительность сети к перегрузкам. При работе сети на отдельных участках в какие-то периоды времени может резко возрасти нагрузка. Однако, поскольку на УКС сообщения запоминаются в накопителях, то на перегруженных направлениях происходит увеличение очереди. На работе других направлений этого же узла и других участков сети перегрузка не сказывается. В сетях с КС обеспечивается более высокая занятость каналов и может осуществляться одновременная двухсторонняя передача сообщений.

Недостатками КС являются: невозможность диалоговой связи между операторами ОП, сложность оборудования узлов, следовательно, его высокая стоимость, значительное время доставки сообщения.

Следует, однако, отметить, что время доставки сообщения в сетях с КС может быть сокращено за счет использования более высоких скоростей передачи между УКС.

3. Сети ПД с КП.

Коммутация пакетов обладает теми же достоинствами, что и КС. Она позволяет включать в сеть ПД разнотипные оконечные средства, обеспечивает высокий уровень использования каналов, меньше реагирует на перегрузки, чем КК, упрощает работу операторов ОП. Вместе с тем КП сокращает время доставки сообщений по сравнению с КС. При высокой скорости передачи оно становится соизмеримым со временем доставки при КК, что при организации двухсторонней передачи сообщений между ОП создает эффект диалоговой

связи. Передача небольших по величине пакетов приводит к тому, что на УКП отсутствуют накопительные устройства большой емкости. Накопители УКП рассчитаны на хранение небольшого числа пакетов. Недостатком КП является усложнение функций и оборудования УКП за счет разбивки сообщений на пакеты на исходящем и сборки сообщений на входящем узлах.

Достоинства и недостатки каждого из видов оперативной коммутации определяют условия целесообразности их использования.

КК целесообразно использовать при организации диалоговой связи на оборудованной однотипными установками сети; при передачи длинных сообщений, а также при наличии дешевых каналов.

КС лучше применять в разветвленных сетях при наличии разнотипного оконечного оборудования, если требуется передать многоадресные и циркулярные сообщения, при наличии на сети дорогостоящих каналов большой протяженности, а также при необходимости обеспечить устойчивую работу сети при непредвиденных увеличениях нагрузки.

КП выгодна при передаче сравнительно коротких сообщений и использовании на сети высоких скоростей передачи.

Достоинства различных видов оперативной коммутации реализуются при использовании на сетях ПД комбинированной коммутации. Все комбинированные методы коммутации можно разделить на следующие варианты (рис.3.10):

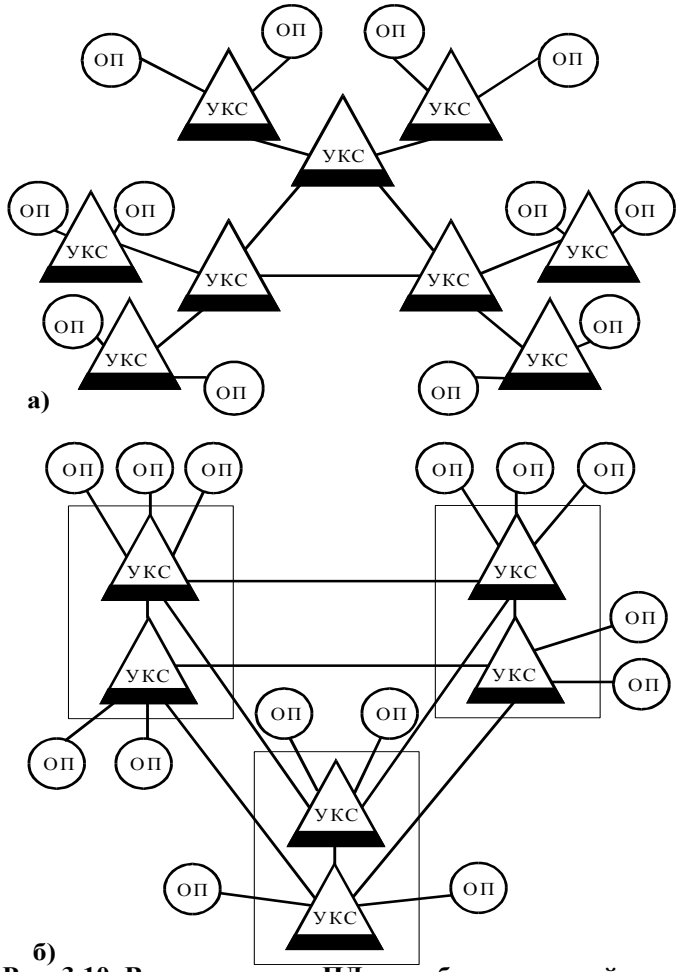

Рис. 3.10. Варианты сети ПД с комбинированной коммутацией.
а) последовательный;
б) параллельный.

