

**МДК.01.01**

**Организация, принципы  
построения и функционирования  
компьютерных сетей  
3-курс**

**Технология MPLS**

Занятие 05, 06

# Базовые принципы и механизмы MPLS

Технология **многопротокольной коммутации по меткам** (Multiprotocol Label Switching, MPLS) считается многими специалистами одной из самых **перспективных** транспортных технологий.

Эта технология объединяет технику виртуальных каналов с функциональностью стека TCP/IP.

Главное достоинство MPLS видится сегодня многими специалистами в способности предоставлять **разнообразные транспортные услуги** в IP-сетях, в первую очередь — услуги виртуальных частных сетей.

Эти услуги отличаются разнообразием, они могут предоставляться как на сетевом, так и на канальном уровне.

# Базовые принципы и механизмы MPLS

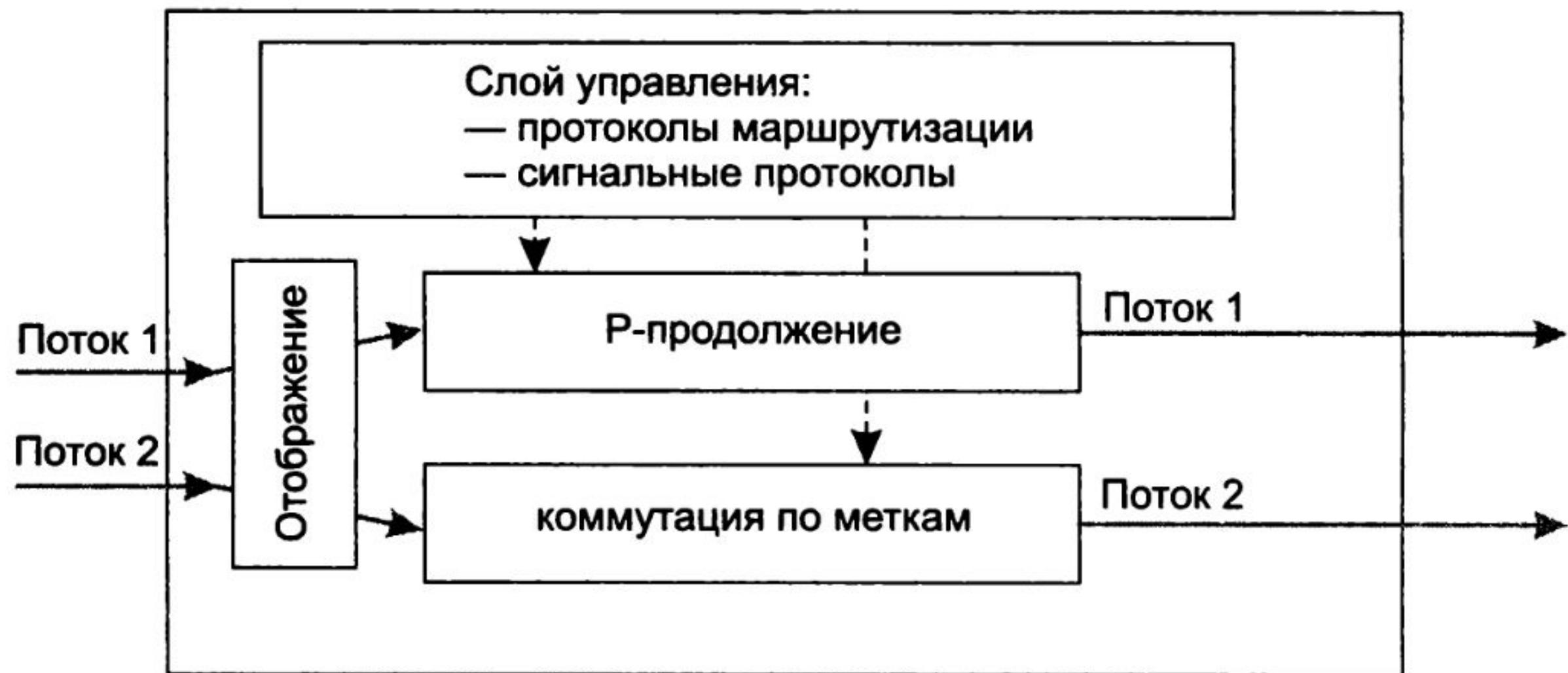
Кроме того, MPLS дополняет **дейтаграммные** IP-сети таким важным свойством, как передача трафика в соответствии с техникой виртуальных каналов, что позволяет **выбирать нужный режим** передачи трафика в зависимости от требований услуги.

Технология MPLS объединяет в одном коммуникационном устройстве два метода продвижения пакетов — **дейтаграммный метод** и **метод коммутации виртуальных каналов**.

# Совмещение коммутации и маршрутизации

Дейтаграммное продвижение реализуется протоколом IP — он работает точно так же, как и в традиционном IP-маршрутизаторе, при этом таблица маршрутизации может создаваться как вручную, так и протоколами маршрутизации стека TCP/IP.

В то же время в этом коммуникационном устройстве, называемом **маршрутизатором с коммутацией по меткам** (Label Switch Router, LSR), имеется второй модуль продвижения, работающий в соответствии с техникой коммутации виртуальных каналов, который здесь называется модулем **коммутации по меткам** (смотри рисунок).



# Совмещение коммутации и маршрутизации

Оба модуля продвижения управляются **одним и тем же слоем управления LSR** (маршрутизатор с коммутацией по меткам), куда наряду с традиционными протоколами IP-маршрутизации, такими как RIP, OSPF, IS-IS и BGP, входят и новые протоколы, называемые **сигнальными**.

