

# Сети с коммутацией каналов (СКК)

- Первые сеансы связи между компьютерами были осуществлены через телефонную сеть, следовательно, применялась коммутация каналов.
- **Элементарный канал** – фиксированное значение пропускной способности в пределах сети. Любая линия связи в такой сети имеет пропускную способность, кратную элементарному каналу.
- Например, в телефонных сетях **элементарный канал цифровой телефонной сети** имеет пропускную способность 64 Кбит/с – минимальная достаточная скорость для цифровой передачи голоса.

# Элементарный канал и цифровая передача голоса

- В 60-е годы была придумана дискретизация звукового сигнала.

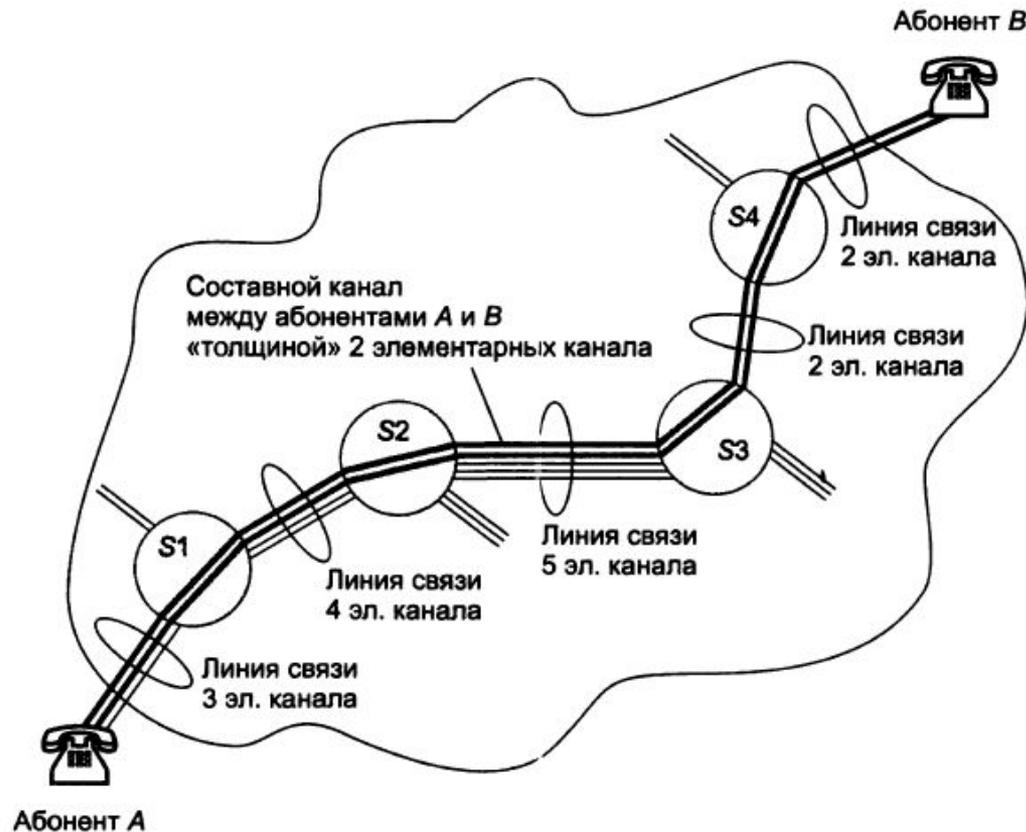


# Элементарный канал и цифровая передача голоса

- Дискретизация по времени по значению.
- Частота квантования амплитуды – 8000 Гц.
- Частота квантования времени – 125 мкс.
- Один замер амплитуды представляется 8 битами, что даёт 256 значений амплитуды.
- Для передачи голосового канала требуется пропускная способность 64 Кбит/с (8000 измерений в секунду x 8 бит).
- Такой канал будет называться **элементарным каналом цифровых телефонных сетей**.
  
- **Особенность сети с коммутацией каналов** – пропускная способность каждой линии связи должна быть равна целому числу элементарных каналов.
- Линии связи до абонентов телефонной сети содержат 2, 24, 30 элементарных каналов.
- Линии, соединяющие коммутаторы – 480, 1920 каналов.

# Коммутация каналов. Составной канал

- **Составной канал** – связь, построенная путем коммутации (соединения) элементарных каналов.



# Коммутация каналов.

## Свойства составного канала

1. На всем протяжении состоит из одинакового количества элементарных каналов
2. Имеет постоянную и фиксированную пропускную способность на всем протяжении
3. Создается временно на период сеанса связи
4. На время сеанса связи полностью принадлежат абонентам данного сеанса.
5. Элементарные каналы, входящие в составной, входят только в 1 составной канал.
6. Данные гарантированно без задержек и потерь со скоростью источника ( $\leq$  скорости составного канала) доставляются вызываемому абоненту (неважно, существуют ли другие соединения в сети)
7. После окончания связи составной канал возвращается в пул распределяемых ресурсов сети.

# Коммутация каналов. Свойства составного канала

**Мультиплексирование** – разделение сети между одновременными сеансами связи нескольких пользователей на уровне элементарных каналов. Позволяет одновременно передавать через каждый физический канал трафик нескольких логических соединений.

# Алгоритм обмена данными в сети с коммутацией каналов.

## Процедура установления соединения

- **Процедура установления соединения** позволяет выявить наличие достаточного количества элементарных каналов на линии связи между абонентами.
- Количество элементарных каналов между разными промежуточными узлами может отличаться. Теоретически, возможна ситуация, когда существующих ресурсов будет недостаточно для установки всех требуемых составных каналов.
- Требуется процедура распознавания невозможности организации составного канала.
- Такая процедура в сетях с канальной коммутацией называется **процедурой установления соединения**.

