

# Traffic Engineering

Лекция 3

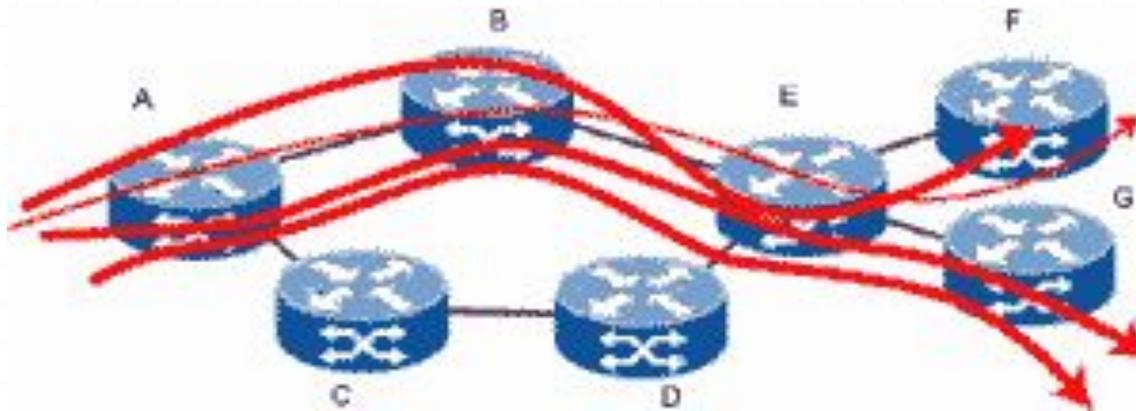
# Основные задачи:

- ✓ Борьба с перегрузкой
- ✓ Профилирование трафика
- ✓ Резервирование ресурсов

**TE** – общее название методов, позволяющих  
обеспечивать QoS  
согласно заключенному SLA.

# Traffic Engineering

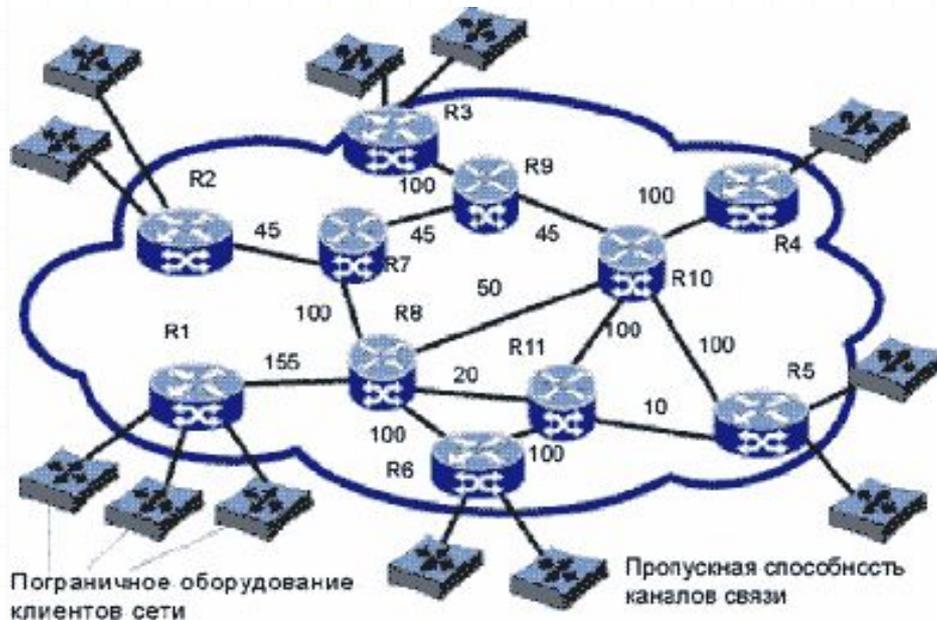
**ТЕ** – методы и механизмы достижения сбалансированности загрузки всех ресурсов сети за счет рационального выбора путей прохождения трафика через сеть.



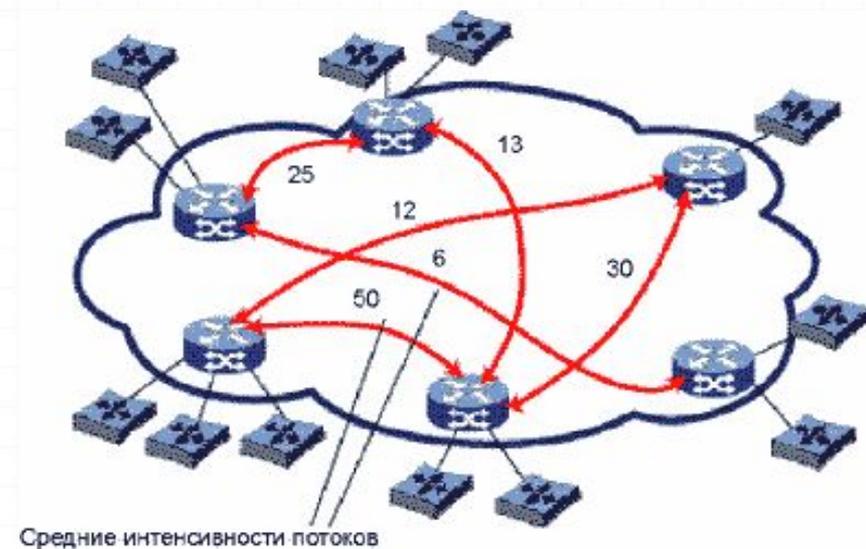
Неэффективность загрузки ресурсов сети путями, определяемыми протоколами маршрутизации.

# Постановка задачи ТЕ

Топология сети и  
производительность её ресурсов

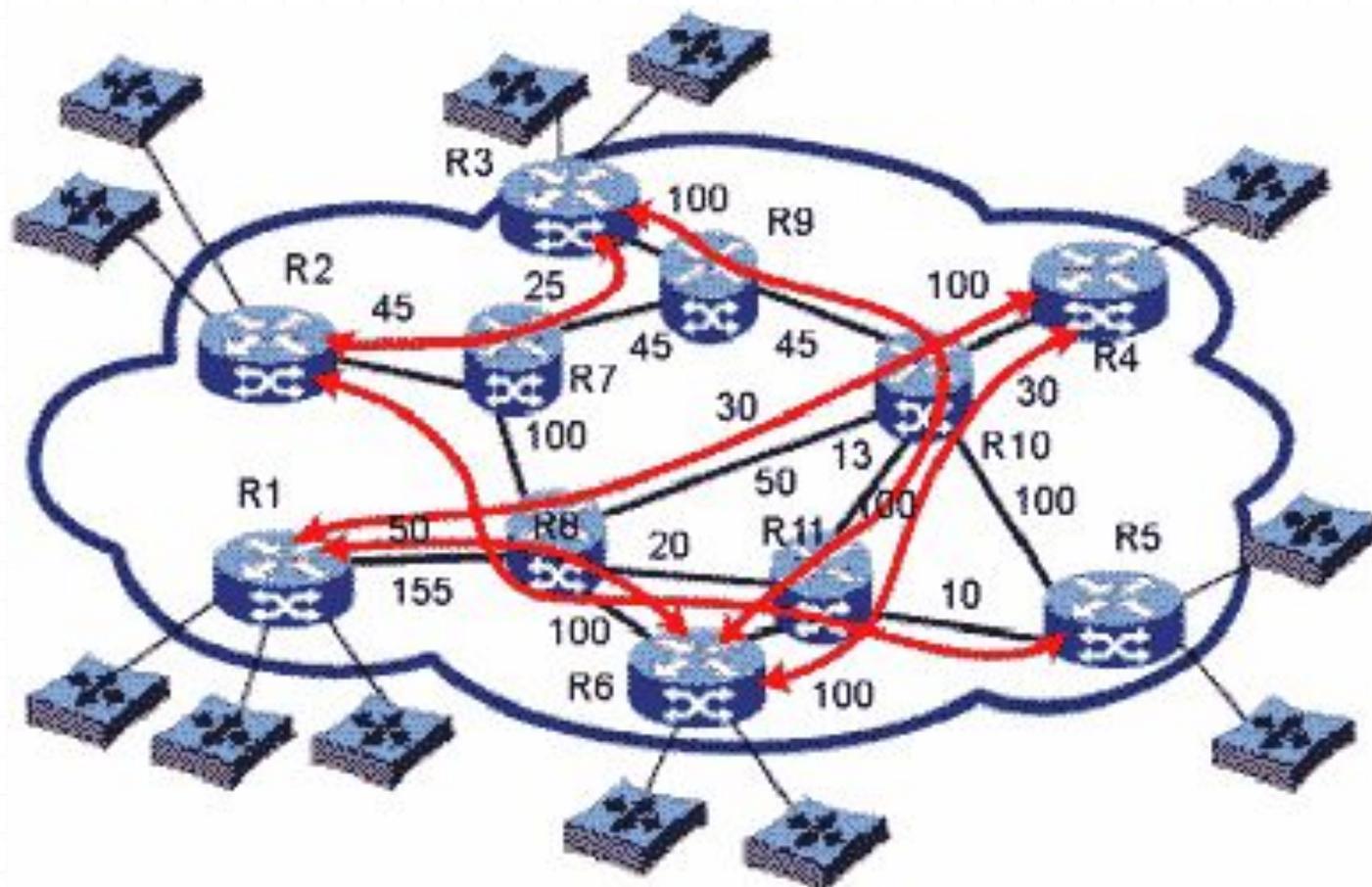


Предложенная нагрузка



Максимальный коэффициент использования ресурса по всем ресурсам сети должен быть минимален, чтобы трафику был нанесен как можно меньший ущерб.