**Сигнальные протоколы** нужны для автоматического установления в сети виртуального пути, называемого в технологии MPLS **путем коммутации по меткам** (Label Switching Path, LSP).

Общий слой управления позволяет LSR гибко использовать наличие двух модулей продвижения — одну часть потоков данных он может продвигать, применяя технику IP-продвижения, а другую — технику коммутации по меткам.

Слой управления имеет информацию о топологии сети,

# Совмещение коммутации и маршрутизации

Пути коммутации по меткам прокладываются в сети независимо от того, существует ли поток пакетов в сети в данное время или только является топологически возможным.

Последнее условие означает, что в сети имеются некоторые два конечных узла, определяемые IP-адресами, и между ними есть возможность установить путь через промежуточные IP/ MPLS-маршрутизаторы.

Такое свойство путей коммутации по меткам иногда называют **«топологически ведомым»** (topology-driven).

# Совмещение коммутации и маршрутизации

Такой способ установления путей коммутации по меткам можно было бы назвать «**ведомым данными**» (data-driven).

Из **сравнения свойств** дейтаграммных технологий и технологий виртуальных каналов, серьезным недостатком коммутируемых виртуальных путей является их **неэффективность** при передаче **кратковременных потоков** из-за внесения задержки при их установлении.

Имея в виду этот недостаток, сторонники техники «ведомых данными» путей коммутации по меткам (MPLS) предлагали динамически создавать такие пути только **для долговременных потоков**, а пакеты кратковременных потоков передавать путем стандартного IP-продвижения, эффективного для этого типа потоков.

# Совмещение коммутации и маршрутизации

Наличие единого слоя управления в устройствах LSR (маршрутизаторов с коммутацией по меткам), **позволяет координировать** работу двух разных слоев продвижения пакетов из одного центра.

Протоколы **маршрутизации и сигнализации** в этом случае учитывают существование двух способов продвижения пакетов и обслуживают потоки данных пользователей **наиболее рациональным способом**.

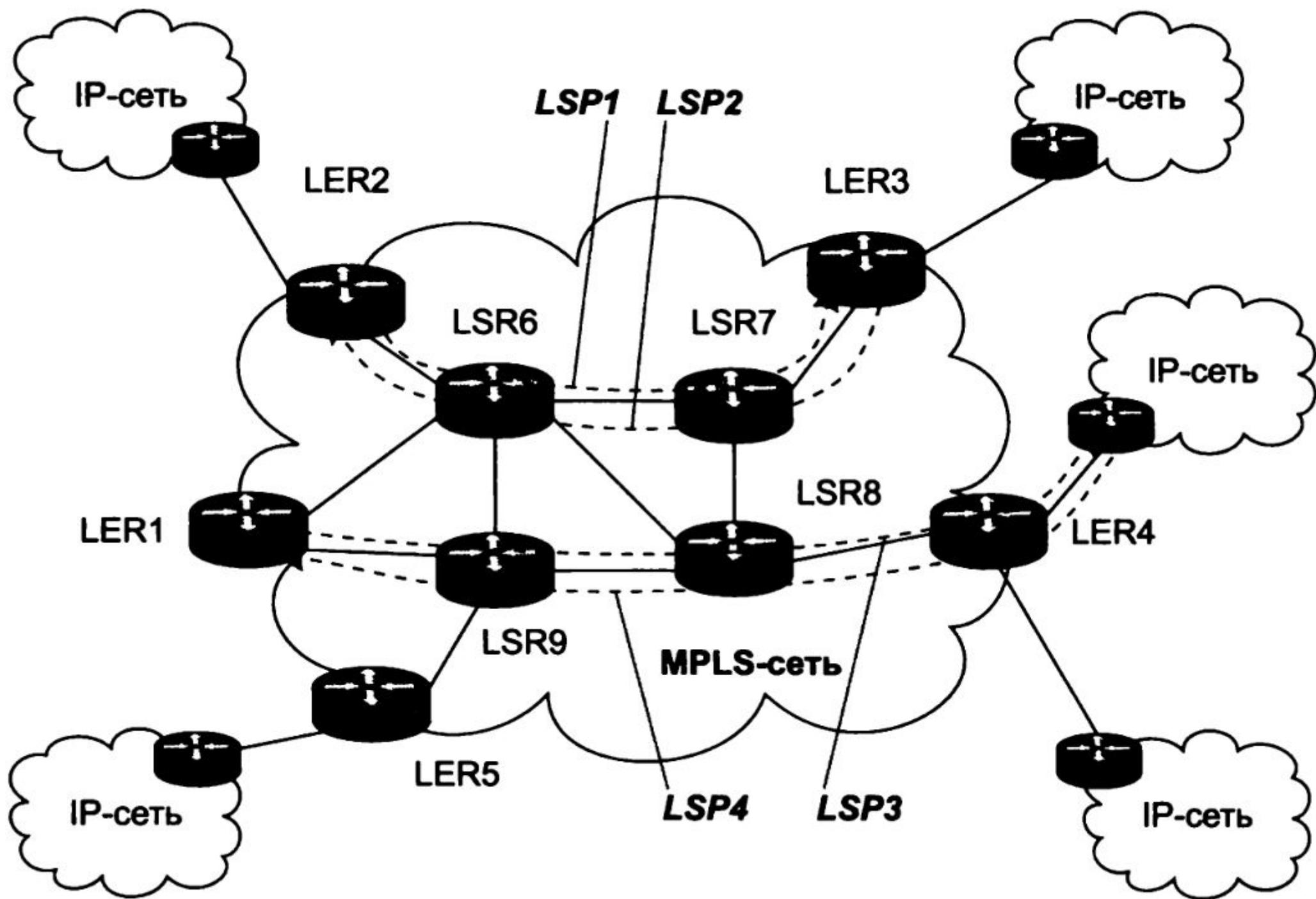
# Пути коммутации по меткам

Пути коммутации по меткам в технологии MPLS представляют собой некоторый **гибрид коммутируемых и постоянных виртуальных каналов**.

