ATM
(Asynchronous Transfer Mode)

Предусматривает интегрированную передачу данных, речи и видео в едином канале.

На сегодняшний день используется на канальном и физическом уровнях.

Не предусматривает управления потоками на транзитных узлах. Проблемы обеспечения качества обслуживания решаются средствами оконечных узлов (классификация трафика)

- Скорости:
  - Магистраль: 155 и 622 Мбит/с (симметричный кабель, коаксиальный, оптический)
  - Пользователь: от 2 Мбит/с (может использоваться совместно с HDLC по витой паре)
- Нагрузка ATM может размещаться в кадрах SDH (см. лекцию SDH)
- В качестве нагрузки может выступать трафик IP-сетей.
- Организует виртуальные каналы (VC), группа виртуальных каналов образует виртуальный путь (VP) путем статистического мультиплексирования.

Основные особенности технологии ATM

- Небольшой и фиксированный размер ячейки, что приводит к упрощению расчета буфера коммутатора
- Возможность установления постоянных и коммутируемых виртуальных соединений
- Гарантированное качество обслуживания за счет резервирования ресурсов и классификации трафика
- Возможность сопряжения с IP-сетями
- Поддержка группового вещания (multicasting)
- Поддержка стандартных методов кодирования сигнала на физическом уровне (например, SDH)
- Поддержка всех видов кабеля (симметричный, коаксиальный, волоконно-оптический)

Основные принципы технологии ATM

- Сеть ATM имеет иерархическую структуру крупной территориальной сети — конечные станции соединяются индивидуальными линиями связи с коммутаторами нижнего уровня, которые, в свою очередь, соединяются с коммутаторами более высоких уровней.
- Коммутаторы ATM поддерживают как каналы PVC, так и каналы SVC.
- Для сетей ATM определен протокол маршрутизации **PNNI** (Private NNI — частный интерфейс NNI), с помощью которого коммутаторы могут строить таблицы маршрутизации автоматически, причем с учетом требований инжиниринга трафика.
- В публичных сетях ATM обычно используются адреса в стандарте E.164, что делает простым взаимодействие этих сетей с телефонными сетями.
- Адреса ATM имеют иерархическую структуру, подобно телефонным номерам или IP-адресам, которая обеспечивает масштабируемость сетей ATM до любого уровня.

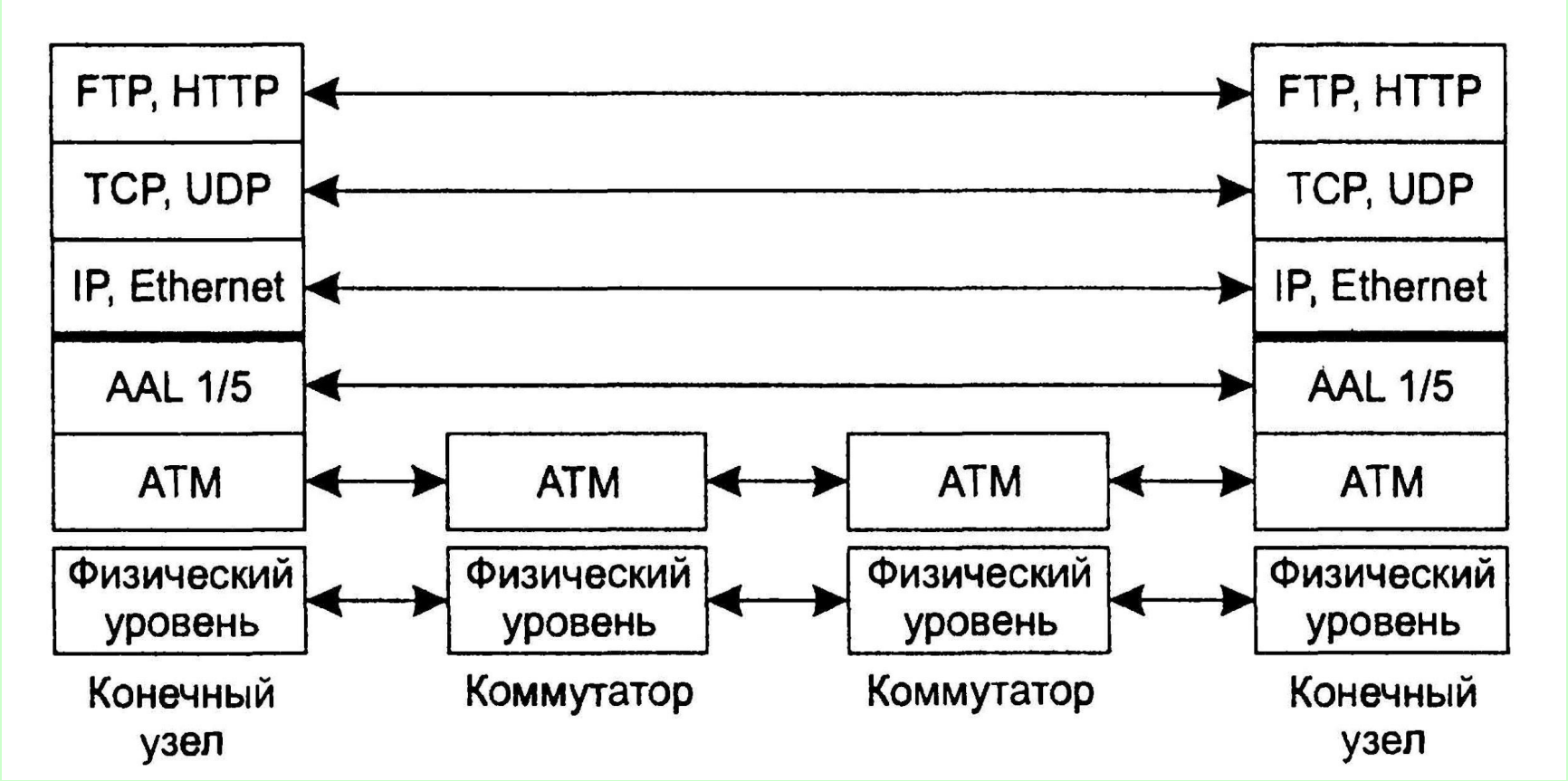
Спецификации физического уровня

- Стандарт ATM не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня.
  - Стандарт основывается на технологии SDH/SONET, принимая ее иерархию скоростей.
  - В соответствии с иерархией начальная скорость доступа пользователя сети — это скорость STM-1/OC-3 - 155Мбит/с.
  - Магистральное оборудование ATM работает и на более высоких скоростях STM-4 - 622 Мбит/с и STM-16 - 2,5 Гбит/с.
  - Существует также оборудование ATM, которое поддерживает скорости PDH, такие как 2 или 34/45 Мбит/с.