# Распределение нагрузки по сети — выбор пути следования трафика



Поиск такого набора маршрутов для заданного множества потоков трафика, для которого все значения коэффициентов использования ресурсов вдоль следования каждого потока не превышают заданного порога  $K_{\max}$ .

# Общая формулировка задачи управления сетью связи:

- ✓ Задача управления в IP-сетях сводится к выбору служб и программно-аппаратных средств, обеспечивающих администратора информацией о работе сети и дающих возможность автоматически или автоматизировано влиять на её работу.

# Частные задачи управления

## ✓ контрольная плоскость:

- маршрутизация (OSPF, BGP);
- управление удаленными устройствами (администрирование - SNMP).

## ✓ плоскость данных:

- управление трафиком: политики и профилирование (LB, RED, WFQ и т.д.);

## ✓ плоскость менеджмента:

- уведомление об ошибках (ICMP);
- мониторинг (ICMP, netstat).

# Общие принципы борьбы с перегрузкой:

- ✓ Наблюдение за системой (мониторинг)
- ✓ Передача информации о возможной перегрузке
- ✓ Принятие необходимых мер для предотвращения перегрузки
- ✓ Принятие необходимых мер для устранения перегрузки при ее возникновении

# Стратегии предотвращения перегрузки:

## ✓ Транспортный уровень:

- Повторная передача
- Кэширование пакетов (на приеме и передаче)
- Подтверждения (квитирование)
- Управление потоком
- Определение тайм-аутов

## ✓ Сетевой уровень

- Использование резервирования ресурсов путем организации виртуальных каналов
- Политика обслуживания очередей
- Политика отбрасывания пакетов
- Управление временем жизни пакета
- Маршрутизация

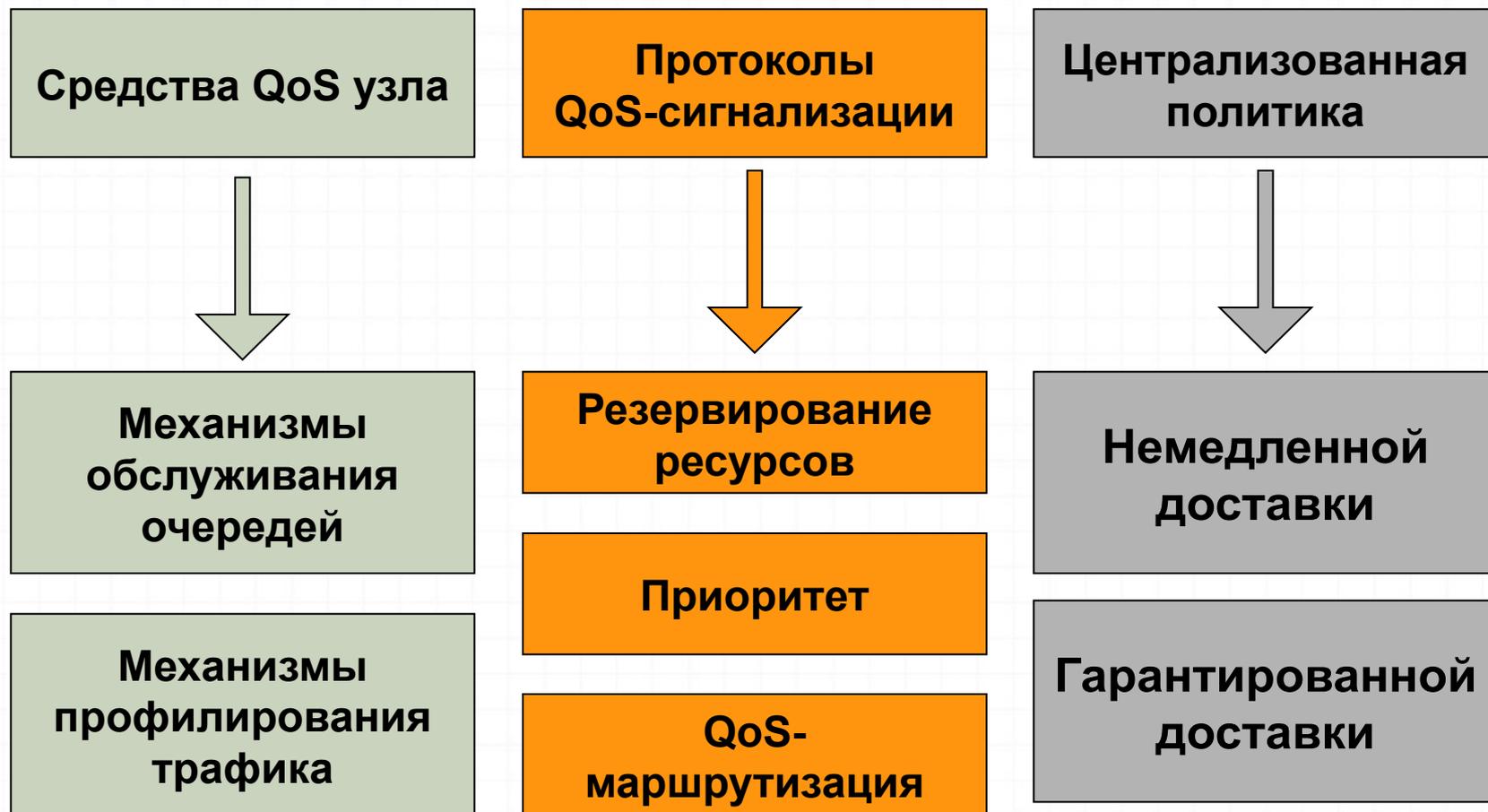
## ✓ Канальный уровень

- Управление потоком
- Кэширование
- Повторная передача
- Квитирование

# Службы QoS

- **Best effort** – обработка информации как можно быстрее, но без дополнительных усилий (FIFO, drop tail).
- **Мягкий QoS (DiffServ)** – сервис с предпочтениями. Приоритетное обслуживание, значения параметров QoS зависят от характеристик трафика.
- **Жесткий QoS (IntServ)** – гарантированный сервис. Основан на предварительном резервировании ресурсов для каждого потока.

# Базовая архитектура службы QoS



# MPLS

## (Multi-Protocol Label Switching)

Разрабатывается IETF

RFC 2702, RFC 2283, RFC 2547

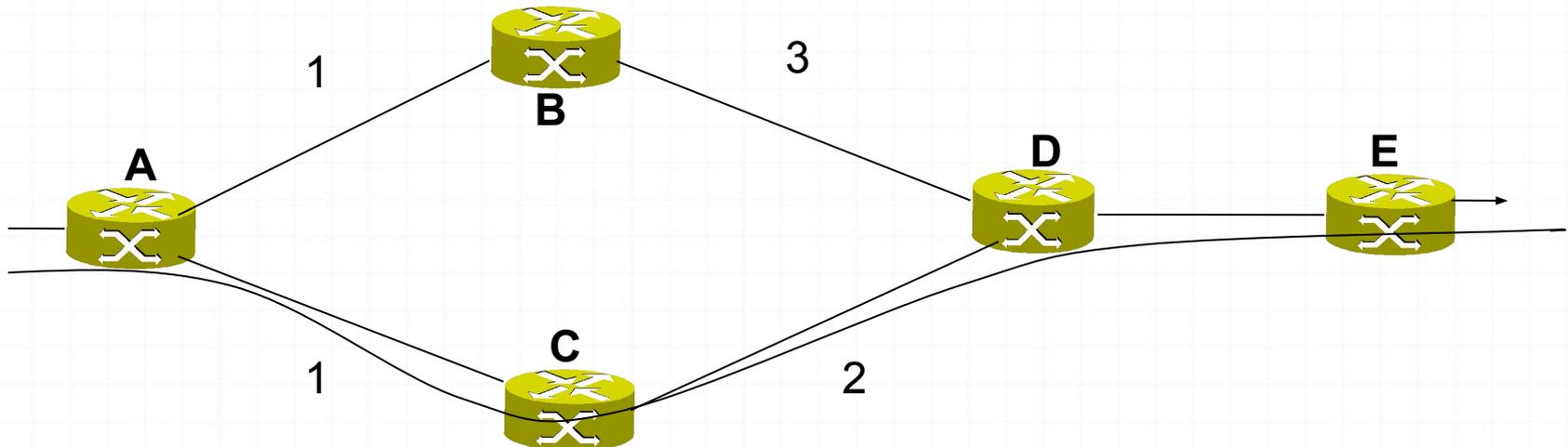
**Цель:** отделение процесса маршрутизации пакета от необходимости анализа IP-адресов в его заголовке, что существенно уменьшает время пребывания пакетов в маршрутизаторе и обеспечивает требуемые показатели QoS для трафика реального времени.