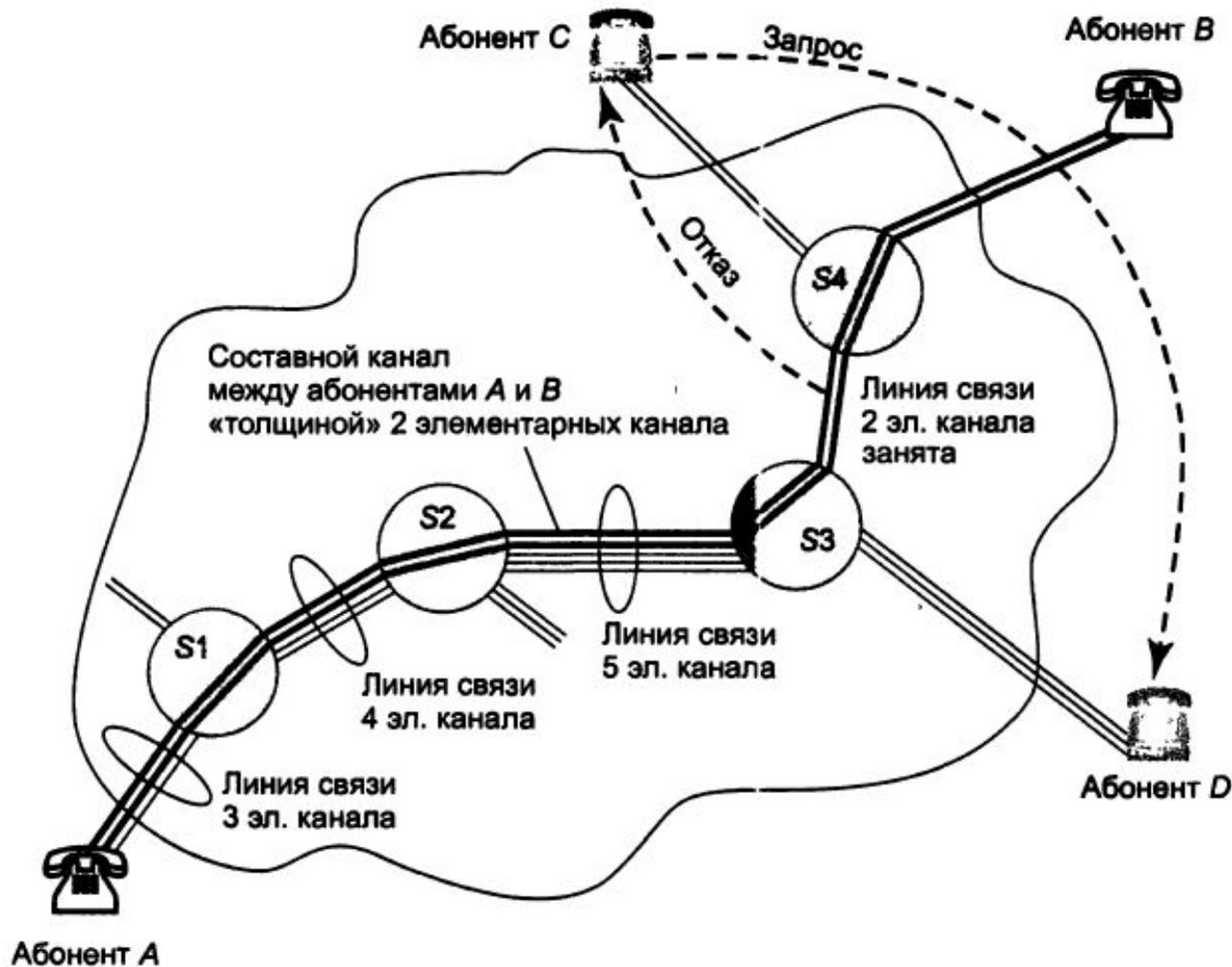
# Алгоритм обмена данными в сети с коммутацией каналов.

## Процедура установления соединения

1. **Отправка абонентом служебного сообщения** – запроса с адресом вызываемого абонента.  
**Цель запроса** – проверить, можно ли организовать составной канал между абонентами (наличие свободных элементарных каналов в каждой линии связи) и незанятость вызываемого абонента.
2. Запрос идет по маршруту на основе глобальных таблиц коммутации (пары значений «адрес абонента – выходной интерфейс коммутатора»).
3. Если запрос дошел, то происходит **фиксация составного канала** – на всех промежуточных коммутаторах в локальных таблицах коммутации закрепляются номера элементарных каналов для этого сеанса связи.
4. По подготовленному составному каналу **передается основной поток данных**. Вспомогательной информации (адрес и т.п.) уже не требуется.
5. Если запрос завершился неудачно, то абонент получает служебное сообщение – отказ в установлении соединения.

# Коммутация каналов.

## Процедура установления соединения



# Алгоритм обмена данными в сети с коммутацией каналов.

## Процедура установления соединения

- Основная проблема в СКК – **передача пульсирующего трафика**
- Наиболее эффективна СКК при передаче трафика с постоянной скоростью и максимально соответствующего пропускной способности физических линий связи (потокковое видео, p2p torrent и т.п.).
- Если трафик пульсирующий (web-серфинг) – большую часть времени составной канал простаивает, но и недоступен другим пользователям до конца сеанса связи.