Количественные параметры в технологии ATM

- В технологии ATM для каждого класса трафика определен набор количественных параметров, которые приложение должно задать.
- Поддерживается следующий набор основных количественных параметров для трафика виртуального соединения:
  - *пиковая скорость передачи ячеек* (Peak Cell Rate, PCR);
  - *средняя скорость передачи ячеек* (Sustained Cell Rate, SCR);
  - *минимальная скорость передачи ячеек* (Minimum Cell Rate, MCR);
  - *максимальная величина пульсаций* (Maximum Burst Size, MBS);
  - *доля потерянных ячеек* (Cell Loss Ratio, CLR);
  - *задержка передачи ячеек* (Cell Transfer Delay, CTD);
  - *вариация задержек ячеек* (Cell Delay Variation, CDV).

Взаимодействие с протоколами в сети АТМ



Стек протоколов ATM

Верхние уровни сети

<table>
<tr><td rowspan="3">Уровни адаптации ATM (AAL1-5)</td><td rowspan="2">Подуровень конвергенции (CS)</td><td>Общая часть подуровня конвергенции</td></tr>
<tr><td>Специфическая для сервиса часть</td></tr>
<tr><td colspan="2">Подуровень сегментации и реассемблирования (SAR)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Уровень ATM
(маршрутизация пакетов, мультиплексирование, управление потоком, обработка приоритетов)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Физический уровень</td><td colspan="2">Подуровень согласования передачи</td></tr>
<tr><td colspan="2">Подуровень, зависящий от физической среды</td></tr>
</table>

Уровни ATM

Уровень адаптации ATM (AAL)
Уровень ATM
Физический уровень ATM

Разделяется на подуровни в зависимости от типа трафика:

AAL1 – гарантированная доставка, постоянная скорость, для класса A

AAL2 - гарантированная доставка, переменная скорость, для класса B

AAL3/4 – гарантированная и негарантированная доставка, переменная скорость, управление потоком

AAL5 – негарантированная доставка, управление потоком. Поддерживает передачу IP поверх ATM

Уровень адаптации ATM

- **Уровень адаптации ATM** (ATM Adaptation Layer, AAL) представляет собой набор протоколов AAL1-AAL5, которые преобразуют сообщения протоколов верхних уровней сети ATM в ячейки ATM нужного формата.
- Уровень адаптации состоит из двух подуровней.
  - **Подуровень сегментации и реассемблирования** (Segmentation And Reassembly, SAR) является нижним подуровнем AAL Эта часть не зависит от типа протокола AAL (и, соответственно, от класса передаваемого трафика) и занимается разбиением (сегментацией) сообщения, принимаемого AAL от протокола верхнего уровня, на ячейки ATM, снабжением их соответствующим заголовком и передачей уровню ATM для отправки в сеть.
  - **Подуровень конвергенции** (Convergence Sublayer, CS) — это верхний подуровень AAL. Этот подуровень зависит от класса передаваемого трафика. Протокол подуровня конвергенции решает такие задачи, как обеспечение временной синхронизации между передающим и принимающим узлами (для трафика, требующего такой синхронизации), контролем и возможным восстановлением битовых ошибок в пользовательской информации, контролем целостности передаваемого пакета компьютерного протокола (X.25, Frame Relay).
- Протоколы AAL для выполнения своей работы используют служебную информацию, размещаемую в заголовках уровня AAL.

Функции протокола ATM

- Протокол ATM выполняет коммутацию по **номеру виртуального соединения,** который в технологии ATM разбит на две части:
  - **идентификатор виртуального пути** (Virtual Path Identifier, VPI);
  - **идентификатор виртуального канала** (Virtual Channel Identifier, VCI).
- Протокол ATM выполняет ряд функций:
  - по контролю за соблюдением трафик-контракта со стороны пользователя сети,
  - маркировке ячеек-нарушителей,
  - отбрасыванию ячеек-нарушителей при перегрузке сети,
  - управлению потоком ячеек для повышения производительности сети.

Адресация в сетях ATM

- Адрес конечного узла в коммутаторах ATM 20-байтный.
  - При работе в публичных сетях используется адрес стандарта E.164. Адрес имеет гибкий формат и может делиться на части для обеспечения иерархической маршрутизации между сетями и подсетями. Он поддерживает больше уровней иерархии, чем IPv-4-адрес, и похож в этом отношении на IPv6-адрес.
  - Последние 6 байт адреса занимает поле идентификатора конечной системы (End System Identifier, ESI), которое имеет смысл MAC-адреса узла ATM, причем формат его также соответствует формату MAC-адреса.

Структура ячейки ATM

Пакеты ATM называются ячейками и имеют фиксированный размер: 53 байта

Кадр ATM в 53 байта с полем данных 48 байт - результат компромисса между требований эластичного и чувствительного к задержкам трафиков.
Для обозначения небольшого и фиксированного по размеру кадра ATM используется специальное название — *ячейка.*

При размере поля данных в 48 байт одна ячейка ATM обычно переносит 48 замеров голоса, которые делаются с интервалом в 125 мкс.
Первый замер должен ждать примерно 6 мс, прежде чем ячейка будет отправлена по сети.
По этой причине телефонисты боролись за уменьшение размера ячейки, так как 6 мс — это задержка, близкая к пределу, за которым начинаются нарушения качества передачи голоса.
При выборе размера ячейки в 32 байта задержка пакетизации составила бы 4 мс, что гарантировало бы более качественную передачу голоса.

Пользователь-сеть

8 бит

Управление потоком	VPI	
VPI	VCI	
VCI		
VCI	Тип нагрузки	флаг
Контрольная сумма заголовка		