- **последовательный (иерархический)**, применяемый на сетях радиально-узловой структуры. При этом варианте в узлах разного уровня используются различные виды оперативной коммутации (см. рис. 3.10а), например на узлах высшего уровня - КС, а в узлах более низкого уровня - КК. Данный вариант позволяет: лучше использовать каналы большой протяженности между крупными УК; ограничить влияние перегрузок, возникающих в отдельных зонах сети, на сеть в целом; уменьшить затраты на многочисленные узлы нижних уровней;
- **параллельный** (см. рис. 3.10б), при котором территориально совмещаются УК разных видов (например, КС и КК или КК и КП), но образуют отдельные самостоятельные подсети, в каждую из которых включены свои абоненты (ОП) с учетом требований, предъявляемых ими и сети. Соединительные линии между УК разных видов обеспечивают возможность обмена сообщениями между ОП обеих подсетей;
- **совмещенный (смешанный),** при котором одни и те же узлы осуществляют различные виды оперативной коммутации, например КС и КК или КП и КК. Вид оперативной коммутации на узле выбирается в зависимости от признака абонента или сообщения, возможностей оборудования и т.д. Это повышает использование оборудования узлов, расширяет возможности сети по передаче сообщений различных видов.

Продолжим классификацию сетей ПД.

3. **По скорости передачи данных** сети ПД делятся на три группы: низкоскоростные (до 200 бит/с), среднескоростные (600...9600бит/с) и высокоскоростные (более 9600бит/с)

4. **По размеру** сети ПД могут быть территориальными и локальными. Территориальные сети в свою очередь, делятся на глобальные (общегосударственные), региональные (междугородние) и местные (городские).

5. **По принадлежности** и территориальные и локальные сети ПД делятся на сети общего пользования (коммерческие) и корпоративные (ведомственные).

6. **По типу используемой вторичной сети** для передачи данных:
- телефонные (ТФ-ОП),
- телеграфные (АТ),
- сети ПД (специализированные).

Передача данных по сети ТФ-ОП осуществляется после установления соединения с помощью номеронабирателя телефонного аппарата или автоматического вызывного устройства (АВУ) и последующего переключения коммутируемого канала на АПД (см. рис.3.11).

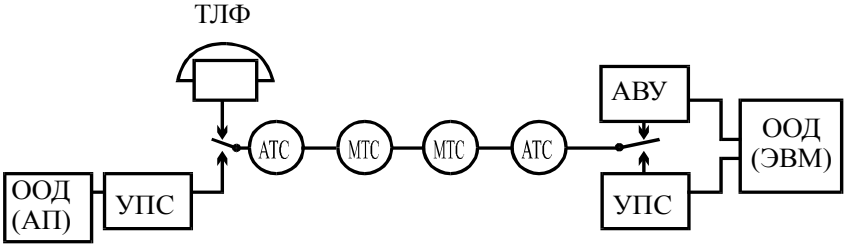

Рис. 3.11. Передача данных по сети ТФ-ОП.

Сеть ТФ-ОП является наиболее разветвленной и позволяет осуществлять передачу данных практически между любыми абонентами этой сети. Для нее

характерны интенсивное развитие и высокие темпы автоматизации установления соединений. Сеть ТФ-ОП проектировалась и создавалась для передачи телефонных сообщений, и такие характеристики телефонных каналов связи, как импульсные помехи, перерывы, фазовые искажения и т.д. не интересовали проектировщиков, поскольку они практически не влияли на качество телефонной (речевой) связи. На качество передачи данных эти характеристики оказывают существенное влияние. Внедрение в практику новых типов (координатных, квазиэлектронных и электронных АТС и АМТС) будет способствовать значительному уменьшению помех и времени установления соединения. Для передачи данных по сети ТФ-ОП в основном используется скорость до 1200 бит/с. При передаче данных по сети со скоростью, большей, чем 1200 бит/с, начинает сказываться нелинейность фазовых характеристик каналов. Однако, разработанная в последние годы аппаратура передачи данных (АПД) с адаптивными фазовыми корректорами позволяет обеспечить передачу информации со скоростями 2400 и 4800 бит/с.

Сеть абонентского телеграфа АТ-50 позволяет осуществлять передачу данных со скоростью 50 бит/с. Она характеризуется низкой пропускной способностью, большим временем установления соединения, недостаточной верностью и надежностью. Однако сеть достаточно развита, она охватывает основных потенциальных абонентов ПД. Достоинством сети АТ-50 является наличие в ее составе оконечного оборудования данных (ОСД) и достаточно развитых эксплуатационно-технических служб.