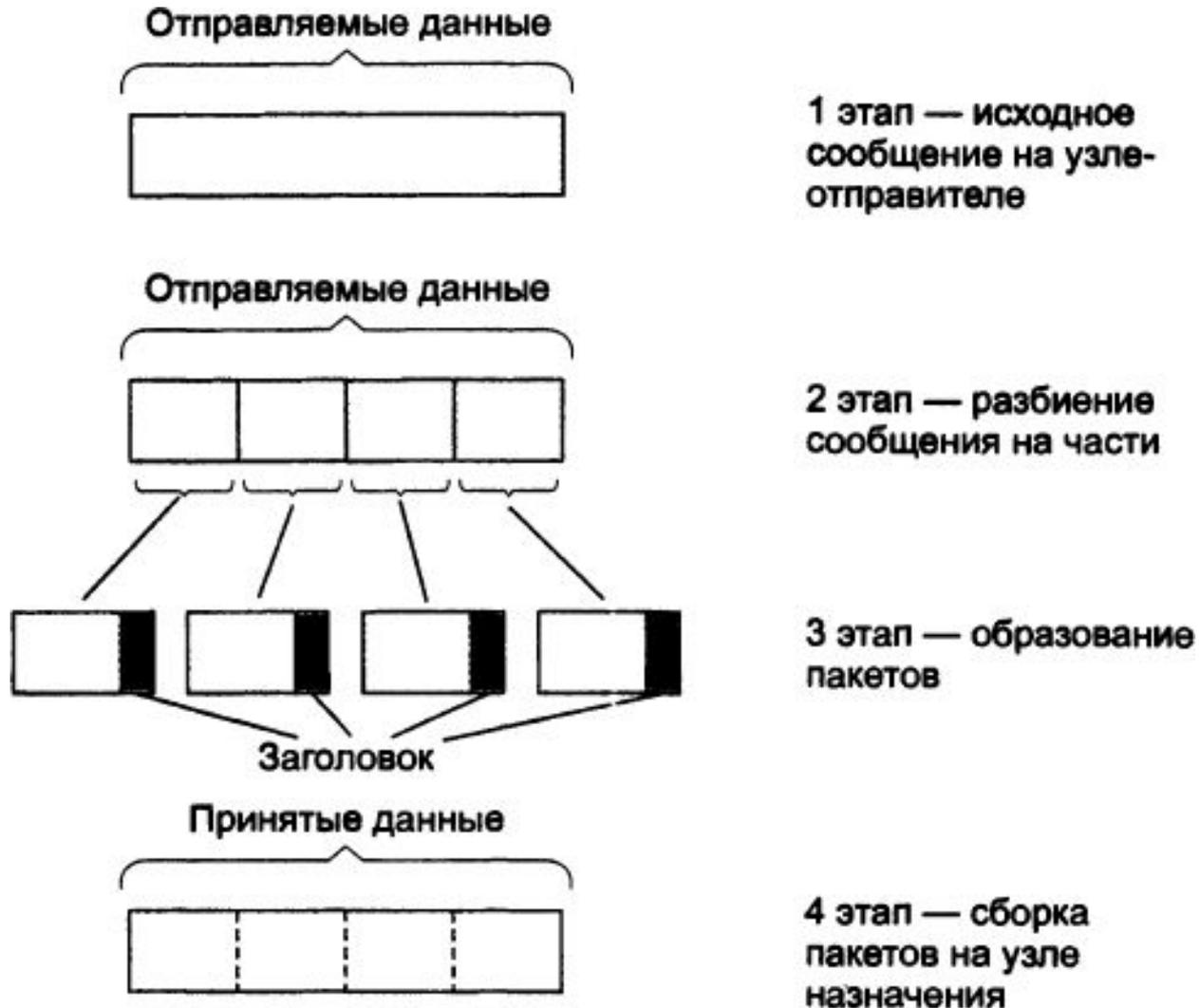
# Сети с коммутацией пакетов (СКП)

- Важнейший принцип функционирования СКП – представление информации в виде структурно отделенных друг от друга порций данных – **пакетов** (пакет  $\equiv$  кадр  $\equiv$  фрейм  $\equiv$  ячейка)
- Пакет чаще всего состоит из:
  1. *Заголовка (Head)*, содержащего, например, адрес назначения, размер поля данных и прочую служебную информацию.
  2. *Поля данных (Data)*.
  3. *Конечного поля (Tail)*, зачастую, содержащего контрольную сумму