Их **можно отнести к коммутируемым**, так как они устанавливаются в сети автоматически с помощью сигнальных протоколов.

В то же время они **могут считаться постоянными**, так как их создание инициируется имеющейся топологией сети, мало изменяющейся во времени.

Рассмотрим работу пути LSP на примере сети, показанной на следующем рисунке.



# Пути коммутации по меткам

На рисунке мы видим новый тип устройств — это пограничные устройства LSR (маршрутизаторы с коммутацией по меткам), которые в технологии MPLS имеют специальное название — **«пограничные коммутирующие по меткам маршрутизаторы»** (Label switch Edge Router, LER).

Устройство LER, являясь функционально более сложным, принимает трафик от других сетей в форме стандартных IP-пакетов, а затем **добавляет к каждому пакету метку** и направляет вдоль соответствующего пути к выходному устройству LER через несколько промежуточных устройств LSR.

При этом пакет продвигается не на основе IP-адреса назначения, а **на основе метки**.

# Пути коммутации по меткам

Как и в других технологиях, использующих технику виртуальных каналов, метка **имеет локальное значение в пределах каждого устройства** LER или LSR.

То есть при передаче пакета с входного интерфейса на выходной выполняется **смена значения метки**.

При принятии решения о выборе следующего хопа блок продвижения по меткам использует **таблицу коммутации**, которая в стандарте MPLS носит название **таблицы продвижения**.

# Пути коммутации по меткам

Формируя таблицы продвижения на устройствах LSR, сигнальный протокол прокладывает через сеть **виртуальные маршруты**, которые в технологии MPLS называют **путями коммутации по меткам** (Label Switching Path, LSP).

LSP представляет собой **однонаправленный виртуальный канал**, поэтому для передачи трафика между двумя устройствами LER нужно установить по крайней мере **два пути коммутации по меткам** — по одному в каждом направлении.

На рисунке показаны две пары путей коммутации по меткам, соединяющие устройства LER2 и LER3, а также LER1 и LER4. LER выполняет такую важную функцию, как направление входного трафика в один из исходящих из LER путей LSP. Для реализации этой функции в MPLS введено понятие **класса эквивалентности продвижения** (Forwarding Equivalence Class, FEC).

# Пути коммутации по меткам

**Класс эквивалентности продвижения** – это группа IP-пакетов, имеющих одни и те же требования к условиям транспортировки (транспортному сервису).

Все пакеты, принадлежащие к данному классу, продвигаются через MPLS-сеть **по одному виртуальному пути LSP**.

Входящий пакет относят к тому или иному классу на основании некоторых признаков.

# Пути коммутации по меткам

Вот несколько примеров классификации:

- На основании IP-адреса назначения. Это наиболее близкий к принципам работы IP-сетей подход, который состоит в том, что для каждого префикса сети назначения, имеющегося в таблице LER-маршрутизации, создается отдельный класс FEC. Протокол LDP, который мы далее рассмотрим, полностью автоматизирует процесс создания классов FEC по этому способу.
- В соответствии с требованиями инжиниринга трафика. Классы выбираются таким образом, чтобы добиться баланса загрузки каналов сети.
- В соответствии с требованиями VPN. Для конкретной виртуальной частной сети клиента создается отдельный класс FEC.

# Пути коммутации по меткам

- По типам приложений. Например, трафик IP-телефонии (RTP) составляет один класс FEC, а веб-трафик — другой.
- По интерфейсу, с которого получен пакет.
- По *MAC*-адресу назначения кадра, если это кадр Ethernet.

Как видно из приведенных примеров, при классификации трафика в MPLS могут использоваться признаки, не только взятые из заголовка IP-пакета, но и многие другие, включая информацию канального (*MAC*-адрес) и физического (интерфейс) уровней.

После принятия решения о принадлежности пакета к определенному классу FEC его нужно связать с существующим путем LSP. Для этой операции LER использует таблицу FTN (*FEC To Next hop* — отображение класса FEC на следующий хоп) пример которой изображён на следующей странице.

# Пути коммутации по меткам

Признаки FEC	Метка
123.20.0.0/16; 195.14.0.0/16	106
194.20.0.0/24; eth1	107

На основании таблицы FTN каждому входящему пакету назначается **соответствующая метка**, после чего этот пакет становится неотличим в домене MPLS от других пакетов того же класса FEC.

Все они продвигаются **по одному и тому же пути** внутри домена.

У администратора сети имеется возможность **формировать таблицы** FEC или же корректировать их, если они формируются автоматически.

# Пути коммутации по меткам

Сложная настройка и конфигурирование **выполняются только в LER**, а все промежуточные устройства LSR делают **простую работу**, продвигая пакет в соответствии с техникой виртуального канала.

Выходное устройство LER **удаляет метку** и передает пакет в следующую сеть уже в стандартной форме IP-пакета.

Таким образом, технология MPLS **остаётся прозрачной** для остальных IP-сетей.

Обычно в MPLS-сетях используется **усовершенствованный** по сравнению с описанным алгоритм обработки пакетов.

Усовершенствование заключается в том, что удаление метки выполняет не последнее на пути устройство, **а предпоследнее**.

# Пути коммутации по меткам

Действительно, после того как предпоследнее устройство определит на основе значения метки следующий хоп, метка в MPLS-кадре уже не нужна, так как последнее устройство, то есть выходное устройство LER, должно продвигать пакет на основе значения IP-адреса.