**Недостатки:** ориентирован на топологию

**Основной механизм:** коммутация по меткам, туннелирование

## Появление MPLS обусловлено:

- недостатками IP-маршрутизации: отсутствие балансировки нагрузки (кроме специальных настроек OSPF)
- необходимостью увеличения производительности маршрутизаторов
- необходимостью совместимости IP и ATM сетей



**Пример:** Используется путь А-С-Д-Е, путь А-В-Д оказывается не загружен

# Недостатки IP-маршрутизации

- Поддержка миллиардов хостов;
- Уменьшение размера таблиц маршрутизации;
- Упрощение протокола для ускорения работы маршрутизаторов;
- Более надежное обеспечение безопасности;
- Необходимость использования поля «Тип сервиса»;
- Упрощение работы многоадресных рассылок с помощью указания областей рассылок;
- Возможность дальнейшего развития протокола в будущем.

# История создания

- **Toshiba** – маршрутизатор коммутации ячеек (Cell Switching Router) 1994 г.
- **Ipsilon** – технология IP Switching 1996 г.
- **Cisco** - коммутация по тегам (Tag Switching) – 1996 г. – стандартизация через IETF
- **IBM** – ARIS (Aggregate Route-based IP Switching)
- **Cascade-Ascend-Lucent Technologies** - IP Navigator

*Апрель 1997 г. Мемфис, Теннесси – первое заседание рабочей группы MPLS WG*

## Цели создания MPLS:

- Сопряжение технологий IP и ATM
- Снижение нагрузки маршрутизации
- Снижение затрат управления трафиком (Traffic Engineering)
- Создание виртуальных частных сетей

**Идея:** коммутация меток. На входе в сеть в пакет вставить между заголовками 2-го (канального) и 3-го (сетевого) уровней дополнительное поле-метку и в дальнейшем осуществлять маршрутизацию такого пакета, анализируя его метку.

**Преимущества:** высокая скорость передачи пакетов за счет обработки метки короткого фиксированного размера (20 бит), анализ заголовка IP-пакета только на входе в MPLS-облако, эффективное управление трафиком, поддержка балансировки нагрузки, создание виртуальных каналов.

# Плоскости MPLS



# Основные понятия

Комитет IETF определил три основные элемента технологии MPLS:

- *Метка*
- *FEC – класс эквивалентной пересылки (Forwarding Equivalence Class)*
- *LSP – коммутируемый по меткам тракт (Label Switching Path)*

# Метка

*Метка – это идентификатор фиксированной длины, определяющий класс эквивалентной пересылки FEC.*

- Метки имеют локальное значение, т.е. привязка метки к FEC используется только для пары маршрутизаторов. Метка используется для пересылки пакетов от верхнего маршрутизатора к нижнему, где, являясь входящей, заменяется на исходящую метку, имеющую также локальное значение на следующем участке пути.
- Метка передается в составе любого пакета, при этом ее место в пакете зависит от используемой технологии канального уровня.

# Метка MPLS



В IP-сетях метка вставляется между заголовками канального и сетевого уровней

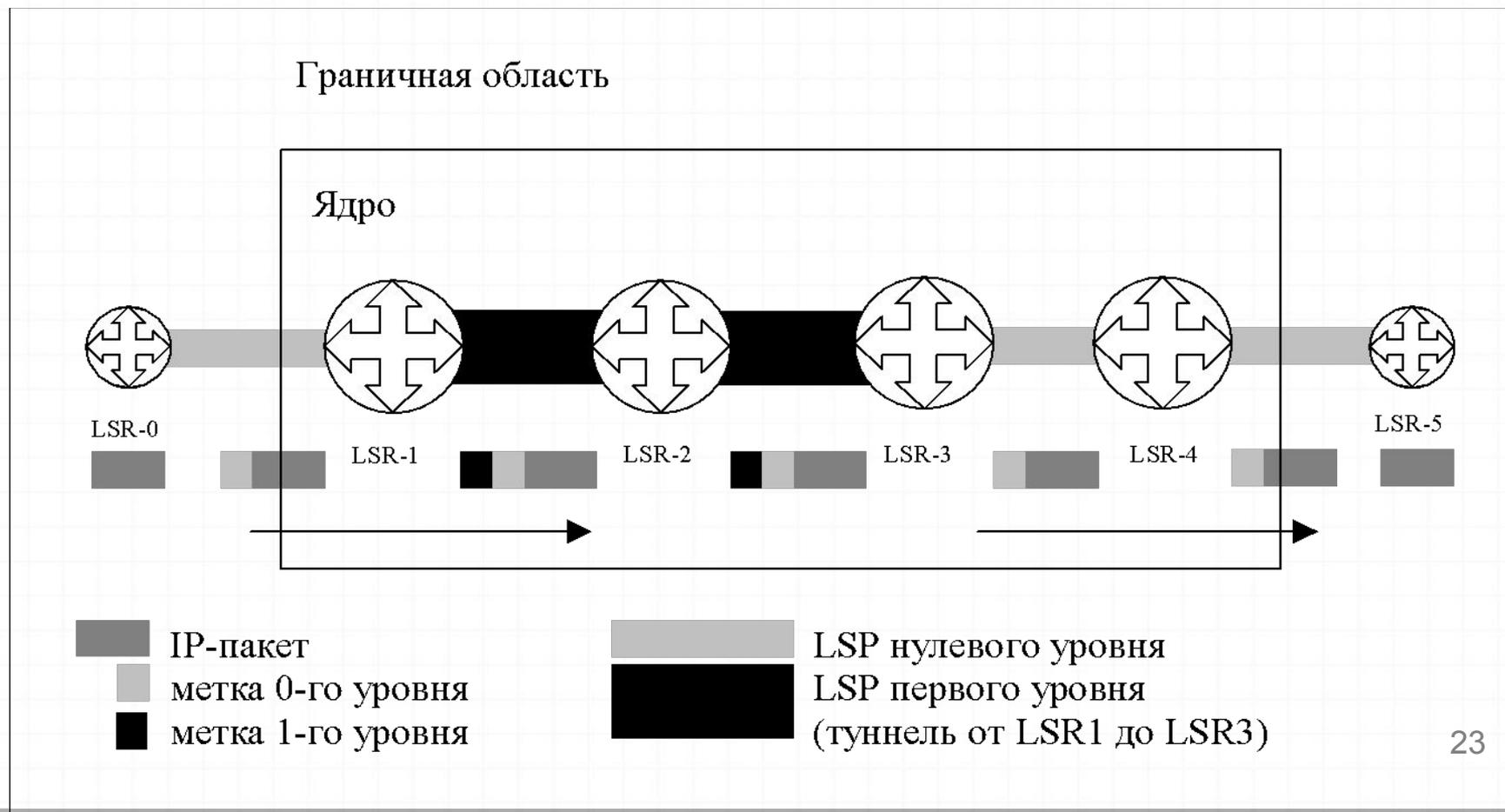
# Специальные метки

- Диапазон значений меток 0-15.
- Зарезервированы:
  - 0: явный ноль IPv4 – пакет должен быть освобожден от метки;
  - 1: метка предупреждения маршрута – пакет должен быть доставлен данному маршрутизатору;
  - 2: явный ноль IPv6 – пакет должен быть освобожден от метки;
  - 3: необходимость снятия метки, используется протоколами управления;
  - 4-15: свободны для использования.

# Стек меток

Несколько меток в одном пакете образуют стек меток.

Основное назначение стека меток – создание LSP-туннелей, объединение потоков пакетов. Метод анализа стека меток LIFO.



# Класс эквивалентной пересылки FEC

FEC - это форма представления группы пакетов с одинаковыми требованиями к передаче по сети.