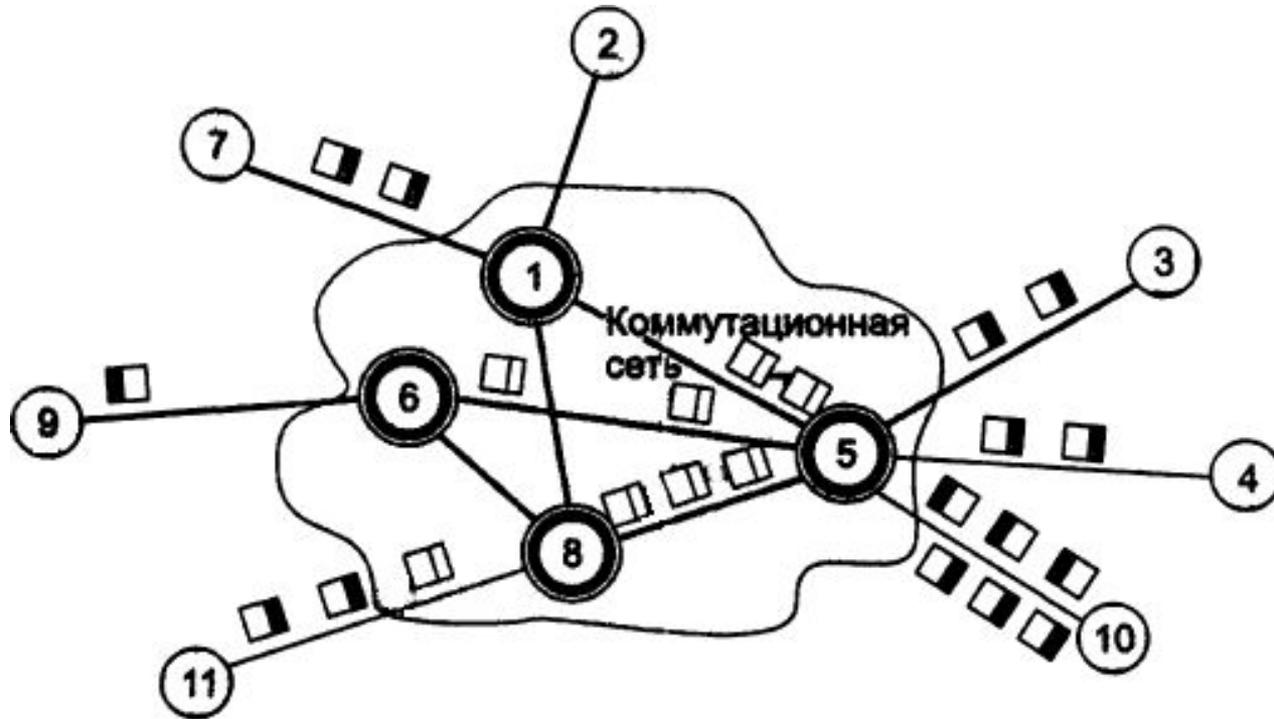
# Коммутация пакетов

- Каждый пакет содержит **адрес** и может быть обработан коммутатором независимо от других пакетов (нюанс – виртуальный канал не дает полной независимости). Длина пакета может быть фиксированной или переменной.
- Пакеты поступают в сеть без предварительного резервирования линий связи и не с фиксированной заранее скоростью. СКП всегда готова принять пакет от абонента, а СКК не всегда может принять еще одно соединение. Пропускная способность так же не обеспечивается (не считая особых модификаций).
- Для каждого потока данных определяется **маршрут** на основе глобальных и локальных таблиц коммутации на промежуточных узлах и формируется или вручную или автоматически.
- Пакеты разных информационных потоков перемешиваются, перемещаются с разной скоростью на разных линиях связи (элементарных каналов с фиксированной скоростью нет), могут прийти в место назначения в другом порядке.
- Разделение данных на пакеты **сглаживает пульсации трафика** нескольких пользователей и рациональнее использует пропускную способность линий связи.