Сеть-сеть

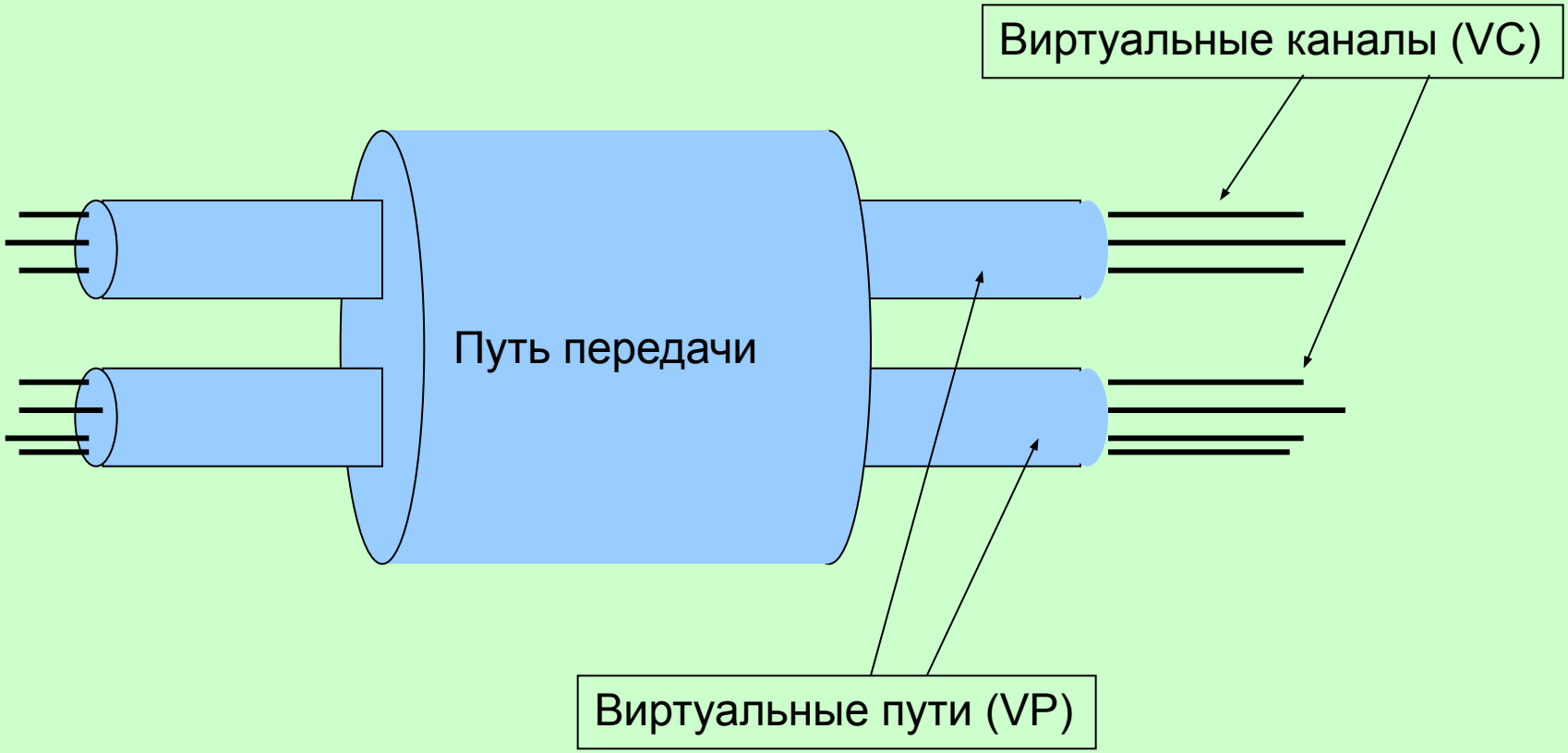
8 бит

VPI		
VPI	VCI	
VCI		
VCI	Тип нагрузки	флаг
Контрольная сумма заголовка		

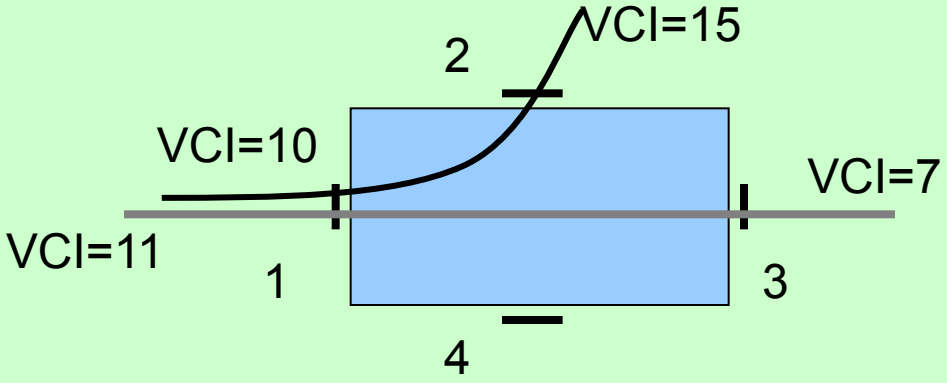
Тип полезной нагрузки задается согласно классам ATM
Флаг определяет чувствительность к потерям (допустимы или нет)
VCI – идентификатор виртуального канала
VPI – идентификатор виртуального пути

- Для маршрутизации в ATM используется протокол PNNI (идея протокола аналогична OSPF).
- VCI аналогичен MAC-адресу. При продвижении ячейки не модифицируется.
- Назначение VC происходит один раз, при установлении соединения.
- При прохождении ячейки по сети используется коммутация по метке.

Виртуальные пути и виртуальные каналы



Пример таблицы коммутации



Port-in	VCI-in	VCI-out	Port-out
1:	10	15	2
	11	7	3
2:	15	10	1
3:	7	11	1

Параметры классов ATM

<table>
<tr><th rowspan="2">Параметры</th><th colspan="4">Классы ATM</th></tr>
<tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr>
<tr><td>Временная зависимость</td><td colspan="2">Существует</td><td colspan="2">Не существует</td></tr>
<tr><td>Скорость передачи</td><td>CBR</td><td colspan="3">VBR</td></tr>
<tr><td>Режим соединения</td><td colspan="3">Ориентирован на соединение</td><td>Не ориенти-рован</td></tr>
</table>

Примечание. CBR - Constant Bit Rate – постоянная скорость передачи; VBR - Variable Bit Rate – переменная скорость передачи.

Классы услуг ATM (определяются на оконечных устройствах)

- **CBR** (Constant Bit Rate): трафик реального времени, генерируемый с постоянной скоростью (телефония, видеоконференцвсязь) Механизм: резервирование ресурсов.
- **rtVBR** (Real Tie Variable Bit Rate): трафик реального времени с переменной скоростью (интерактивное видео, трафик транзакций в реальном времени). Механизмы: алгоритм «дырявого ведра», установление согласованных скоростей.

- **nrtVBR** (Non-Real Time Variable Bit Rate): трафик транзакций с низкими требованиями к задержкам (обращение к файловому серверу, например), видео по запросу. Механизмы: алгоритм «дырявого ведра», установление согласованных скоростей.
- **ABR** (Available Bit Rate): эластичный трафик. Механизм: адаптивный алгоритм управления потоком. Хорошо работает с TCP.
- **UBR** (Unspecified Bit Rate): приложения, для которых возможна негарантированная доставка, например, передача файлов. Механизмы: отбрасывание ячеек.