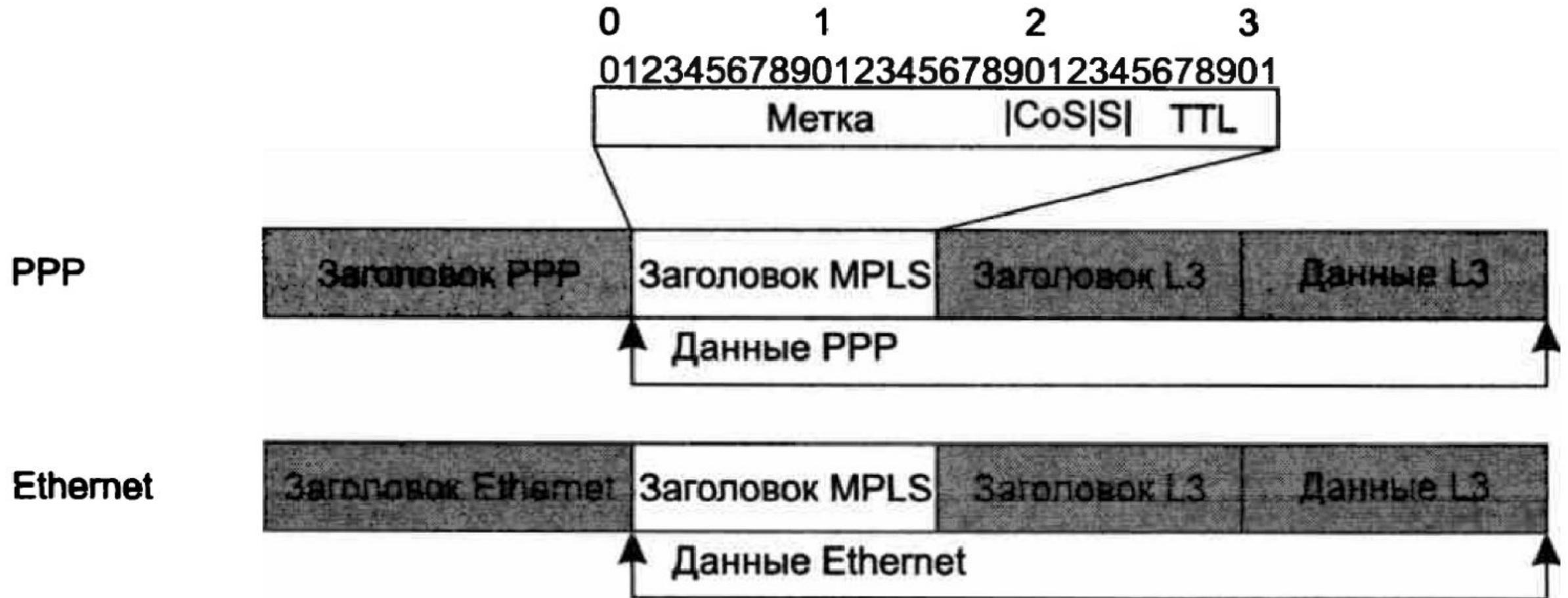
Это небольшое изменение алгоритма продвижения кадра позволяет сэкономить одну операцию над MPLS-кадром.

В противном случае последнее вдоль пути устройство должно было бы удалить метку, а уже затем выполнить просмотр таблицы IP-маршрутизации.

Эта техника получила название техники удаления метки на предпоследнем хопе (Penultimate Hop Popping, PHP).

# Заголовок MPLS и технологии канального уровня

Форматы заголовков нескольких разновидностей технологии MPLS



# Заголовок MPLS и технологии канального уровня

MPLS (Multiprotocol Label Switching) – технология многопротокольной коммутации по меткам.

Технология MPLS объединяет в одном коммуникационном устройстве два метода продвижения пакетов — дейтаграммный метод и метод коммутации виртуальных каналов.

Заголовок MPLS состоит из нескольких полей (смотри рисунок).  
Поля заголовка MPLS содержат следующие позиции:

- **Метка** (20 бит). Используется для выбора соответствующего пути коммутации по меткам

# Заголовок MPLS и технологии канального уровня

□ **Время жизни** (TTL, Time to live — предельный период времени или число итераций или переходов, за который набор данных (пакет) может существовать до своего исчезновения).

Данное поле, занимающее 8 бит, дублирует аналогичное поле IP-пакета.

Это необходимо для того, чтобы устройства LSR (**маршрутизаторы с коммутацией по меткам**) могли отбрасывать «заблудившиеся» пакеты только на основании информации, содержащейся в заголовке MPLS, не обращаясь к заголовку IP.

# Заголовок MPLS и технологии канального уровня

- **Класс услуги** (Class of Service, CoS поле, позволяющее маркировать ваш трафик 8-ю различными способами). Поле CoS, занимающее 3 бита, первоначально было зарезервировано для развития технологии, но в последнее время используется в основном для указания класса трафика, требующего определенного уровня QoS (англ. quality of service «качество обслуживания»).
- **Признак дна стека меток**. Этот признак (S) занимает 1 бит. Концепция стека меток позволяет организовывать иерархию LSP.

Концепцию стека меток мы изучим в следующем разделе, а пока для пояснения механизма взаимодействия MPLS с технологиями канального уровня рассмотрим ситуацию, когда заголовок MPLS включает только одну метку.