# Коммутация пакетов

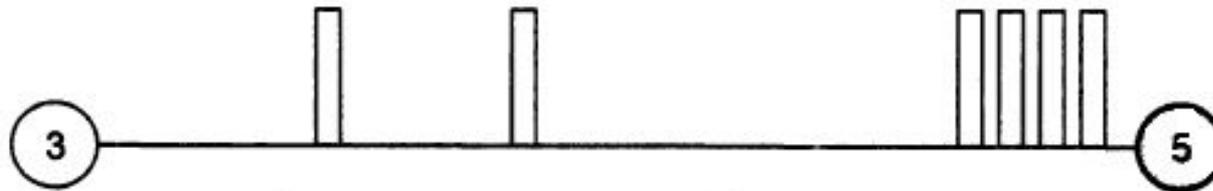


# Коммутация пакетов

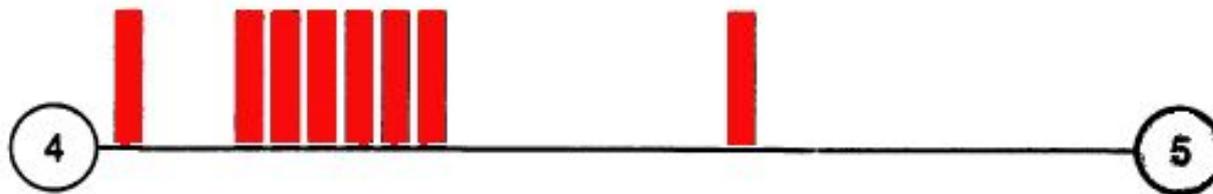


-  - конечные узлы
  -  - коммутаторы
  -  - пакеты
- данные      заголовок

# Коммутация пакетов



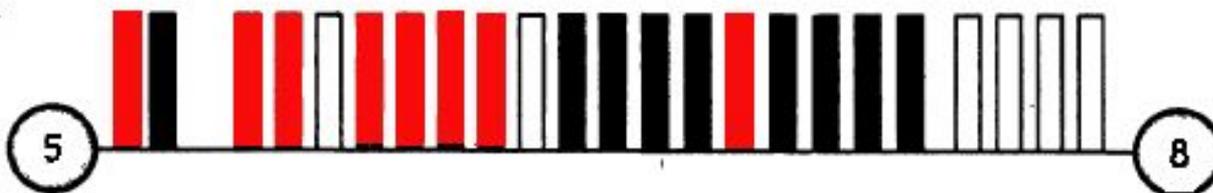
Поток из узла 3 в сторону коммутатора 5



Поток из узла 4 в сторону коммутатора 5



Поток из узла 10 в сторону коммутатора 5



Суммарный поток из коммутатора 5 в сторону коммутатора 8

# Коммутация пакетов.

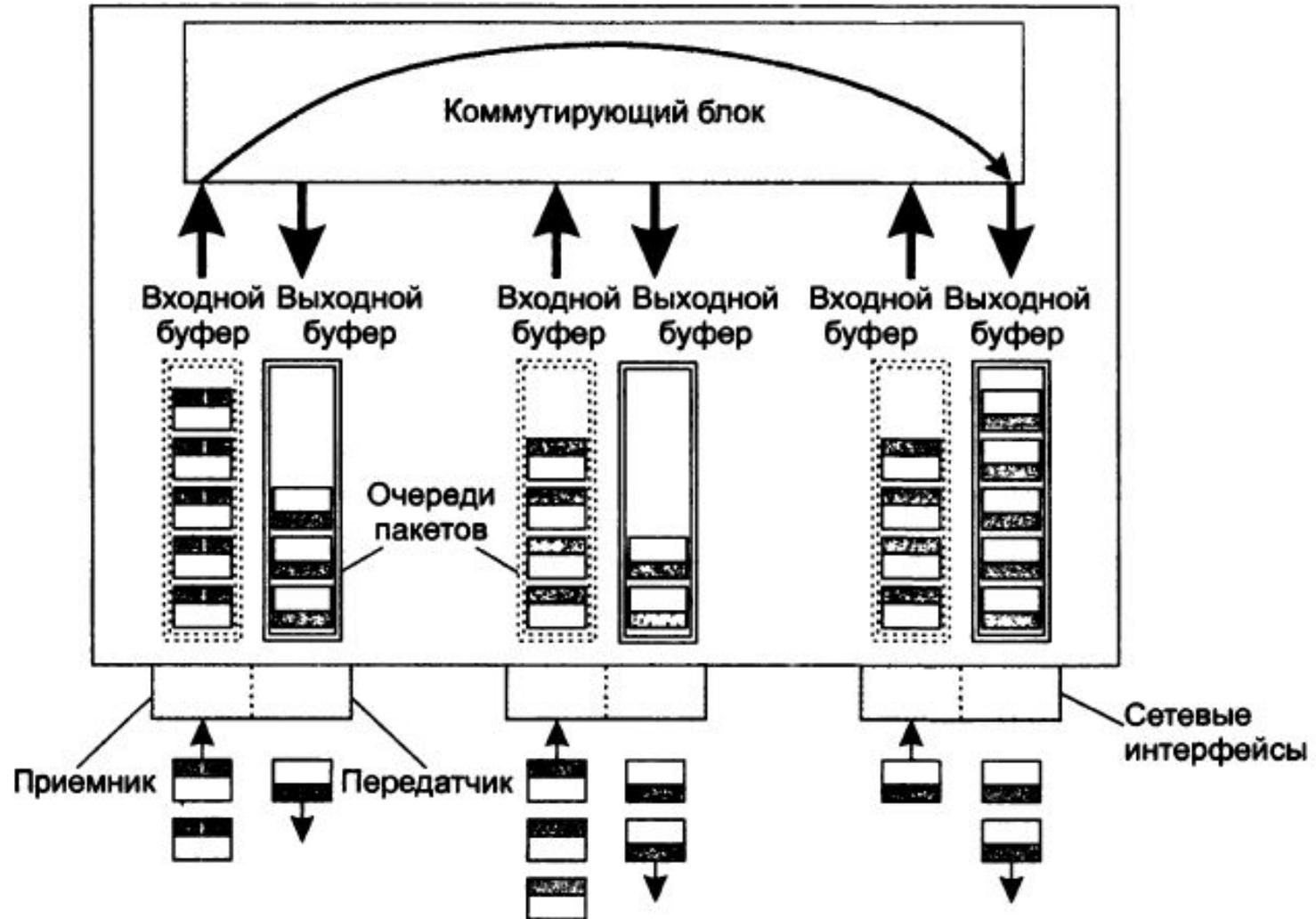
## Буферизация пакетов

- Главное отличие пакетных коммутаторов от коммутаторов в сетях с коммутацией каналов – наличие внутренней **буферной памяти** для временного хранения пакетов.
- Чтобы принять решение о продвижении, надо иметь пакет целиком. Пакет бит за битом помещается во **входной буфер**. Потом проверяется checksum, затем принимается решение о продвижении пакета дальше.
- **Сохранение с продвижением** (store and forward) – каждый пакет побитно помещается во входной буфер, затем коммутатор решает, через какой интерфейс дальше передать пакет.

Буферизация необходима для:

- согласования скоростей передачи данных в линиях связи, подключенных к его интерфейсам (если поступление пакетов превышает пропускную способность линии – организуется выходная очередь на интерфейсе).
- согласования скорости поступления пакетов со скоростью их коммутации (если коммутатор не успевает разбирать пакет, выделять адрес, проверять контрольную сумму – организуется входная очередь).

# Коммутация пакетов. Буферизация пакетов



# Коммутация пакетов. Буферизация пакетов

Используются различные архитектуры коммутаторов: с единственным центральным процессором, с отдельными дополнительными процессорами на интерфейсах. В случае переполнения очереди будет происходить потеря пакетов.

Есть три метода продвижения пакетов:

1. Дейтаграммная передача.
2. Передача с установлением логического соединения.
3. Передача с установлением виртуального канала.