- Уровень адаптации ATM:
  - Адаптация к верхним уровням (прикладным ATM или IP)
  - Сегментация и сборка пакетов верхних уровней
  - Задание параметров передачи трафика и QoS в зависимости от типа трафика.
- Уровень ATM:
  - Управление потоком
  - Генерация и удаление заголовков ячеек
  - Преобразование идентификаторов виртуальных путей (VPI) и виртуальных каналов (VCI)
  - Организация виртуальных путей и каналов
  - Мультиплексирование и демультиплексирование ячеек

Качество обслуживания QoS

Класс	A	B	C	D
Служба реального времени	используется		не используется	
Скорость передачи данных	постоянная	переменная		
Модель обмена данными	ориентирована на соединение			не ориентир. на соединение
Уровень адаптации ATM	AAL 1	AAL 2	AAL 3/4, AAL 5	AAL 3/4

Перед включением станции в сеть необходимо настроить уровень адаптации ATM в соответствие с выбранным классом обслуживания. Заголовки разных уровней адаптации отличаются друг от друга.

- Физический уровень:

Разбивается на подуровни:

- Среды передачи (кодирование, способ передачи по кабелю)
- Конвергенции с системой (определение порядка передачи ячеек в потоке, контроль границы ячеек, исправление и обнаружение ошибок, согласование скоростей, добавление пустых ячеек. Пустые ячейки – добавляются для согласования скоростей в случае, если поток ячеек с уровня АТМ недостаточен.

Также добавляются ячейки физического уровня - каждая 27-я ячейка несет информацию эксплуатации и технического облуживания. Отличаются заголовками: первые три байта содержат только нули.

Обеспечение качества обслуживания

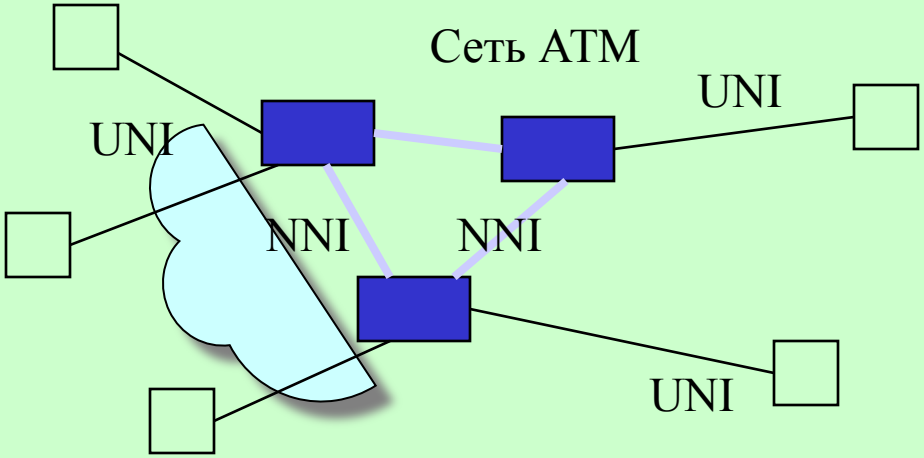
- Используются встроенные механизмы Уровня Адаптации ATM, основанные на классификации трафика.
- На Уровне ATM используется аналог алгоритма «дырявого ведра»: механизм GCRA (Generic Cell Rare Algorithm) для контроля нескольких параметров: пиковой скорости, средней скорости, вариации интервала прибытия ячеек и объема пульсации.
- На уровне AAL5 используется механизм PPD (Partial Packet Discard) – при обнаружении потери одной ячейки, отбрасываются все ячейки, принадлежащие передаваемому пакету.
- Также используется аналог алгоритма RED – алгоритм EPD (Early Packet Discard). Отбрасывает ячейки, которые не были сброшены PPD.

IP поверх ATM

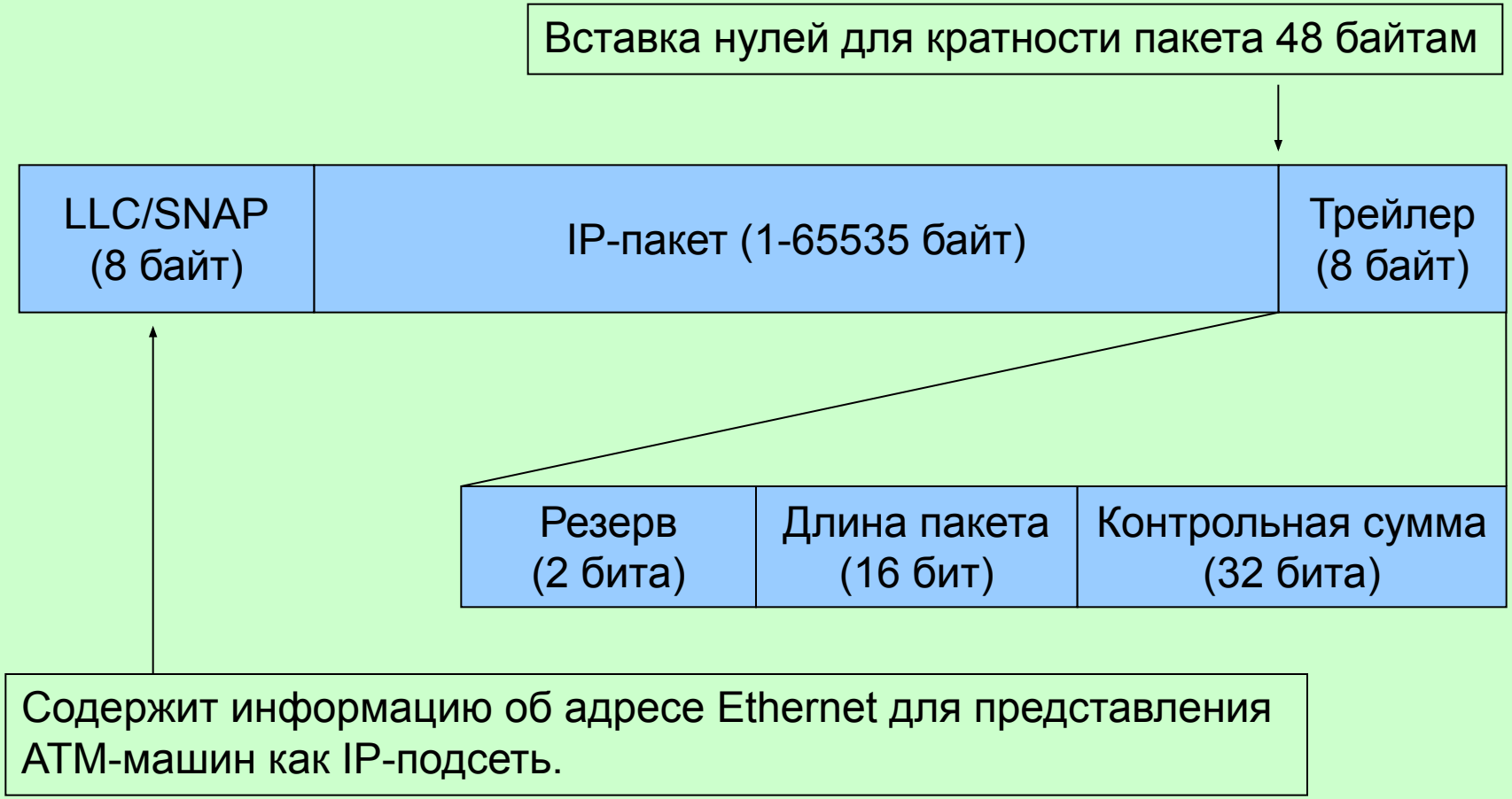
- Для пересылки IP/ATM используется AAL5 – единственный режим, поддерживающий пересылку пакетов переменной длины (1-65535 байт), эмулирующий отсутствие установления VC.
- К IP-пакету добавляется трейлер (в конец) для указания его длины (для ATM)
- Перед IP-пакетом добавляется заголовок LLC/SNAP для трансляции IP-адреса в точку подключения ATM