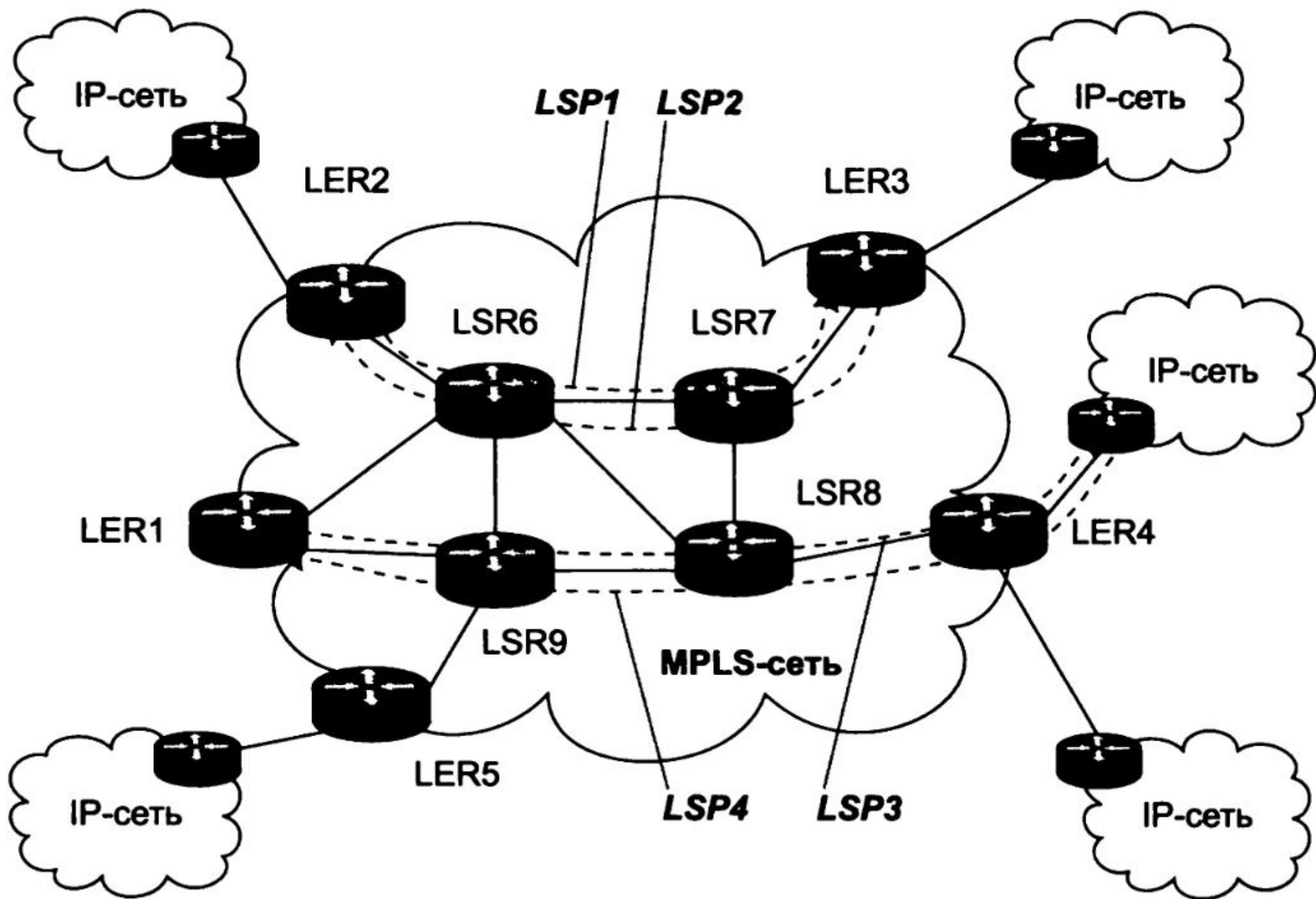
# Заголовок MPLS и технологии канального уровня

В кадрах канального уровня заголовок MPLS помещается между оригинальным заголовком и заголовком пакета третьего уровня.

На рисунке этот способ размещения метки показан для кадров PPP и Ethernet.

Стандарты MPLS определяют также способ размещения метки в кадрах Frame Relay и ячейках ATM.

В связи с тем, что заголовок MPLS помещается между заголовком канального уровня и заголовком IP, его называют **заголовком-вставкой** (shim header).



# Заголовок MPLS и технологии канального уровня

Продвижение кадра в MPLS-сети происходит на основе метки MPLS и техники LSP (**пути коммутации по меткам**, Label Switching Path, LSP).

Таким образом, если в MPLS применяется кадр Ethernet, то MAC-адреса источника и приемника **не используются** (хотя и присутствуют в соответствующих полях кадра Ethernet, для продвижения кадров в соединениях Ethernet с двухточечной топологией).

Исключение составляет случай, когда между двумя соседними устройствами LSR (**маршрутизаторов с коммутацией по меткам**) находится сеть коммутаторов Ethernet, — тогда MAC-адрес назначения MPLS-кадра потребуется для того, чтобы кадр дошел до следующего устройства LSR, а уже оно будет продвигать его на основании метки.

# Стек меток

**Стек** (англ. stack — стопка; читается стэк) — абстрактный тип данных, представляющий собой список элементов, организованных по принципу LIFO (англ. last in — first out, «**последним пришёл — первым вышел**»).

Чаще всего принцип работы стека сравнивают со стопкой тарелок: чтобы взять вторую сверху, нужно снять верхнюю.

В цифровом вычислительном комплексе стек **называется магазином** — по аналогии с магазином в огнестрельном оружии (стрельба начнётся с патрона, заряженного последним).

В 1946 Алан Тьюринг ввёл понятие стека. А в 1957 году немцы Клаус Самельсон и Фридрих Л. Бауэр **запатентовали** идею Тьюринга.

Иногда стеком называют любой список данных, для которых доступны операции **pop** и **push**.