Специализированные сети ПД, сети, характеристики которых соответствуют требованиям, предъявляемым к обслуживанию отправителей и получателей данных. Примером специализированной сети является сеть ПД-200, предназначенная для передачи данных со скоростями до 200 бит/с. При ее построении используется общая с сетями АТ и ТФ-ОП коммутационная и каналообразующая аппаратура. Установление соединения в сети ПД-200 осуществляется специальным сигналом. Повышение верности передачи информации на сети ПД-200 производится с помощью устройства защиты от ошибок, входящего в АПД, реализованной в составе ООД ЕС-ЭВМ “ряд” и в составе абонентского пункта АП-КК. Сеть ПД-200 может обеспечить передачу данных значительному числу абонентов с большими скоростью и верностью, чем сеть АТ-50.

Рассмотренные три типа реальных коммутируемых сетей ПД относятся к сетям с КК. Помимо этого находят применение для передачи данных сети с КС и КП. Примерами сетей с ПД с КС являются ведомственные сети резервирования авиабилетов (система “сирена” в гражданской авиации) и сеть “Погода” (гидрометеослужба).

Особенно интенсивно создаются и развиваются в различных странах, в том числе и у нас, в последнее время сети с КП. Именно сетям с КП будут посвящены практически все последующие занятия, связанные с изучением архитектуры информационно-вычислительных систем (ИВС) и сетей ЭВМ.

3.3. Системы передачи данных.

Под системой передачи данных понимается совокупность технических средств и линий (каналов) связи, образующих канал передачи данных и обеспечивающих передачу данных от источника сообщений (ИС) к получателю (ПС) с заданными достоверностью, надежностью и временем

доставки. Системы ПД подразделяются на два основных класса: системы без обратной связи (ОС) и системы с обратной связью (см. рис. 3.12).

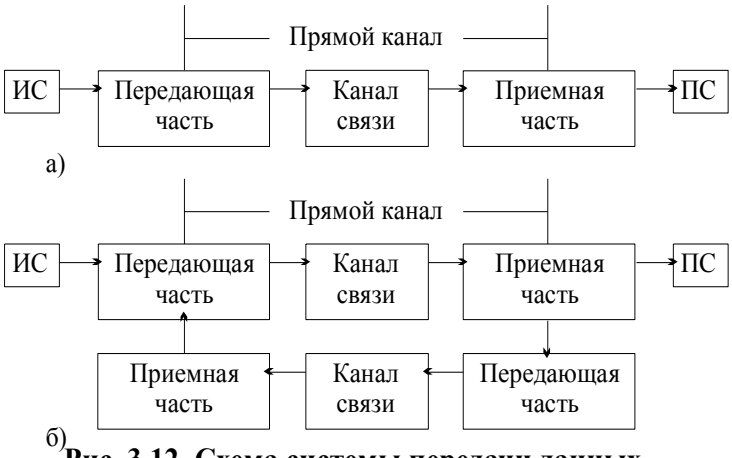

Рис. 3.12. Схема системы передачи данных.
а) без обратной связи;
б) с обратной связью.

Процесс обмена данными между ИС и ПС иллюстрируется рис. 3.13.

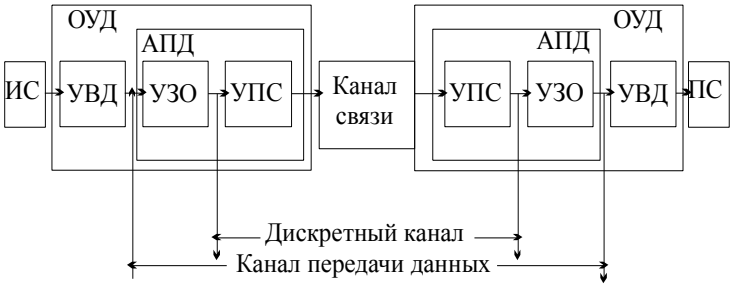

Рис. 3.13. Структура системы ПД.

Для преобразования данных, записанных на носителе или поступающих с клавиатурных устройств, в сигнал данных - используется устройство ввода данных (УВД). Обратное преобразование - восстановление данных на принятому сигналу и запись их на носитель - выполняет устройство вывода данных. Совокупность устройств ввода и вывода данных называют оконечным оборудованием данных (ООД). Совокупность ООД и АПД называют оконечной установкой данных (ОУД).