Функции маршрутизатора для выбора следующего:

- маршрутизатор относит пакет к определенному классу FEC.
- ставит в соответствие каждому FEC следующий шаг маршрутизации.

# Коммутируемый по меткам тракт LSP

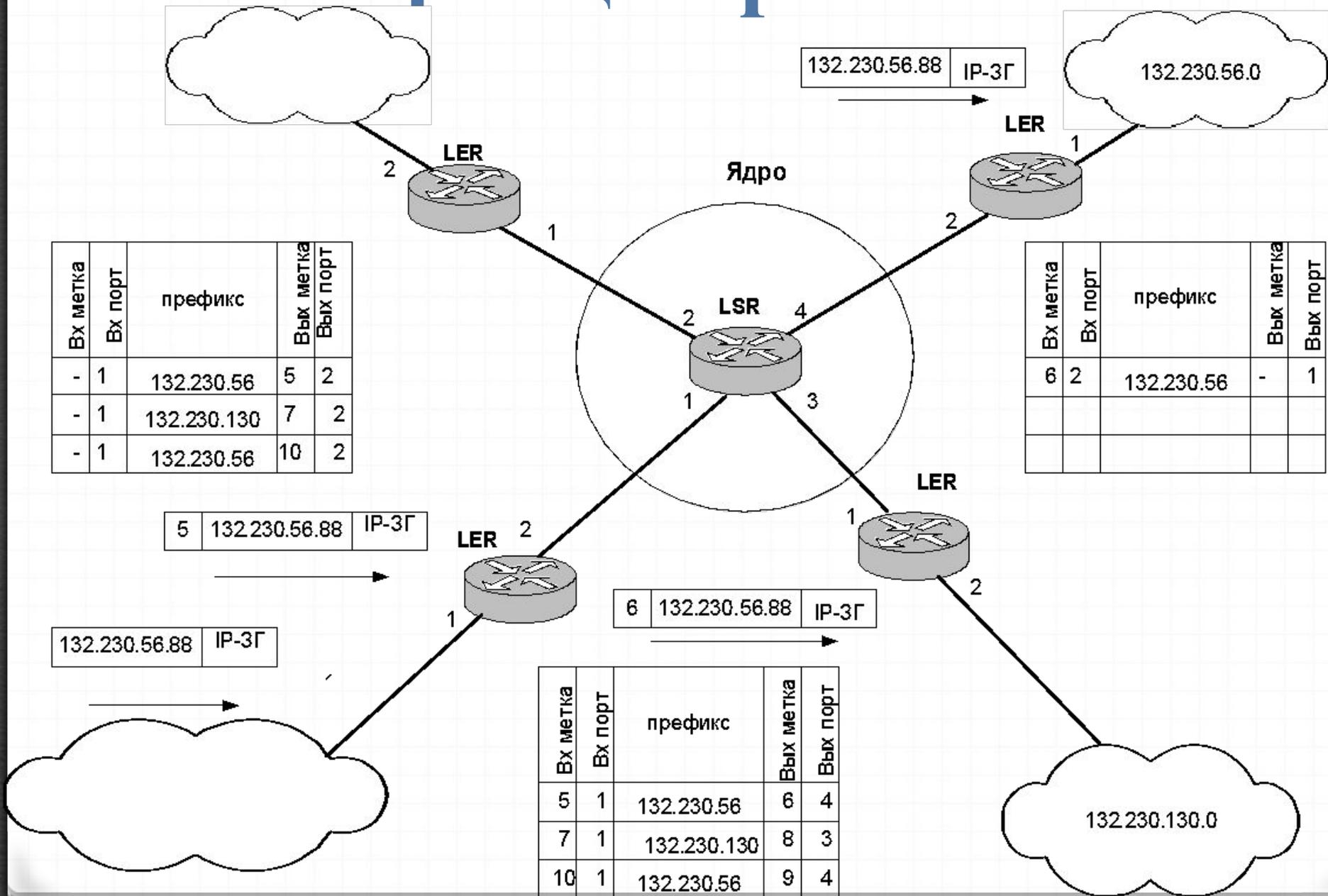
**Коммутируемый по меткам тракт** – это последовательность MPLS-маршрутизаторов и последовательность меток в них. По сути LSP представляет собой виртуальный канал в сети передачи данных.

## **Варианты создания LSP:**

- по принципу hop-by-hop;
- по принципу явной маршрутизации.

LSP можно рассматривать как тракт, создаваемый путем сцепления одного и более участков маршрута, который позволяет пересылать пакет, заменяя на каждом узле сети MPLS входящую метку исходящей меткой, т. о., тракт сети MPLS можно рассматривать как туннель.

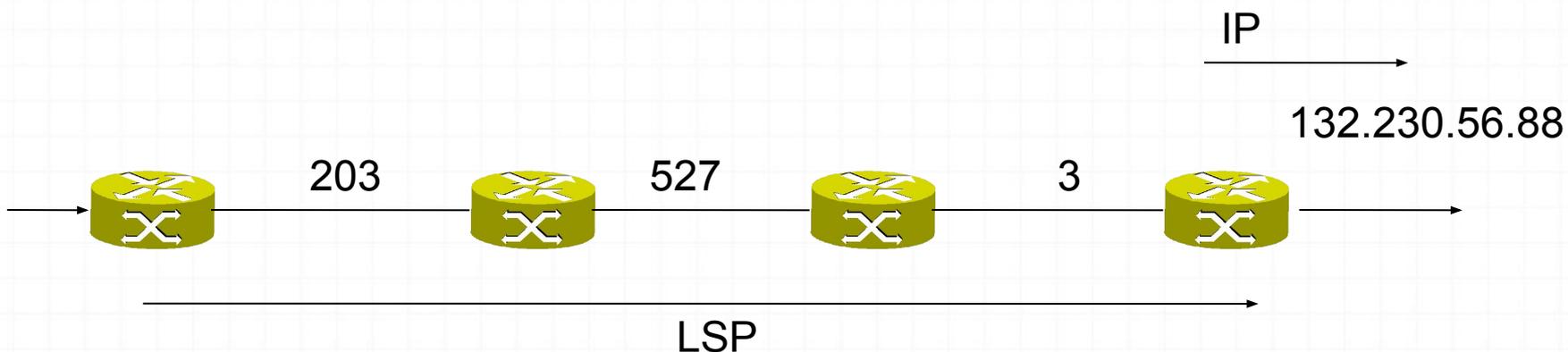
# Принцип работы



# Передача пакета по LSP

- Пограничный маршрутизатор (Label Edge Router, LER):
  - Получает IP-пакет с адресом получателя, например 132.230.56.88;
  - Определяет подсеть 132.230.56.0;
  - Добавляет метку к пакету, например, 5;
  - Отправляет пакет к следующему узлу, на порт 2
- Транзитный маршрутизатор (Label Switching Router, LSR):
  - Получает пакет с меткой, просматривает таблицу коммутации;
  - Осуществляет смену меток, например, 5 на 6;
  - Передает пакет следующему узлу, на порт 4

- Все остальные транзитные узлы производят аналогичные процедуры.
- Предпоследний узел:
  - Получает пакет с меткой, просматривает таблицу коммутации;
  - Снимает метку (последний узел запрашивает метку 3);
  - Отправляет пакет к последнему узлу.
- Последний узел отправляет IP-пакет получателю.



# Алгоритм обработки меток

- Каждый узел содержит базу меток LІВ (Label Information Base) – т.е. таблицу перенаправлений, содержащую точную запись о соответствующей исходящей метке, интерфейсе, информации об инкапсуляции канального уровня.
- Узел, получающий пакет, анализирует метку, ищет запись в LІВ, изменяет метку на соответствующую и направляет на исходящий порт.
- Возможен мультикастинг: назначение на одну входящую метку несколько исходящих.

# Распределение меток

С технической точки зрения, распределение меток с целью заполнения таблиц LIB и установление LSP являются синонимами.

Введем следующие определения:

- маршрутизатор LSR называют нижестоящим, или **downstream**, если он является выходным по направлению передачи трафика;
- маршрутизатор называют вышестоящим, или **upstream**, если он расположен в начале пути по направлению передачи.

# Методы распределения меток

1. Метод на основе топологии  
(topology-based method);
2. Метод на основе запросов  
(request-based method);
3. Метод на основе трафика  
(traffic-based method).

# Режимы назначения и распространения меток

- *Независимый* - каждый нижестоящий маршрутизатор самостоятельно привязывает входящую метку и распространяет ее как исходящую среди вышестоящих маршрутизаторов.
- *Упорядоченный* - маршрутизатор передает метку вышестоящему LSR только после получения метки от нижестоящего маршрутизатора.