# Стек меток



# Стек меток

Наличие стека меток является одним из оригинальных свойств MPLS (Multiprotocol Label Switching – технология многопротокольной коммутации по меткам).

Стек меток позволяет создавать систему агрегированных путей LSP с любым количеством уровней иерархии.

Для поддержания этой функции MPLS-кадр, который перемещается вдоль иерархически организованного пути, должен включать столько заголовков MPLS, сколько уровней иерархии имеет путь.

Напомним, что заголовок MPLS каждого уровня имеет собственный набор полей: метка, CoS, TTL и S.

Последовательность заголовков организована как стек, так что всегда имеется метка, находящаяся на вершине стека, и метка, находящаяся на дне стека, при этом последняя сопровождается

# Стек меток

Над метками выполняются следующие операции, задаваемые в поле действий таблицы продвижения:

- **Push** — поместить метку в стек. В случае пустого стека эта операция означает простое присвоение метки пакету. Если же в стеке уже имеются метки, в результате этой операции новая метка сдвигает «старые» в глубь стека, сама оказываясь на вершине.
- **Swap** — заменить текущую метку новой.
- **Pop** — выталкивание (удаление) верхней метки, в результате все остальные метки стека поднимаются на один уровень.

Продвижение MPLS-кадра всегда происходит на основе метки, находящейся в данный момент на вершине стека.

# Стек меток

Иерархия меток чаще всего находит свое применение в сетях, разделенных на несколько доменов.

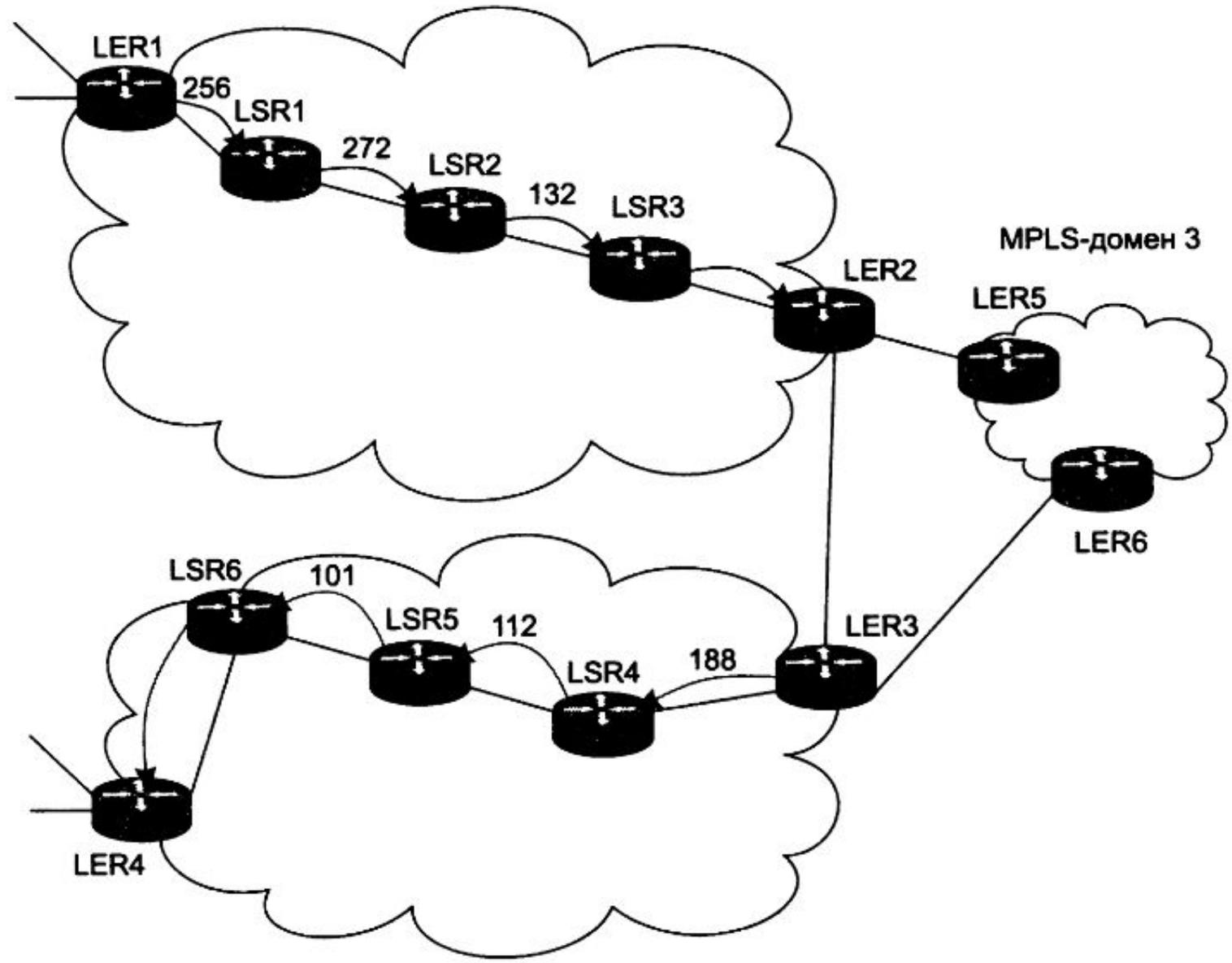
Внутри домена продвижение пакетов происходит на основе меток одного из уровней стека, а между доменами — на основе меток другого уровня.

Такой подход позволяет независимо организовать внутридоменную и междоменную маршрутизацию пакетов, что во многих случаях оказывается полезным.

Здесь можно провести аналогию с использованием MAC-адресов для передачи пакетов внутри IP-подсети и IP-адресов для передачи пакетов между IP-подсетями.