# Коммутация пакетов.

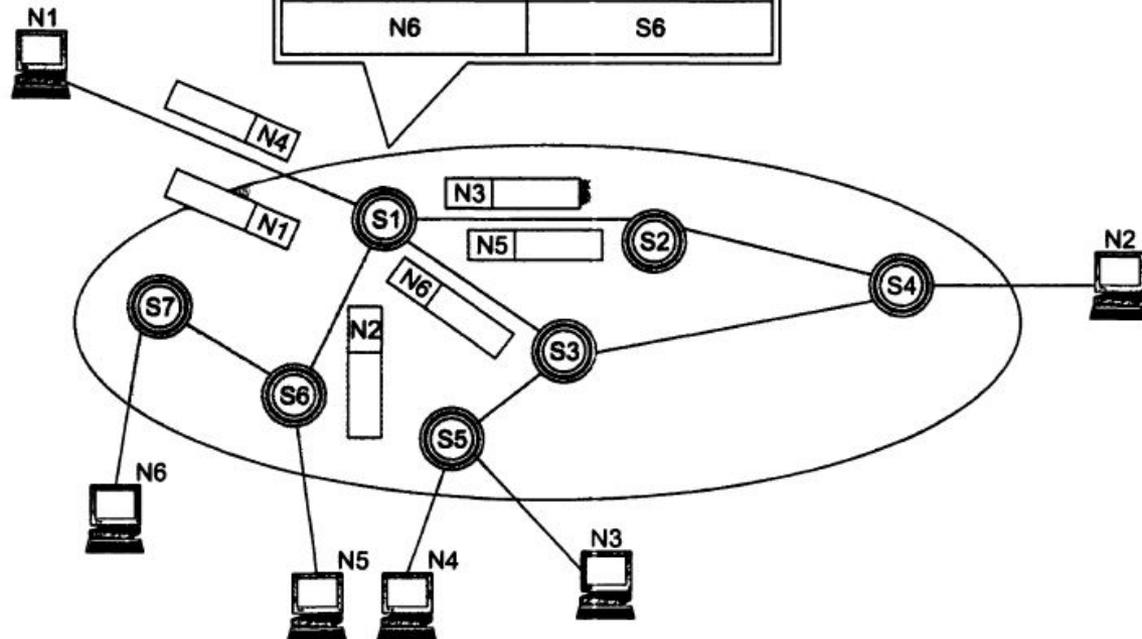
## Дейтаграммная передача

- Дейтаграммный способ передачи данных – все пакеты передаются от одного узла другому (продвигаются) **независимо** друг от друга на основании одних и тех же правил.
- Пакет обрабатывается только по данным, содержащимся в заголовке, и по состоянию сети (пакет может стоять в очереди дольше или меньше). Никакая информация об уже переданных пакетах не хранится.
- Каждый отдельный пакет – независимая единица передачи или **дейтаграмма**.

# Коммутация пакетов. Дейтаграммная передача

Таблица коммутации  
коммутатора S1

Адрес назначения	Адрес следующего коммутатора
N1	Пакет не требуется передавать через сеть
N2	S2
N3	S3
N4	S3
N5	S6
N6	S6



# Коммутация пакетов.

## Дейтаграммная передача

- Пакет продвигается на основании адреса в заголовке и таблиц коммутации (адрес – следующий узел). Для одного адреса может быть несколько записей – **баланс нагрузки**.
- Баланс нагрузки позволяет повысить производительность и надежность сети. Пакеты для одного адресата могут добираться до него разными путями (отказ промежуточного оборудования, изменение состояния сети).

### **Достоинства:**

- Работает быстро (нет предварительных действий).

### **Недостатки:**

- Доставка пакета не гарантируется – пакет доставляется с максимальными усилиями (best effort).

# Коммутация пакетов.

## Логическое соединение

**Логическое соединение** – устройства сети «помнят» историю обмена данными (число полученных-отправленных пакетов).

**Установление логического соединения** – процедура согласования двумя конечными узлами параметров процесса обмена пакетами.

**Рациональное продвижение пакетов:**

- Если пакеты нумеровать, то получатель может фильтровать дубликаты, упорядочивать пакеты по мере поступления, сообщать отправителю, чтобы повторил передачу потерянного пакета.
- При потере нескольких пакетов скорость отправки оставшихся может быть снижена.