# Режимы назначения и распространения меток

## Инициатор распределения меток:

- Нижний маршрутизатор – режим *unsolicited downstream*
- Верхний маршрутизатор – режим *downstream-on-demand*

## Режимы работы верхнего маршрутизатора:

- консервативный
- либеральный

# Протокол распределения меток LDP (Label Distribution Protocol)

Протокол рассылки меток представляет собой набор процедур и сообщений, с помощью которых один LSR информирует другие о привязках «метка-FEC», которые он сформировал, а также о всевозможных согласованиях, использующихся для обмена информацией о возможностях LSR.

*Задача:* дублирование деревьев маршрутизации и преобразование их в деревья маршрутизации на основе меток.

Протоколом LDP предусмотрено два режима обнаружения LSR: базовый и расширенный

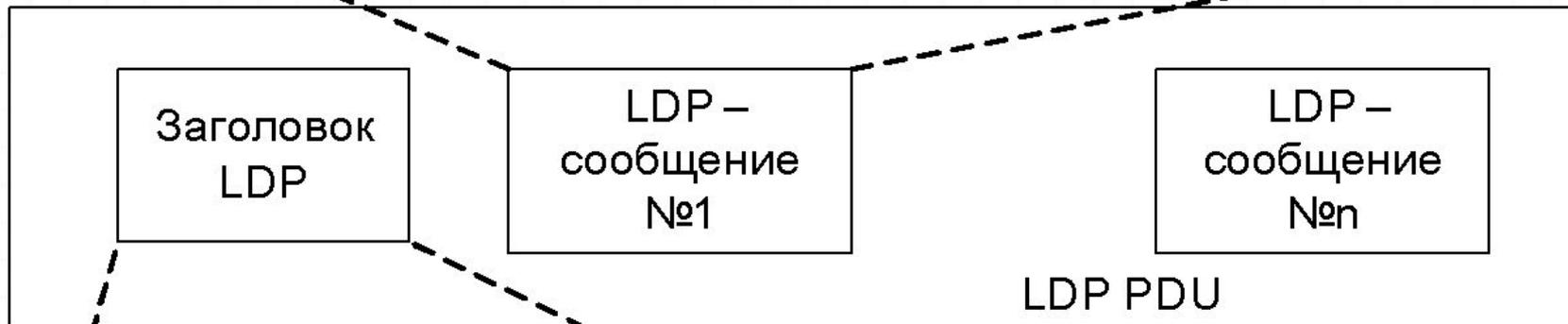
# Категории сообщений протокола LDP

При обмене между LSR информацией, связанной с привязкой «метка-FEC», используются 4 категории сообщений:

- сообщения обнаружения – объявляют и поддерживают присутствие LSR в сети;
- сеансовые сообщения – создают, поддерживают, прекращают LDP-сеансы между LSR;
- сообщения объявления – создают, изменяют, отменяют привязки метки к FEC;
- уведомляющие сообщения – содержат вспомогательную информацию и информацию об ошибках.

# Блок данных протокола LDP

Бит U	Тип	Длина	Идентификатор	Обязательные параметры	Необязательные параметры
-------	-----	-------	---------------	------------------------	--------------------------



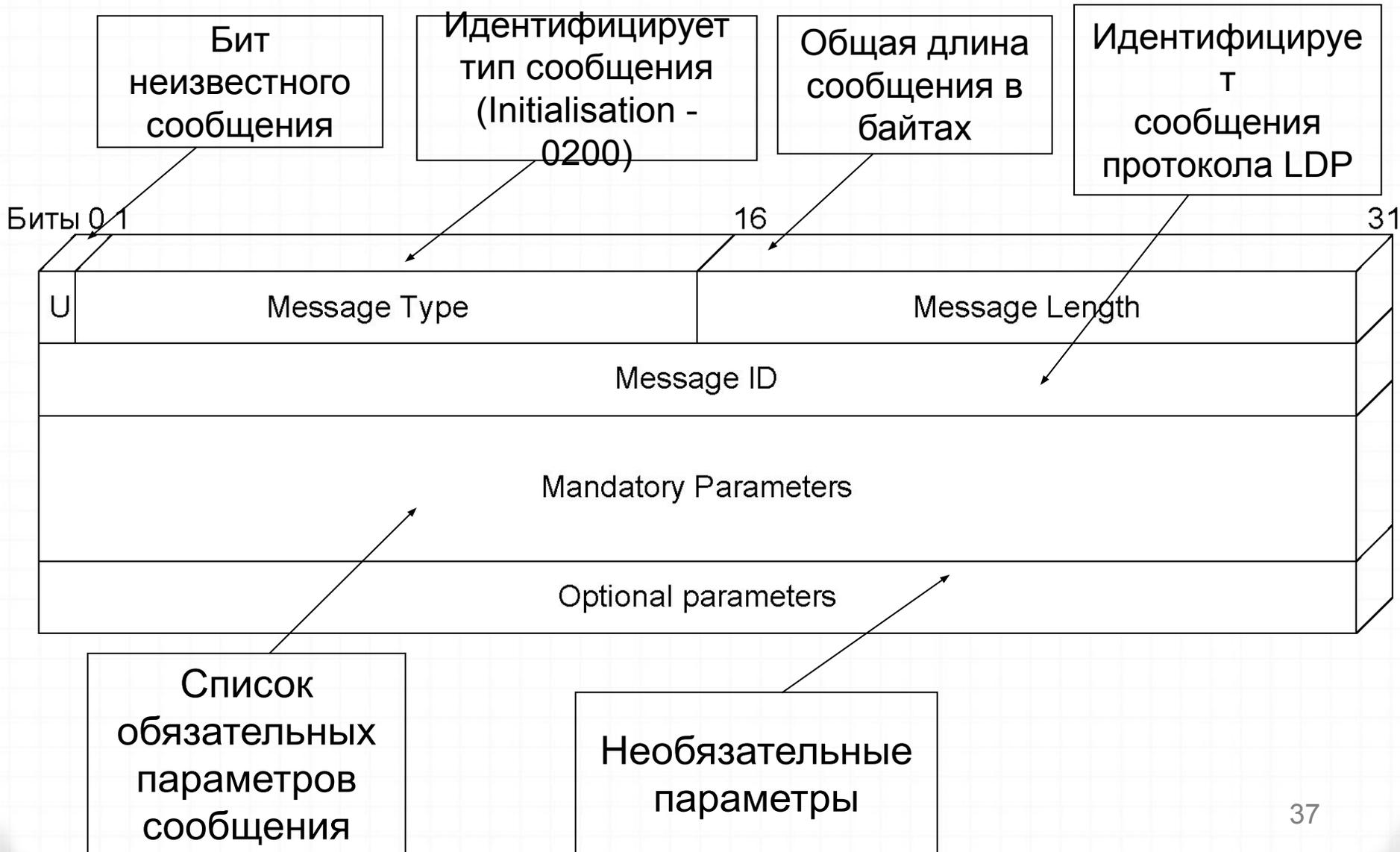
2 октета		Идентификатор
Версия	Длина	

2 октета

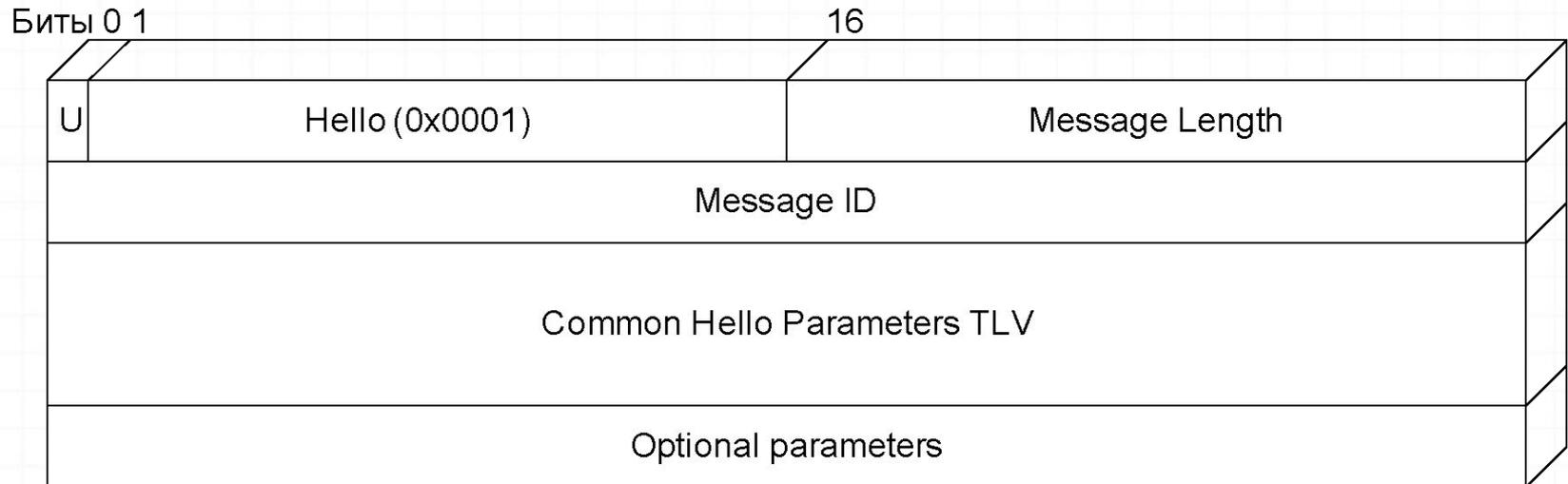
6 октетов

Идентификатор маршрутизатора	Идентификатор пространства меток
------------------------------	----------------------------------