Структура сети ATM

ATM сеть состоит из коммутаторов ATM и оконечных устройств, соединенных друг с другом. Назначение коммутатора: прочитать заголовочную часть ячейки, изменить маршрутную информацию, отправить ее на один из своих исходящих портов. различают два вида интерфейсов ATM: UNI (user to network interface) и NNI (network to network interface).

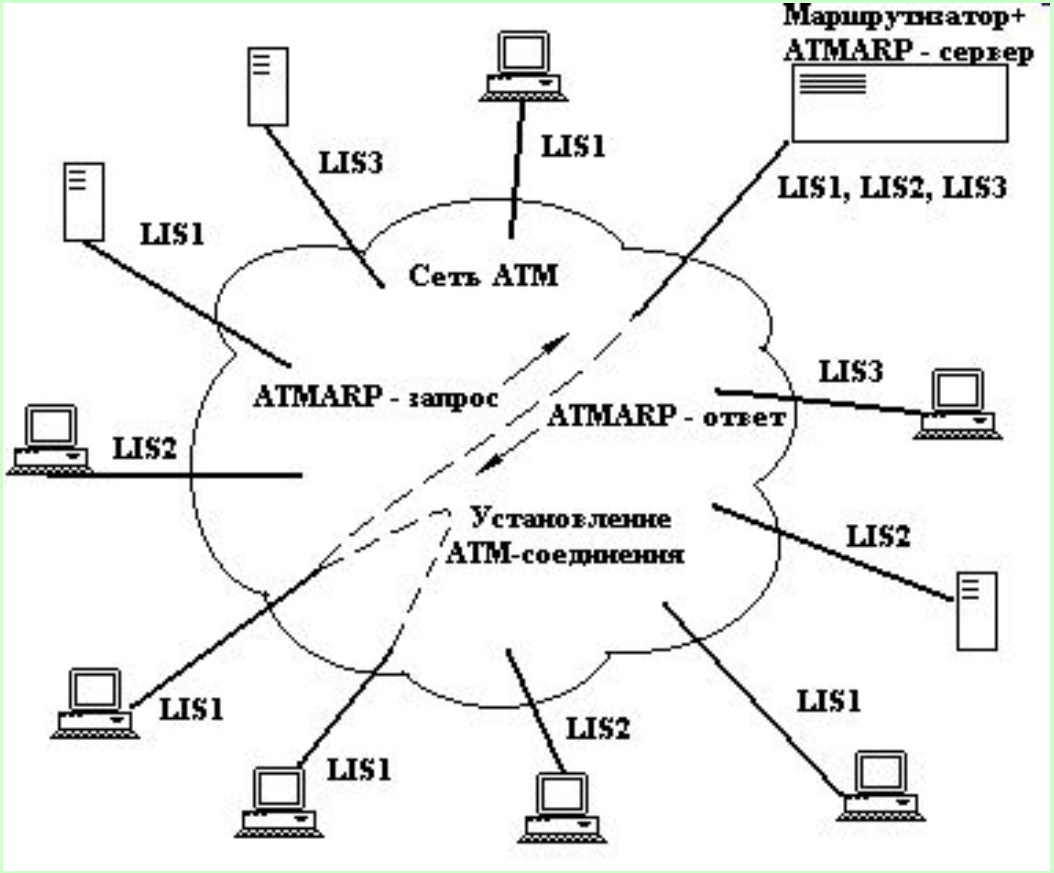


Формирование IP-пакета для пересылки по сети ATM

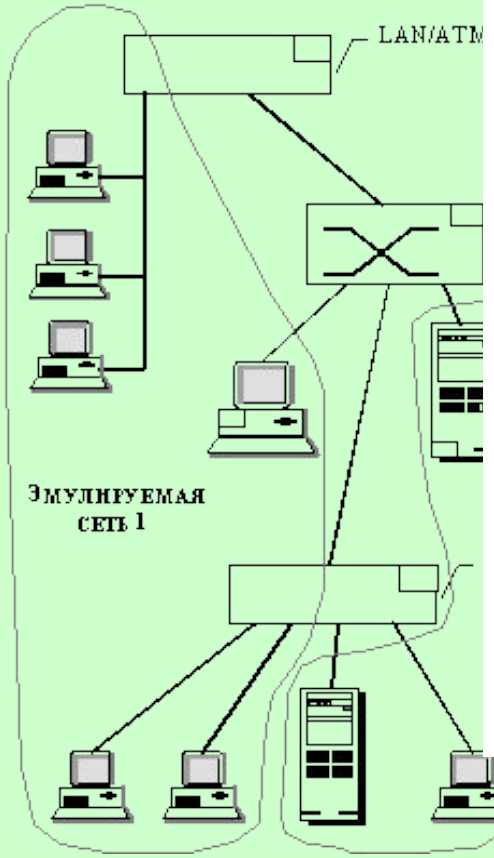


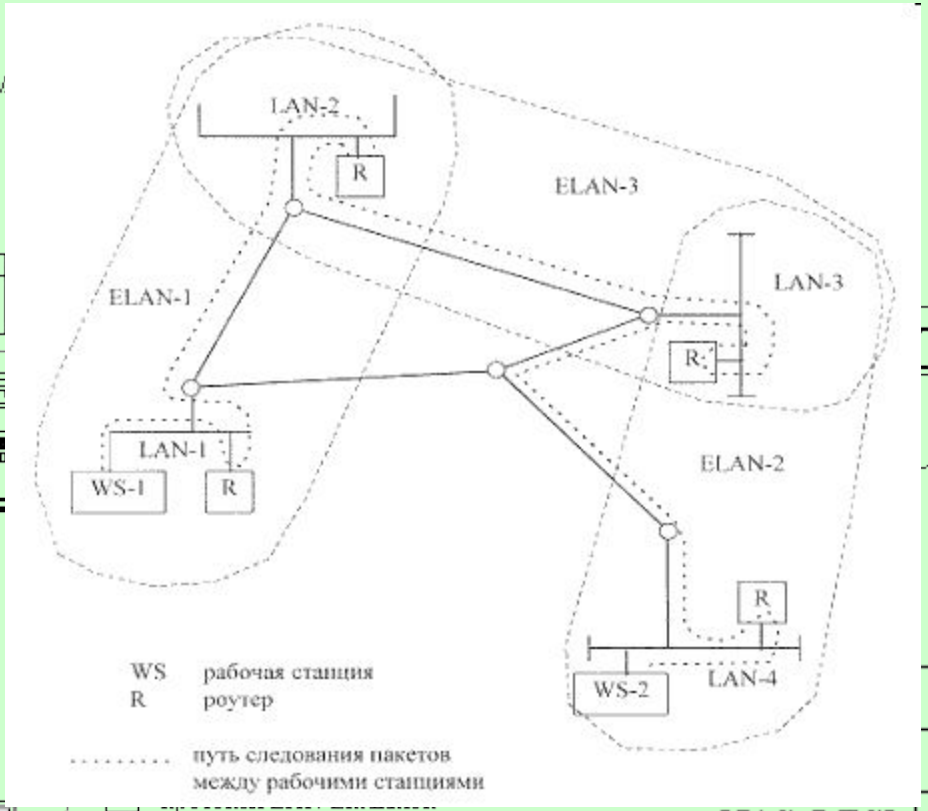
- После этого пакет разбивается на ячейки. Если длина пакета (с трейлером) не кратна 48 байтам, то последняя ячейка добавляется нулями (между пакетом и трейлером)
- Перед пересылкой пакета по сети устанавливается виртуальный канал к получателю.
- Для определения последней ячейки пакета используется поле «Тип нагрузки» и носит в данном случае название «Бит окончания пакета». Данный процесс называется <u>сходимостью.</u>
- MTU = 9180 байт для сетей ATM. Если IP-пакет больше, то его разбивает IP на части и передает каждую отдельно.