# Коммутация пакетов.

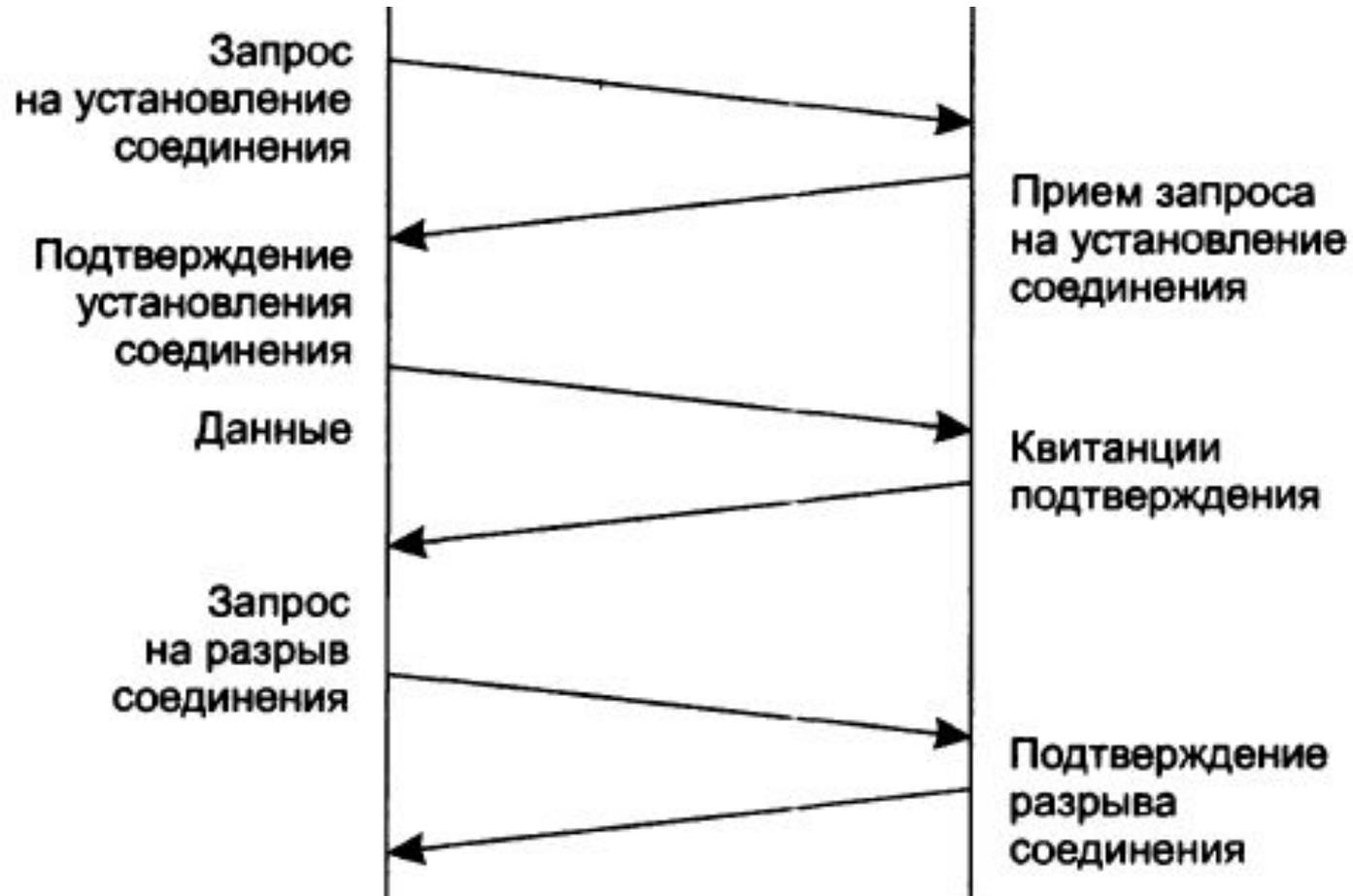
## Алгоритм установки логического соединения

1. Узел-инициатор соединения отправляет узлу-получателю служебный пакет с предложением установить соединение
2. Если узел-получатель согласен, то он отвечает служебным пакетом с параметрами соединения (идентификатор соединения, количество кадров, которые можно отправлять без получения подтверждения)
3. Узел-инициатор соединения может закончить процесс установления соединения отправкой третьего служебного пакета с согласием на эти предложенные параметры.

Логическое соединение может устанавливаться для **односторонней** или **двусторонней** передачи данных. После передачи законченного набора данных узел-отправитель служебным кадром разрывает соединение.

# Коммутация пакетов.

## Установка логического соединения



# Коммутация пакетов. Логическое соединение

## **Отличия от дейтаграммного продвижения пакетов**

- Поддерживается два типа кадров: служебный и информационный.
- На конечных узлах пакеты проходят дополнительную обработку (шифрование-расшифровку, посылку копий и фильтрацию дубликатов пакетов)

## **Достоинства:**

- Выше надежность (подтверждения) и безопасность (шифрование).
- Реализация дифференциального обслуживания информационных потоков.

## **Недостатки:**

- Медленнее из-за затрат на установление и поддержания логического соединения

## Коммутация пакетов.

### Передача с установлением виртуального канала

- Частный случай логического соединения, в число параметров которого входит **жестко заданный маршрут** продвижения пакетов.
- **Виртуальный канал** (virtual circuit/channel) – единственный заранее заданный фиксированный маршрут, соединяющий узлы СКП.
- Виртуальные каналы прокладываются для устойчивых информационных потоков. Пакеты таких потоков помечаются идентификаторами – **метками**.