Система передачи данных реализуется с сети передачи данных между ближайшими ОП и УК, которые выполняют роль ОУД и связанны прямым каналом связи.

Сигналы данных с целью повышения верности передачи данных подвергаются обработке в устройствах защиты от ошибок (УЗО). На передаче сообщение кодируется, на приеме - декодируется.

Устройство преобразования сигналов (УПС), входящие в состав АПД, наряду с УЗО, обеспечивает согласование сигналов данных, поступающих от УВД и УЗО на передающей стороне, с каналом связи. УПС на приемной стороне осуществляет обратное преобразование с целью согласования канала связи с УЗО или УВД на приеме. Совместно с каналом связи УПС образует **дискретный канал**, т.е. канал, предназначенный для передачи только

дискретных сигналов (цифровых сигналов данных). Дискретный канал в совокупности с УЗО составляет **канал передачи данных** (см. рис.3.13).

Дискретный канал характеризуется **скоростью передачи информации,** измеряемой количеством битов в секунду (бит/с), или числом единичных элементов, которое можно передать в секунду по каналу. Число единичных элементов, передаваемых в секунду называют в литературе скоростью телеграфирования, скоростью модуляции. Единица скорости телеграфирования - бод. Другой характеристикой дискретного канала является **верность передачи единичных элементов.**

Для характеристики канала ПД используются следующие параметры: **коэффициент ошибок** по кодовым комбинациям, **эффективная скорость** передачи информации.

Коэффициент ошибок по кодовым комбинациям характеризует верность передачи и определяется отношением числа ошибочно принятых кодовых комбинаций к числу переданных в заданном интервале времени. При определении эффективной скорости учитывается, что не все комбинации, поступающие на выход канала ПД, выдаются получателю. Часть комбинаций может быть забракована. Кроме того, учитывается, что не все элементы кодовой комбинации, передаваемой в канал, несут информацию (заголовок сообщения, кодовая избыточность для защиты от ошибок, повторы комбинаций и т.д.).

3.3.1. Системы передачи данных без обратной связи

В системах без ОС (см. рис. 3.12а) сообщение передается от источника (ИС) к получателю (ПС) в прямом направлении по определенному алгоритму, не учитывающему текущего состояния канала и результатов приема предыдущего сообщения; т.е. условия приема и другие факторы.

В системах без ОС используются следующие основные способы передачи, обеспечивающие надежность (верность) доставки сообщений: многократная передача кодовых комбинаций; одновременная передача кодовых комбинаций по нескольким параллельно-работающим каналам; помехоустойчивое (избыточное) кодирование, т.е. использование кодов, исправляющих ошибки (корректирующих кодов).

Многократная передача кодовых комбинаций является наиболее просто реализуемым способом передачи. Повторение кодовых комбинаций может осуществляться вручную и автоматически (без участия оператора). Пусть передается буква А, число повторов возьмем равным пяти. Тогда, если на приемном конце получим АБААС (буква А исказилась 2 раза), то выносится решение о том, что передавалась буква А, поскольку в принятой последовательности из пяти букв она встречалась наиболее часто (мажоритарное декодирование - декодирование голосованием по большинству). Если в принятой последовательности ни одна буква не повторяется, то принятое сообщение ликвидируется (стирается). **Главный недостаток такого способа - существенное уменьшение скорости передачи.** В нашем примере скорость передачи информации уменьшается в 5 раз по сравнению со случаем однократной передачи кодовой комбинации.

Способ передачи, основанный на снижении скорости передачи, широко применяется в технике передачи данных. Так, в среднескоростных системах ПД предусмотрены две скорости - 600 и 1200 бит/с. В случае, если качество передачи информации на скорости 1200бит/с оказывается не удовлетворительным, переходят на скорость 600 бит/с, что равносильно

передаче 2 раза подряд элементов кодовой комбинации длительностью 1/1200мс.

Способ одновременной передачи кодовой комбинации по нескольким параллельным каналам (обычно число каналов нечетное) основан на принятии решения о том, какая кодовая комбинация передавалась, методом голосования (т.е. так же, как и при многократной передаче кодовых комбинаций) по большинству. Иногда передача осуществляется по двум параллельным каналам, и информация выбирается их того канала, качество которого в момент приема кодовой комбинации была наилучшим. Для этого приемник должен располагать соответствующим устройством для оценки качества канала, При передаче сообщений по N параллельным каналам скорость передачи информации не зависит от числа каналов. Однако, при этом существенно возрастают (в N раз!) расходы на аренду каналов.