Рассмотрим работу двух уровней иерархии меток на примере сети, изображенной на рисунке.

MPLS-домен 1



-  LSP1 MPLS-домен 2
-  LSP2

# Стек меток

Сеть состоит из трех MPLS-доменов.

На рисунке показаны путь LSP1 в домене 1 и путь LSP2 в домене 2.

LSP1 соединяет устройства LER1 и LER2, проходя через устройства LSR1, LSR2 и LSR3.

Пусть начальной меткой пути LSP1 является метка 256, которая была присвоена пакету пограничным устройством LER1.

На основании этой метки пакет поступает на устройство LSR1, которое по своей таблице продвижения определяет новое значение метки пакета (272) и переправляет его на вход LSR2.

Устройство LSR2, действуя аналогично, присваивает пакету новое значение метки (132) и передает его на вход LSR3.

# Стек меток

Устройство LSR3, будучи предпоследним устройством в пути LSP1, выполняет операцию *Pop* и удаляет метку из стека.

Устройство LER2 продвигает пакет уже на основании IP-адреса.

На рисунке также показан путь LSP2 в домене 2.

Он соединяет устройства LER3 и LER4, проходя через устройства LSR4, LSR5 и LSR6, и определяется последовательностью меток 188, 112, 101.

Для того чтобы IP-пакеты могли передаваться на основе технологии MPLS не только внутри каждого домена, но и между доменами (например, между устройствами LER1 и LER4), существуют два принципиально разных решения.

# Стек меток

□ Первое решение состоит в том, что между LER1 и LER4 устанавливается **один одноуровневый путь** коммутации по меткам, соединяющий пути LSP1 (пути коммутации по меткам) и LSP2 (которые в этом случае становятся одним путем).

Это простое на первый взгляд решение, называемое **сшиванием путей** LSP, плохо работает в том случае, когда MPLS-домены принадлежат разным поставщикам услуг, не позволяя им действовать независимо друг от друга, так как путь должен быть установлен «из конца в конец» одним из сигнальных протоколов (мы их рассмотрим далее, сейчас детали их работы нам не важны).

# Стек меток

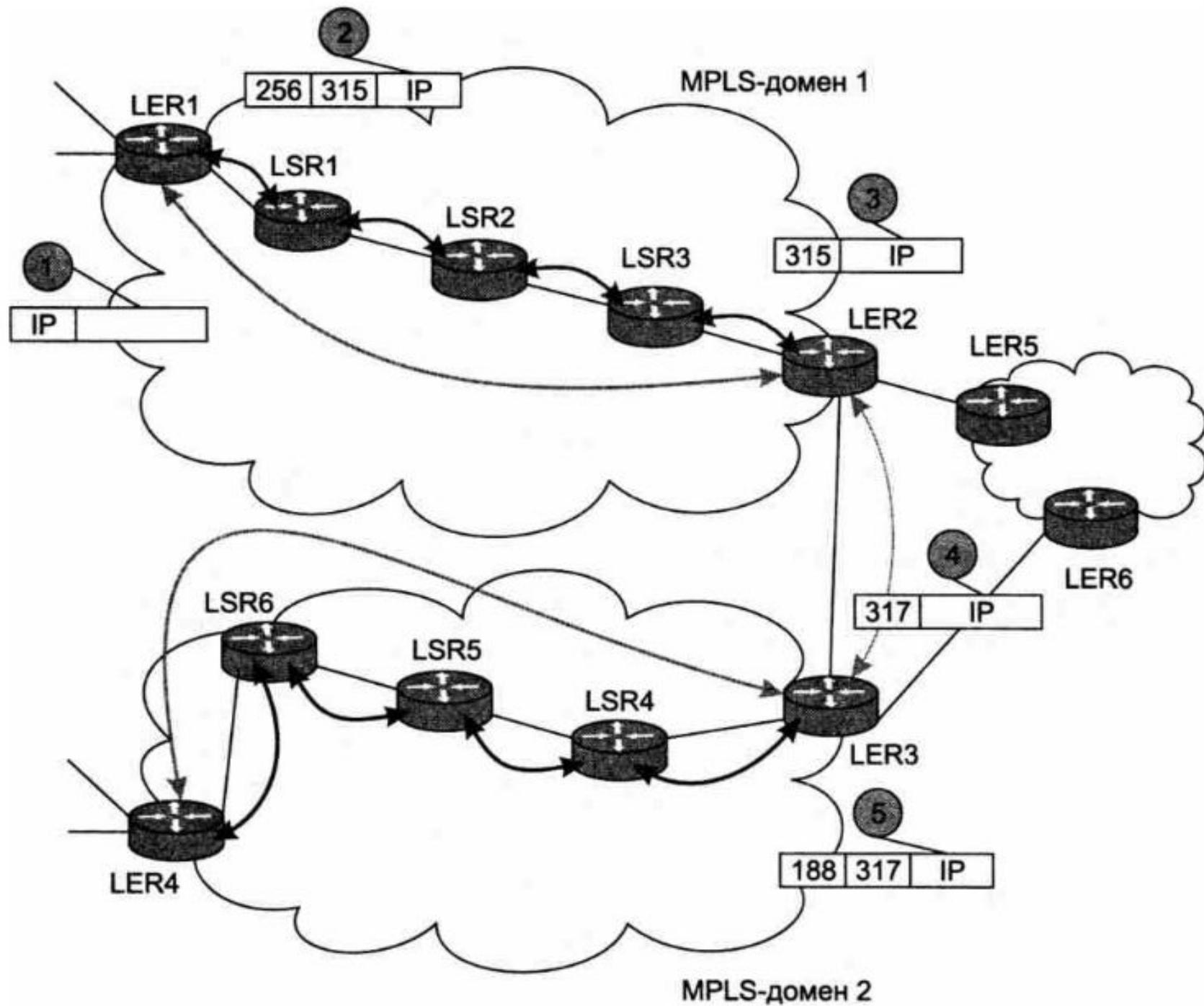
□ Вторым, более перспективным решением является применение **многоуровневого подхода** к соединению двух MPLS-доменов, принадлежащих, возможно, разным поставщикам услуг.