# Формат сообщений LDP



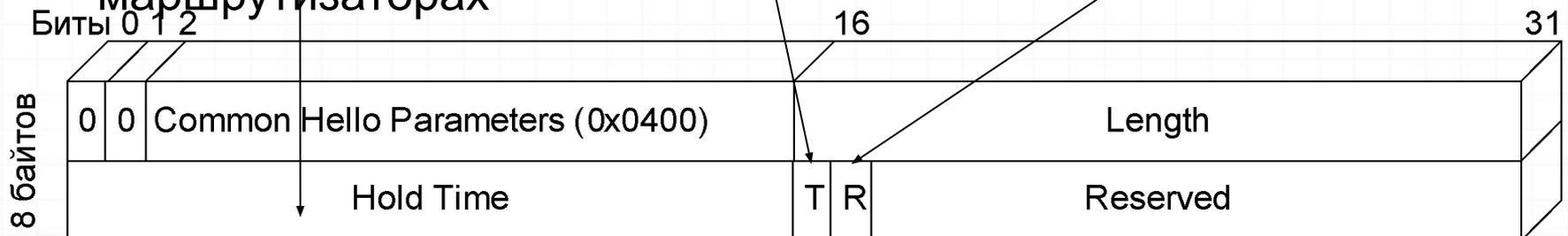
# Приветственное сообщение Hello



Время в секундах,  
в течение которого  
актуальна и удерживается  
информация о  
соседних  
маршрутизаторах

1-целевое  
0-общее

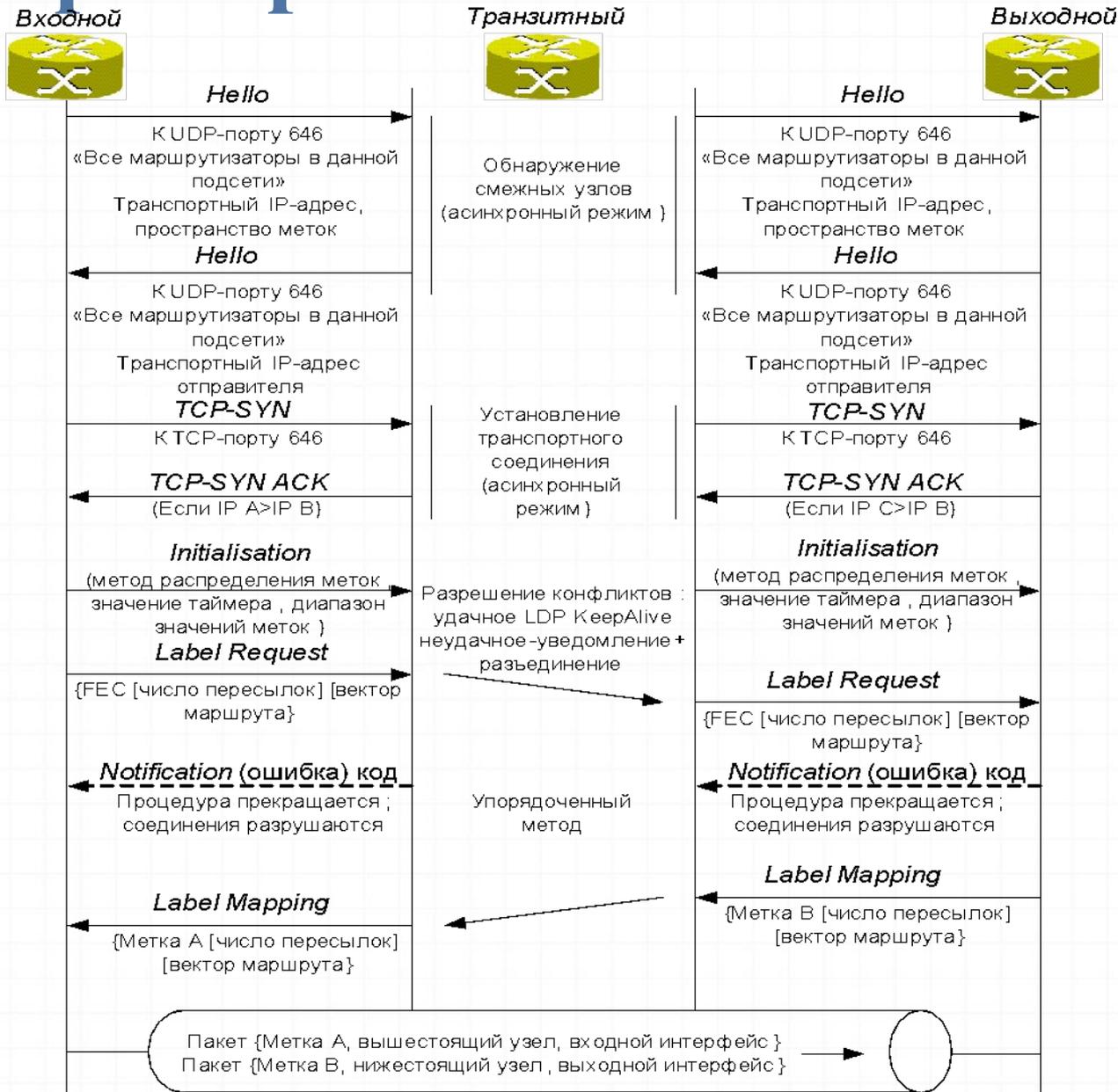
1-запрашивает  
периодически  
передавать  
целевое сообщение  
0-отсутствие запроса



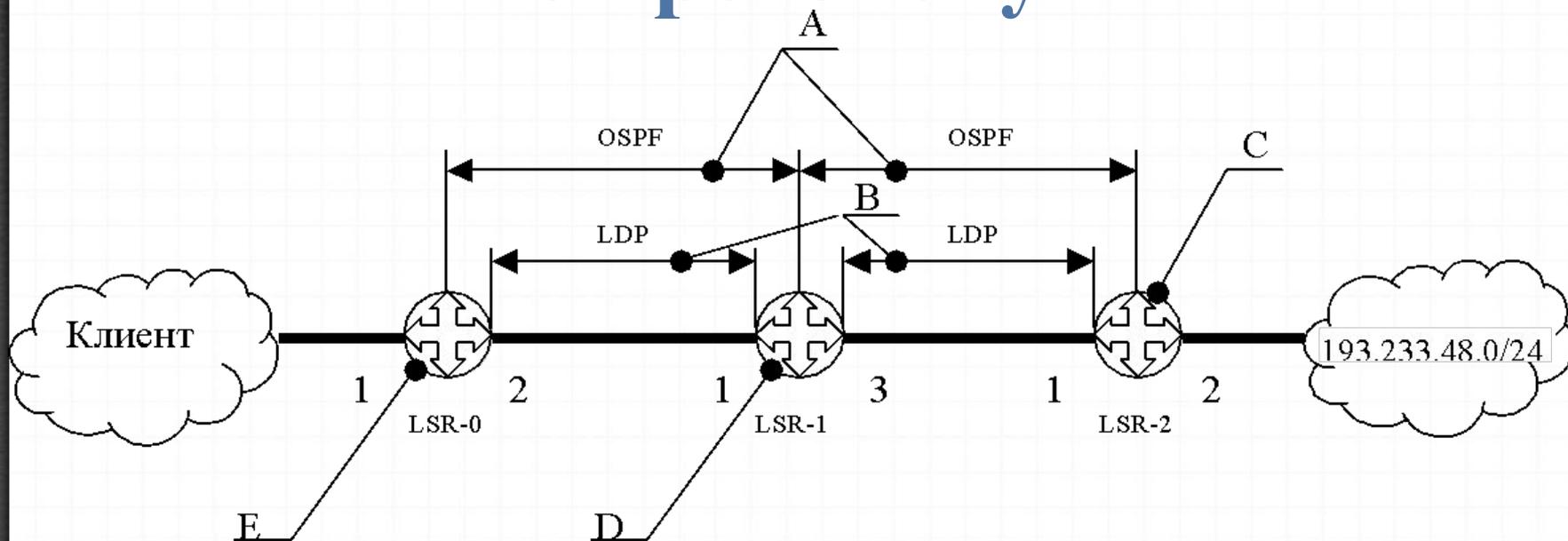
# Иницилирующее сообщение Initialisation