Более эффективным является **способ передачи, основанный на применении корректирующих кодов.** В системах передачи без ОС должны применяться коды, исправляющие ошибки. Широкое распространение на практике получили двоичные корректирующие коды, которые подробно будут рассмотрены на последующих занятиях.

3.3.2. Системы передачи данных с обратной связью.

Системы ПД с ОС характеризуются повторением кодовых комбинаций, в которых обнаружены ошибки. Решение о необходимости повторения может выноситься на приеме (системы с РОС) или на передаче (системы с ИОС).

Как уже отмечалось, см. рис. 3.12б, системы с ОС отличаются наличием канала, по которому осуществляется “служебная” связь передатчика с приемником.

В системах с РОС определяется, с помощью корректирующего кода с обнаружением ошибок на приемной стороне, содержит или не содержит ошибки принятая комбинация. Если в кодовой комбинации обнаружены ошибки, то по обратному каналу посылается сигнал решения (запрос) о необходимости повторения (отсюда название - решающая обратная связь).

В системах с ИОС принятая комбинация возвращается на передающую сторону по обратному каналу, где она сравнивается с переданной комбинацией. Последнюю можно рассматривать как эталонную комбинацию. Если эти комбинации различаются, то исходная комбинация передается повторно.

Системы ПД с РОС получили наибольшее распространение на практике. Существуют различные разновидности этих систем.

Простейшими из них являются **системы с ожиданием.** В этих системах очередная кодовая комбинация передается только после приема по обратному каналу сигнала о том, что предыдущая комбинация принята без ошибок. Эффективная скорость передачи данных в такой системе

$$C = B * g_1 * g_2 * g_3,$$

где g_1 - потери скорости на введение в код избыточности,

g_2 - потери скорости, обусловленные ожиданием сигнала решения,

g_3 - потери скорости вследствие повторения,

B - номинальная скорость передачи данных в системе ПД.

В системах с РОС и **непрерывной передачей** отсутствуют потери на ожидание. В этих системах при обнаружении ошибок в принятой кодовой комбинации производится повтор этой комбинации и ряда других, примыкающих к ней. Для уменьшения потери на переспросы иногда по каналу

обратной связи передается адрес (номер) кодовой комбинации, которую надо повторить. И эта комбинация встраивается в последовательность передаваемых комбинаций с тем же номером. Такой метод применяется в системах с РОС и **адресным переспросом.** Однако непрерывная передача информации и тем более адресный переспрос требуют существенного усложнения аппаратуры ПД, что в свою очередь, приводит к ее удорожанию и снижению надежности. Возможны и другие варианты построения систем ПД с РОС.

В простейших системах с ИОС для передачи информации по прямому каналу используются **простые коды (без избыточности)** и **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 **обратный канал может иметь существенно меньшую пропускную способность.** Так, при передаче данных со скоростью 600/1200 бит/с по прямому каналу, в обратном узкополосном канале передача осуществляется со скоростью не более чем 75бит/с. При двухсторонней передаче данных это позволяет использовать часть пропускной способности и полосы информационных каналов для передачи сигналов решения во встречном потоке данных (кодовых комбинаций) и не иметь отдельных “служебных” каналов. Указанные **существенные преимущества систем ПД с РОС делают их применение на практике более предпочтительным по сравнению с системами ПД с ИОС.**

Методические рекомендации для преподавателей.

Для проведения данного занятия рекомендуется следующий расчет времени и методика его проведения.

I. Вводная часть - 5 мин.

- проверка наличия обучаемых
- объявление темы, цели занятий, перечня учебных пособий и учебных вопросов.

II. Основная часть - 165 мин.

1. Общие сведения - 20 мин. Дать понятие сети связи, первичной и вторичной сетей, коммутируемых и некоммутируемых сетей, перечислить виды вторичных сетей, место сетей передачи данных в составе вторичных сетей.

2. Сети передачи данных - 100 мин. Дать подробную классификацию сетей передачи данных по структуре, по способу коммутации с использованием рисунков, по размеру и типу сети, по скоростным характеристикам. Провести сравнительный анализ способов оперативной коммутации, на практических примерах рассмотреть типы сетей, используемых для передачи данных, в т.ч. на рисунке.

3. Системы передачи данных - 45 мин. Рассмотреть общий подход к построению систем передачи данных, структуру и основные отличия этих систем друг от друга. Дать представление о системах передачи данных без обратной связи, реализуемых в них способах передачи данных. Дать представление о системах передачи данных с обратной связью и вариантах их построения.

III. Заключительная часть - 10 мин.

- контрольный опрос;
- подведение итогов занятия;
- задание на самоподготовку.

Самоподготовка - 135 мин. Закрепление знаний по сетям и системам передачи данных.