Для реализации второго подхода в нашем примере нужно создать путь коммутации по меткам второго уровня (LSP3), соединяющий устройства LER1 и LER4.

Этот путь определяет последовательность хопов между доменами, а не между внутренними устройствами LSR каждого домена.

Так, LSP3 состоит из хопов LER1-LER2-LER3-LER4.

В этом отношении многоуровневый подход MPLS концептуально очень близок подходу протокола BGP, определяющего путь между автономными системами.



# Стек меток

Рассмотрим более детально, как работает технология MPLS в случае путей коммутации по меткам двух уровней (смотри рисунок).

В устройстве LER1 начинаются два пути — LSP1 и LSP3 (последний показан на рисунке серым цветом), что обеспечивается соответствующей записью в таблице продвижения устройства

Входной интерфейс	Метка	Следующий хоп	Действия
...	...	...	...
S0	—	S1	315 Push 256
...	...	...	...

# Стек меток

IP-пакеты, поступающие на интерфейс S0 устройства LER1, продвигаются на его выходной интерфейс S1, где для них создается заголовок MPLS, включающий метку 315 верхнего уровня (LSP3), которая на этот момент является верхушкой стека меток.

Затем эта метка проталкивается на дно стека (операция *Push*), а верхней становится метка 256, относящаяся к LSP1.

Далее MPLS-кадр с меткой 256 поступает на выходной интерфейс S1 пограничного устройства LER1 и передается на вход LSR1.

# Стек меток

Устройство LSR1 обрабатывает кадр в соответствии со своей таблицей продвижения. Метка 256, находящаяся на вершине стека, заменяется меткой 272.

<b>Входной интерфейс</b>	<b>Метка</b>	<b>Следующий хоп</b>	<b>Действия</b>
...	...	...	...
S0	256	S1	272
...	...	...	...

# Стек меток

Отметим, что метка 315, находящаяся ниже в стеке, устройством LSR1 игнорируется.

Аналогичные действия выполняет устройство LSR2, которое заменяет метку меткой 132 и отправляет кадр следующему по пути устройству LSR3 (смотри таблицу).

<b>Входной интерфейс</b>	<b>Метка</b>	<b>Следующий хоп</b>	<b>Действия</b>
...	...	...	...
S0	132	S1	Pop
...	...	...	...

# Стек меток

Нужно подчеркнуть, что значение метки междоменного пути LSP3 на границе между доменами не зависит от значений меток, используемых для внутридоменных путей LSP1 и LSP2.

Это позволяет операторам доменов изменять значения меток внутридоменных путей независимо друг от друга, например, прокладывая внутридоменные пути по другим маршрутам.

Это неизбежно приведет к переназначению меток в каждом из устройств LSR и LER.

Важно, что при этом значение междоменной метки при передаче пакета между устройствами LER доменов не меняется.

Поэтому пакет правильно обрабатывается принимающим устройством LER.

# Стек меток

Например, LER3 получит пакет от LER6 со значением метки 317 независимо от того, какое значение имела метка внутридомеенного пути LSP1.

При «**сшивании**» одноуровневых устройств LSP такой независимости доменов добиться нельзя.

Описанная модель двухуровневого пути легко **может быть расширена** для любого количества уровней.

# Список литературы:

1. Компьютерные сети. Н.В. Максимов, И.И. Попов, 4-е издание, переработанное и дополненное, «Форум», Москва, 2010.
2. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы, В. Олифер, Н. Олифер (5-е издание), «Питер», Москва, Санкт-Петербург, 2016.
3. Компьютерные сети. Э. Таненбаум, 4-е издание, «Питер», Москва, Санкт-Петербург, 2003.

# Список ссылок:

[https://studfiles.net/html/2706/610/html\\_1t7827cn0P.AOQ6/htmlconvd-5FjQl116x1.jpg](https://studfiles.net/html/2706/610/html_1t7827cn0P.AOQ6/htmlconvd-5FjQl116x1.jpg)

<https://bigslide.ru/images/51/50961/960/img12.jpg>

<https://bigslide.ru/images/51/50961/960/img11.jpg>

[https://1.bp.blogspot.com/-qptz15WfEJE/XDoN736gSvI/AAAAAAAAAU8/ESDrBE1iP-0vt5keIdxrnh\\_Y6ZpF2\\_2tQCLcBGAs/s1600/Hybrid-Network.jpg](https://1.bp.blogspot.com/-qptz15WfEJE/XDoN736gSvI/AAAAAAAAAU8/ESDrBE1iP-0vt5keIdxrnh_Y6ZpF2_2tQCLcBGAs/s1600/Hybrid-Network.jpg)

[http://www.klikglodok.com/toko/19948-thickbox\\_default/jual-harga-allied-telesis-switch-16-port-gigabit-10-100-1000-unmanaged-at-gs900-16.jpg](http://www.klikglodok.com/toko/19948-thickbox_default/jual-harga-allied-telesis-switch-16-port-gigabit-10-100-1000-unmanaged-at-gs900-16.jpg)

<http://900igr.net/up/datas/221400/029.jpg>

# Спасибо за внимание!

Преподаватель: Солодухин Андрей Геннадьевич

Электронная почта: [asoloduhin@kait20.ru](mailto:asoloduhin@kait20.ru)