# Коммутация пакетов.

## Алгоритм прокладки виртуального канала

### Алгоритм прокладки виртуального канала:

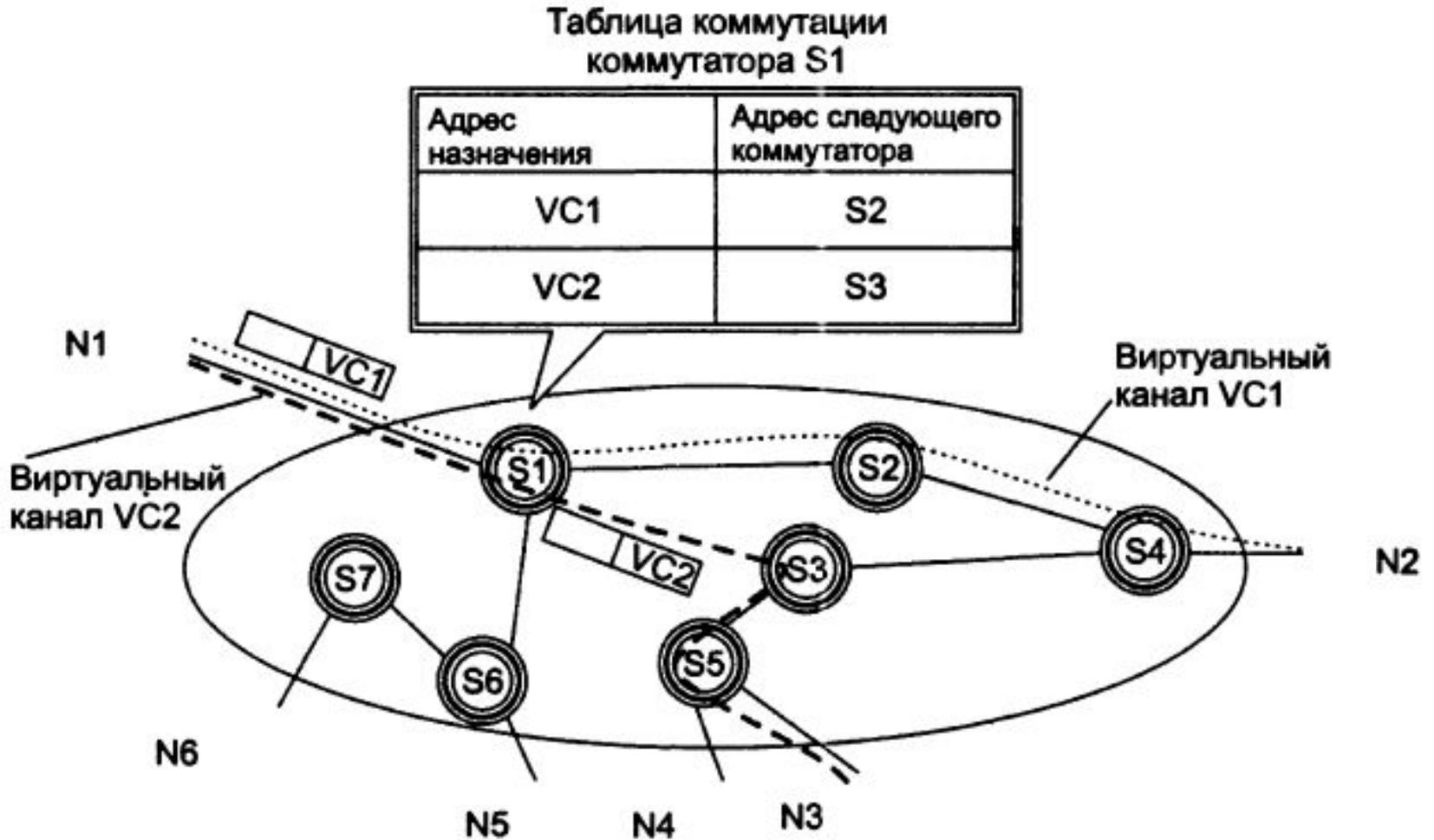
- Узел-источник отправляет служебный пакет, который содержит адрес назначения и метку потока.
- Пакет на каждом промежуточном коммутаторе формирует новую запись в локальных таблицах коммутации.

При передаче информационного потока в каждом пакете **адрес назначения не указывается**, но содержится **метка виртуального канала**.

Таблица коммутации в этом случае содержит записи только о проходящих через коммутатор виртуальных каналах, а не обо всех возможных адресах назначения.

# Коммутация пакетов.

## Передача с установлением виртуального канала



## Коммутация пакетов.

Передача с установлением виртуального канала

### **Достоинства:**

- Те же, что и в способе на основе логического соединения.
- Таблица коммутации в коммутаторах короче (записи только о проходящих виртуальных каналах).
- Заголовок короче – содержит короткую метку канала вместо длинного адреса.

### **Недостатки:**

- Накладные расходы на поддержание виртуального канала.

# Сравнение СКК и СКП

Критерий	СКК	СКП
Предварительная установка соединения	Необходима	Не нужна (дейтаграммное продвижение)
Адрес узла назначения	Нужен только при установке соединения	Адрес и служебная информация передаются в каждом пакете
Готовность к новой передаче	Сеть может отказать узлу в установлении соединения	Сеть всегда готова принять данные от узла
Передача трафика	Трафик реального времени передается без задержек	Эффективная передача пульсирующего трафика
Надежность	Высокая	Возможны потери из-за переполнения буферов коммутаторов
Использование пропускной способности каналов сети	Нерациональное	Автоматическое динамическое распределение пропускной способности физического канала между абонентами
Полоса пропускания	Гарантирована для взаимодействующих узлов	Неизвестна для узлов, задержки случайны.

# Сравнение СКК и СКП

## **Преимущества коммутации пакетов:**

1. Линия используется эффективнее. Пакеты стоят в очереди и передаются по каналу с максимальной скоростью. При КК время передачи по каналу установлено заранее, большую часть выделенного времени канал простаивает.
2. В сети с КП можно изменять скорость передачи данных.
3. Когда в сети с КК увеличивается нагрузка, сеть не принимает новые запросы. Сеть с ПК продолжает принимать пакеты, но задержка при доставке увеличивается.
4. Можно применять приоритеты. Пакеты с более высоким приоритетом будут переданы первыми.
5. При появлении ошибки требуется повторная передача только пакета.

# Сравнение СКК и СКП

## **Недостатки коммутации пакетов:**

1. При каждом прохождении пакета через узел коммутационной сети возникает задержка, отсутствующая при КК.
2. Поскольку пакеты, передаваемые данным источником данному адресату, могут иметь различный размер, передаваться по различным маршрутам и задерживаться на различное время, общее время задержки пакета может значительно варьироваться. Это критично, например, при передаче речи по телефону и видео реального времени.
3. К каждому пакету добавляется служебная информация – адрес назначения и информацию по упорядочению пакетов. В сети с КК данные служебные издержки становятся ненужными сразу же после настройки канала.
4. Требуется большая обработка информации, чем при коммутации каналов, когда обработка на промежуточных узлах практически отсутствует.