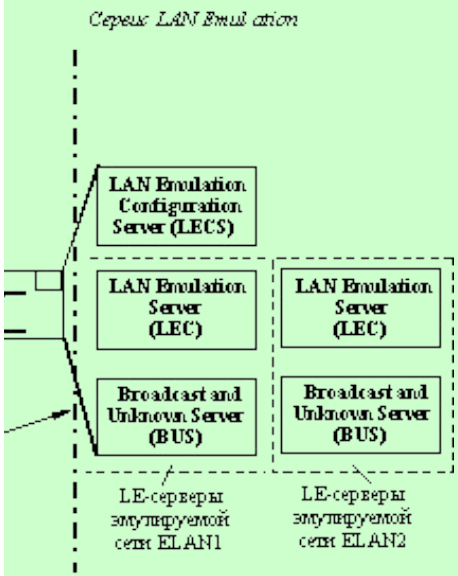
Логические IP-подсети в сети ATM



эмуляция локальных сетей LANE

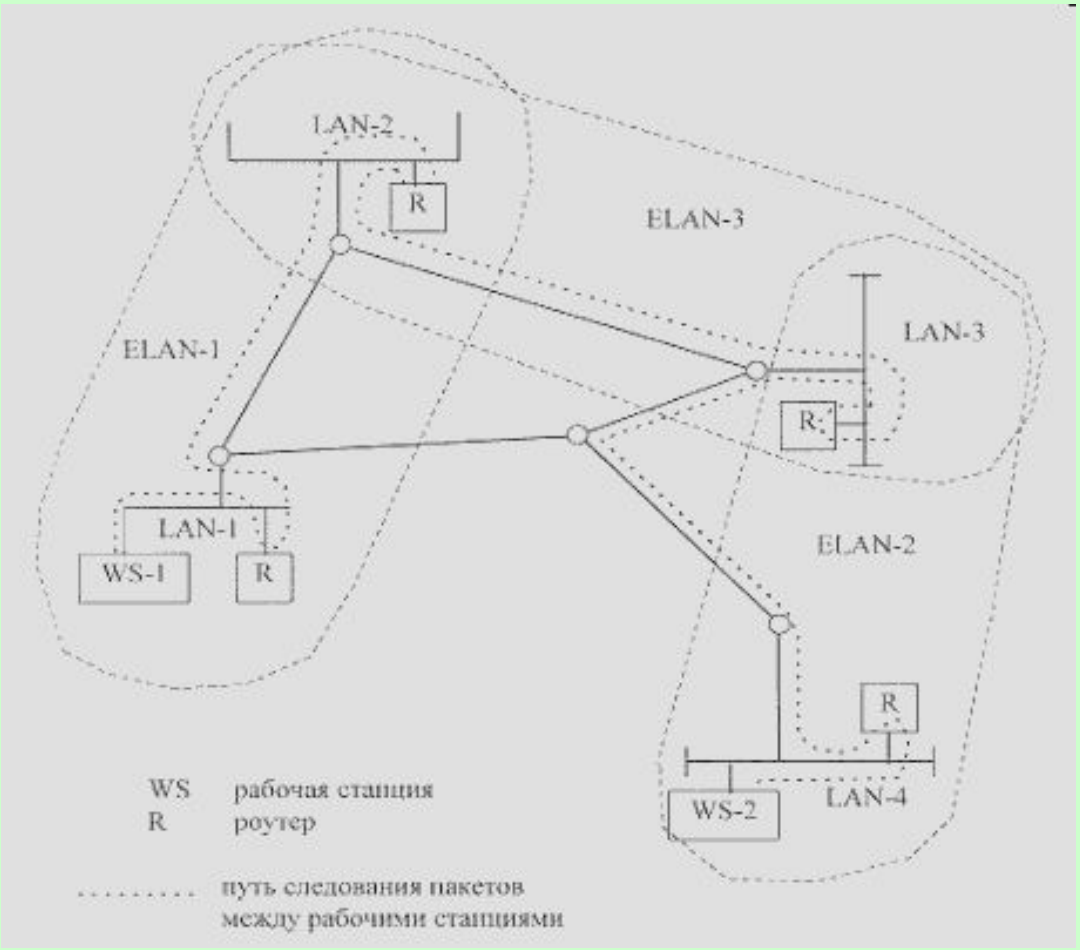






	ATM	LECID
	ATM_LEC2	LEC2
MAC_LEC1	ATM_LEC1	LEC1
MAC11	ATM_LEC1	LEC1
MAC12	ATM_LEC1	LEC1
MAC13	ATM_LEC1	LEC1

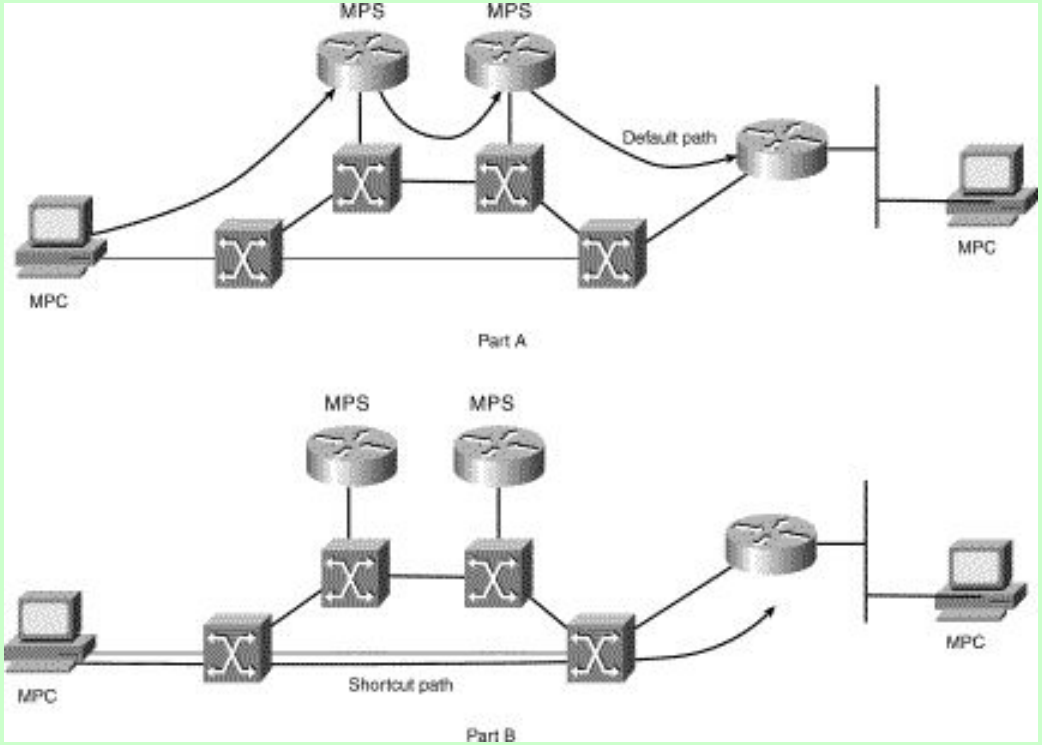
Технология MPOA



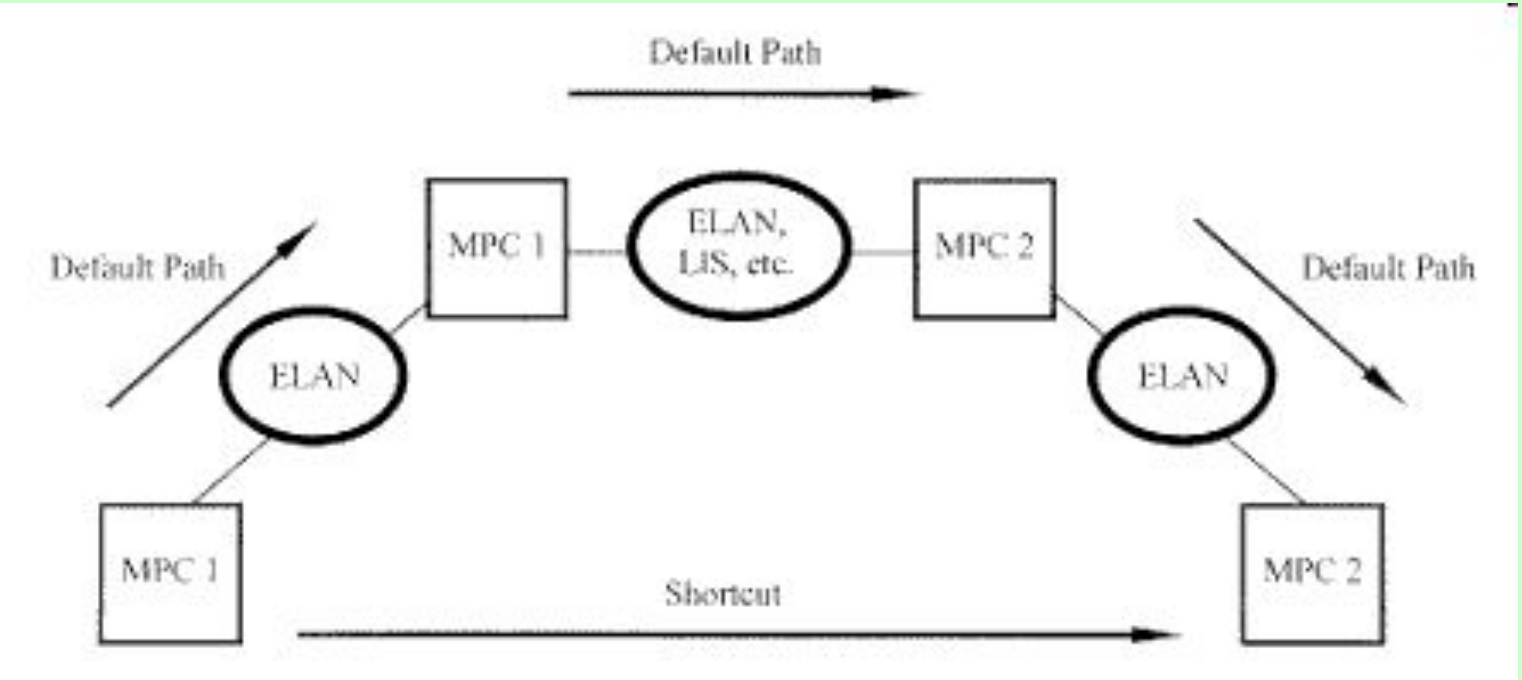
Пример построения сети с помощью ELAN

Multiprotocol over ATM (MPOA)

Если сеть ATM поддерживает устройства MPOA, то возможно сокращение общего трафика через выделенные сервера (маршрутизаторы) локальных сетей. Только несколько первых ячеек пойдут по верхнему пути, после чего алгоритмы MPOA исключат передачу трафика через два верхних (см. рисунок) маршрутизатора, запуская его сразу на оконечный.