# Пример назначения меток



# Построение коммутируемого пути по протоколу LDP



	Вх.метка	Вх.порт	префикс	Вых.порт	Вых.метка
A	-	-	193.233.48	2	

	Вх.метка	Вх.порт	префикс	Вых.порт	Вых.метка
			193.233.48	3	

	Вх.метка	Вх.порт	префикс	Вых.порт	Вых.метка
			193.233.48	2	

C	-	-	193.233.48	2	
---	---	---	------------	---	--

			193.233.48	3	18
--	--	--	------------	---	----

18	1	193.233.48	2	
----	---	------------	---	--

D	-	-	193.233.48	2	33
---	---	---	------------	---	----

33	1	193.233.48	3	18
----	---	------------	---	----

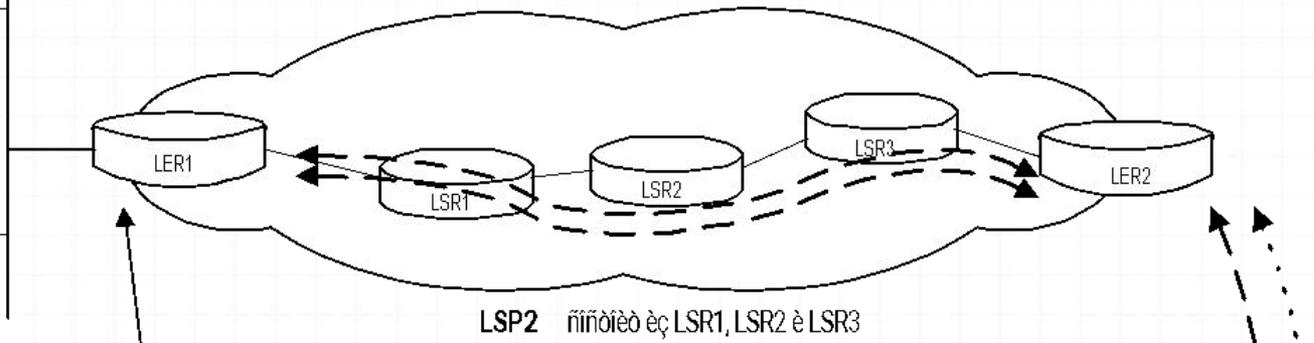
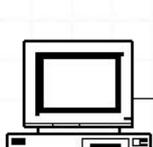
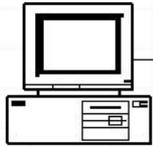
18	1	193.233.48	2	
----	---	------------	---	--

# Построение коммутируемого пути по протоколу LDP

- *Стадия А* – построение таблицы маршрутизации на основе существующих протоколов (OSPF);
- *Стадия В* - нахождение соседних устройств и установление с ними сеансов LDP;
- *Стадия С* – маршрутизатор LSR-2 определяет является ли он нижестоящим или вышестоящим для пути, ведущего к необходимой сети. Присваивает метку классу FEC, уведомляет вышестоящий маршрутизатор, записывает значение метки в LIB;
- *Стадия D* - маршрутизатор LSR-1 присваивает метку классу FEC, уведомляет вышестоящий маршрутизатор, записывает значение метки в LIB;
- *Стадия E* – LSR-0 получает метку от нижестоящего LSR-1, путь LSP считается установленным.

# Схема туннелирования MPLS

Исходные узлы

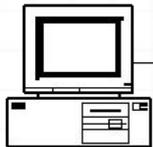
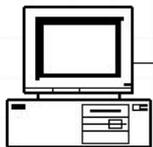


LSP2 туннель от LSR1, LSR2 к LSR3

LSP1 туннель от LER1, LER2, LER3 к LER4

LSP3 туннель от LSR4, LSR5 к LSR6

Адресные узлы



# Типы виртуальных коммутируемых по метке путей - LSP

- Статический LSP
- Динамический LSP:
  - С использованием LDP (*Label Distribution Protocol* - протокол распределения меток)
  - С явным маршрутом, RSVP (транзитные узлы маршрутизируются вручную или автоматически, без учета особенностей трафика)
  - С ограничениями, RSVP (транзитные узлы маршрутизируются автоматически, с учетом информации о топологии (например, OSPF), использование ресурсов сети (ограничение на количество узлов, требования к полосе пропускания, приоритет), требований данного LSR)

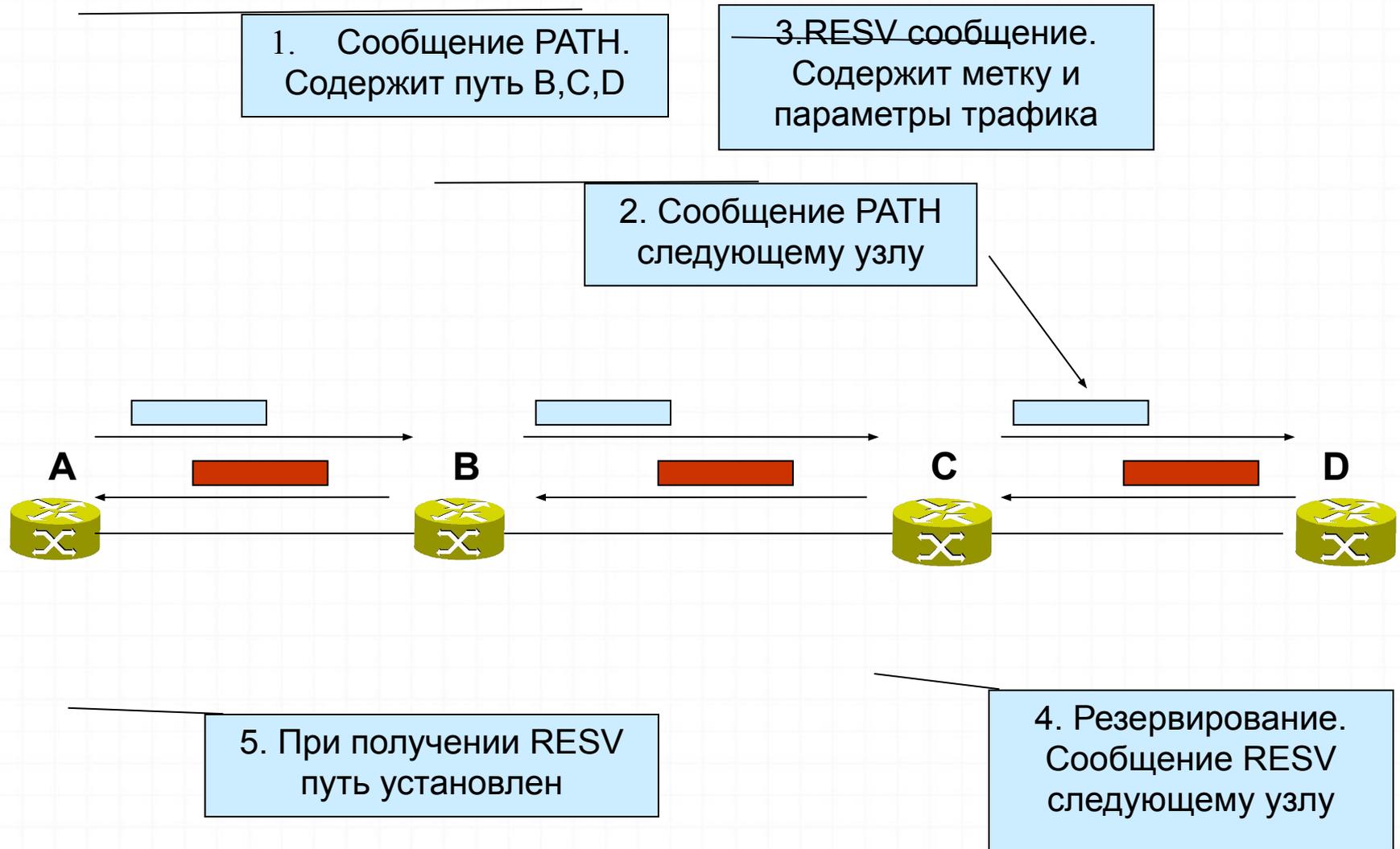
# Статический LSP

Сообщение для установления пути маршрутизируется источником трафика.