Установление MPOA-соединения



Конфигурация. Эта фаза сродни фазе конфигурации в LANE, когда все устройства загружают свои настраиваемые параметры;
Распознавание. В этой фазе клиенты и серверы с помощью LECS узнают параметры друг друга;
Определение клиента-получателя . В этой фазе Ingress MPC определяет ATM-адрес клиента-получателя (Egress) с целью установления до него прямого виртуального канала.
Управление соединением Установление, поддержка и разъединение VC;
Передача данных.

Использование ATM

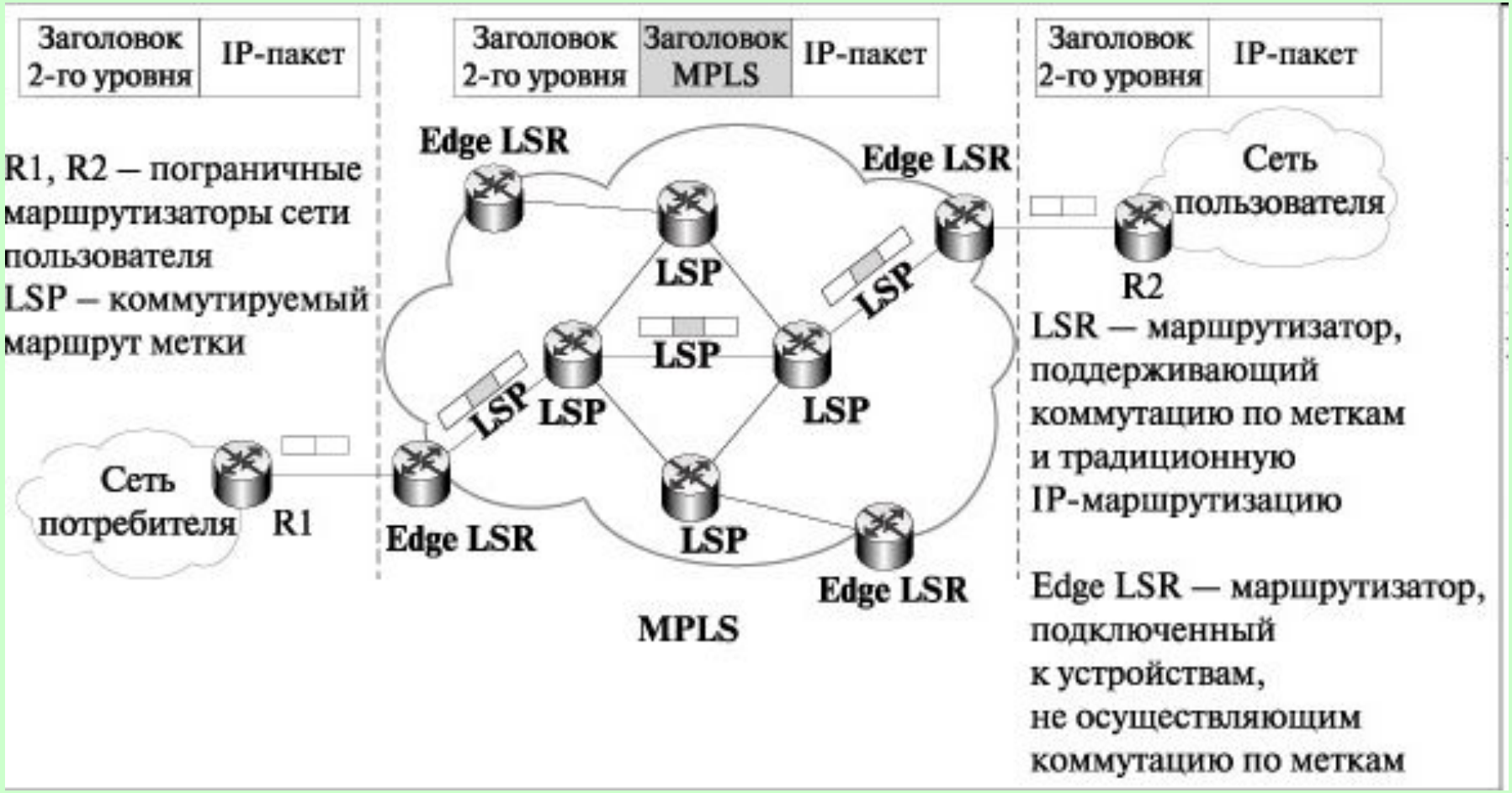
Плюсы:

- Предсказуемость характеристик
- Справедливое распределение полосы пропускания
- Гарантированное QoS
- Зрелость стандартов
- Большой выбор оборудования
- Большое число производителей
- Широкое признание ATM как широкополосной технологии

Минусы:

- Высокая стоимость пользовательских устройств ATM
- Высокая протокольная избыточность
- Сложность использования встроенных механизмов QoS для передачи IP-трафика

Технология MPLS

- **Многопротокольная коммутация меток MPLS** – технология, разработанная рабочей группой по созданию интегрированных услуг IETF. Это новая архитектура построения магистральных сетей, которая значительно расширяет имеющиеся перспективы масштабирования, повышает скорость обработки трафика и предоставляет огромные возможности для организации дополнительных услуг.
- Технология MPLS сочетает в себе возможности управления трафиком, присущие технологиям канального уровня, и масштабируемость и гибкость протоколов, характерные для сетевого уровня. Являясь результатом слияния механизмов разных компаний, она впитала в себя наиболее эффективные решения каждой. MPLS соединила в себе надежность ATM, удобные и мощные средства доставки и обеспечения гарантированного качества обслуживания IP-сетей, — такая интеграция сетей позволяет получить дополнительную выгоду из совместного использования протоколов IP и ATM.
- Главная особенность технологии MPLS – отделение процесса коммутации пакета от анализа IP-адреса в его заголовке, что позволяет осуществлять коммутацию пакетов значительно быстрее. В соответствии с протоколом MPLS маршрутизаторы и коммутаторы присваивают на каждой точке входа в таблицу маршрутизации особую метку и сообщают эту метку соседним устройствам.

Фрагмент MPLS-сети