Возможность управления трафиком:  
использование отличных от кратчайших  
маршрутов, использование маршрутов согласно  
заданным требованиям

# Процедура распределения меток с помощью протокола RSVP



# Процесс резервирования пути

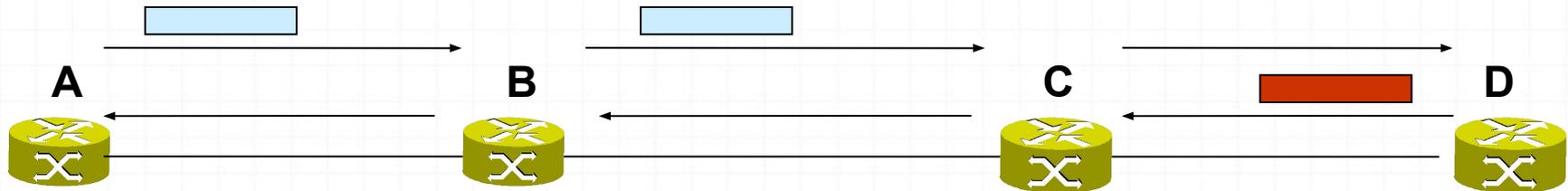
- Узел-отправитель посылает запрос PATH как обычный пакет.
- Каждый маршрутизатор прописывает в своей памяти адрес предыдущего и посылает свой адрес в PATH-запросе.
- Получатель в ответ на PATH генерирует RESV и отправляет по прописанному в PATH пути. Т.о. резервирование происходит в обратном порядке, от получателя к отправителю.
- Маршрутизаторы обрабатывают RESV-запросы, пытаясь предоставить требуемые ресурсы. В случае невозможности предоставления ресурсов резервирование начинается сначала.
- Путь считается установленным, когда отправитель получает RESV. После этого начинается сеанс.

# Процедура распределения меток с помощью протокола LDP

1. «Запрос метки».  
Содержит путь B,C,D

2. Передача на следующий узел.  
Путь изменен на C,D

3. Последняя точка  
запроса

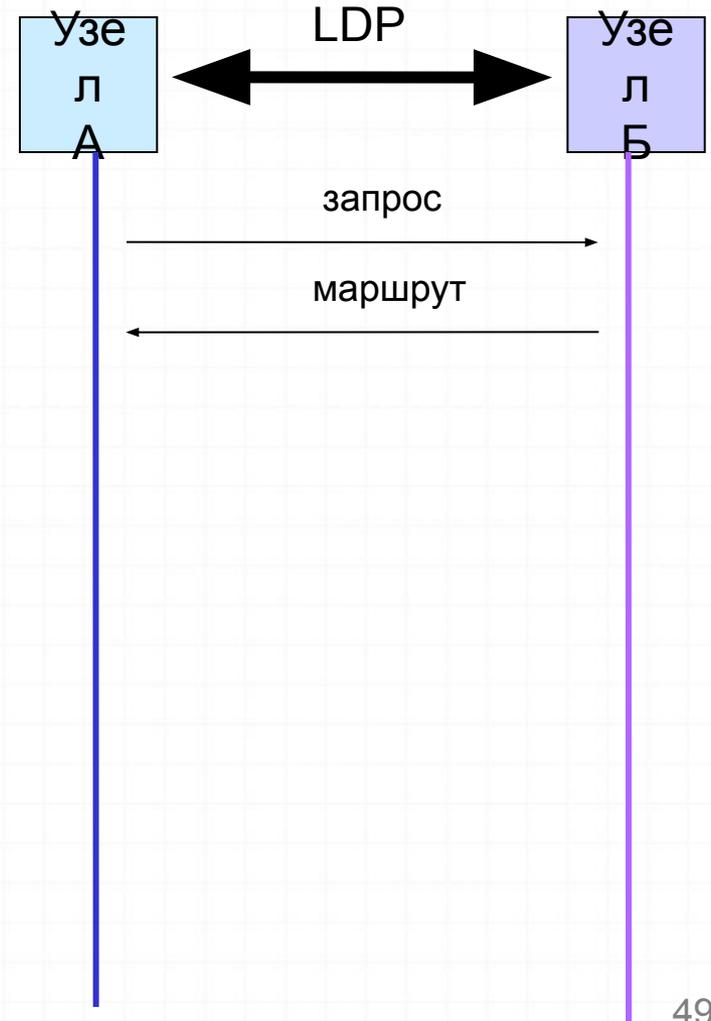
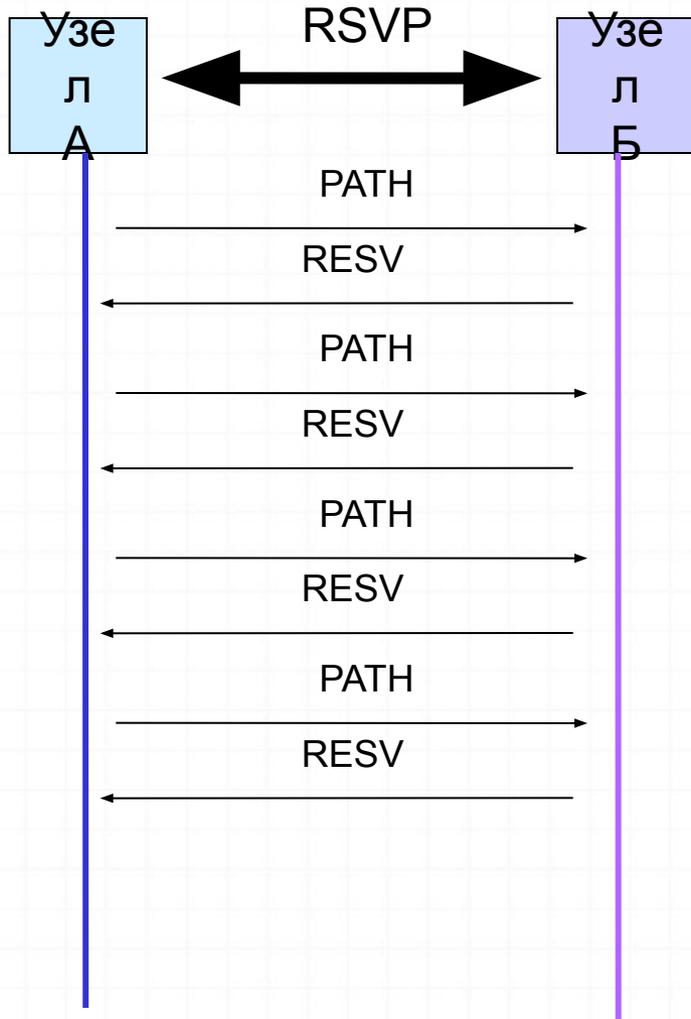


6. При получении  
связи меток путь  
считается  
установленным

5. Получена  
метка для D

4. Сообщение о  
связи меток

# Создание LSP



# Traffic Engineering

Под термином *Traffic Engineering* понимают методы и механизмы достижения сбалансированности загрузки всех ресурсов сети за счет рационального выбора пути прохождения трафика через сеть.

Привлекательность применения технологии MPLS при решении задач *Traffic Engineering*:

- явные пути коммутации на основе меток могут быть легко заданы сетевым администратором или с помощью стандартных протоколов.
- эффективно поддерживаются пути коммутации по меткам.
- каналы передачи данных могут быть смоделированы и поставлены в соответствие LSP.
- реализация MPLS дает сравнительно более низкую избыточность по сравнению с другими технологиями управления трафиком.

# Traffic Engineering

Для осуществления Traffic Engineering в MPLS необходимы следующие компоненты:

- Пользовательский интерфейс – для того, чтобы оператор мог задавать характеристики TE-туннелей, называемые в MPLS ограничениями
- Модифицированный IGP-компонент – усовершенствованные протоколы маршрутизации, переносящие информацию о текущем состоянии сетевых ресурсов (OSPF-TE, IS-IS-TE)
- Модифицированный алгоритм маршрутизации, позволяющий рассчитывать маршрут по ограничениям с пользовательского интерфейса и с учётом информации, полученной от IGP-компонента
- Компонент сигнализации – протокол, который может устанавливать LSP в обход традиционной маршрутизации и осуществлять резервирование сетевых ресурсов на LSP (RSVP-TE, CR-LDP)
- Компонент передачи данных – базовая технология MPLS.

## При решении задач ТЕ необходимо решить 3 основные проблемы:

- определение соответствия пакетов определенному классу FEC;
- определение соответствия FEC и каналов передачи данных;
- определение соответствия каналов передачи данных физической сети и маршрутов с коммутацией по меткам.

Маршруты, вычисляемые на основе алгоритмов управления трафиком, называются *ТЕ-туннелями*.