



Cisco Expo 2009

# Внедрение IPv6 в сетях операторов связи



**Алексей Митроничев**

**Системный инженер-консультант**

**[amitroni@cisco.com](mailto:amitroni@cisco.com)**

# Agenda

1. Стратегия Интеграции IPv6 для оператора связи
2. IPv6 в магистральной сети
  - Внедрение native IPv6
  - MPLS Environments

# IPv6 в вашей IPv4 сети?

1. Легко проверить!
2. С помощью IPv4 NetFlow
  - Protocol 41: IPv6 поверх IPv4 или 6to4 туннели
  - IPv4 address: 192.88.99.1 (6to4 anycast server)
  - UDP 3544, - Teredo
3. 'ISATAP' в логах DNS запросов

# Стратегия интеграции IPv6



# IPv6 в сетях операторов связи: Движущие силы

## 1. Внешние

клиенты, которым необходим доступ к IPv6 ресурсам  
(разработка и экспериментальные цели)

клиенты, которым необходимо обеспечить взаимодействие узлов с  
поддержкой IPv6

клиенты, которым необходимо взаимодействие со своими заказчиками по  
IPv6 (например в США подрядчики Мин.Обороны)

## 2. Внутренние

Проблемы которые сложно решить с IPv4  
(управление большим количеством устройств)

Реорганизация определенных сервисов

## 3. Стратегические

Долгосрочные планы развития и стратегии предоставления услуг

Подготовка к предоставлению новых типов сервисов

Конкурентное преимущество

# Как подойти к этому вопросу?

1. IPv4 и IPv6 будут сосуществовать в обозримом будущем

День Д не обозначен (пока)

2. Подготовка и аккуратное планирование критичны

Сколько времени займет этот процесс в вашей сети?

3. IPv4 и IPv6 реализации должны быть масштабируемыми, надежными, безопасными



# Интеграция IPv6 и сосуществование

1. Существует много способов доставки IPv6 сервисов абонентам, наиболее важным является обеспечение End to End IPv6 связности
2. Общие шаги как для сетей операторов связи так и для корпоративных сетей
  - Схема адресации IPv6
  - Протоколы маршрутизации
  - Сервисы IPv6 (QoS, Multicast, DNS,...)
  - Безопасность
  - Network Management
3. Ресурсы разделяются между двумя этими протоколами как для плоскости управления так и для плоскости передачи данных. Необходимо оценить загрузку процессоров и требования по оперативной памяти
4. На сегодняшний момент большинство производителей обеспечивают обработку IPv6 трафика на аппаратном уровне, обеспечивая хорошую производительность

# Сегодняшняя сетевая инфраструктура

1. Инфраструктура магистралей операторов связи обычно двух типов:

- MPLS и связанные с ним сервисы

  - MPLS/VPN, L2 сервисы поверх MPLS, QoS, ...

- IPv4 ядро и соответствующие сервисы

  - L2TPv3, QoS, Multicast, ...

2. IP сервисы — Доступ

- Бизнес-клиенты: Выделенные линии

- физ. лица: ADSL, FTTH, Cable

3. Следующий шаг — Интеграция IPv6 сервисов

# Внедрение IPv6 в магистрали

## 1. IPv6 в случае Native IPv4 инфраструктуры

Туннелирование IPv6-in-IPv4

Native IPv6 с выделенными ресурсами (выделенная сеть)

Поддержка двух стеков протоколов IPv4-IPv6 (Dual-stack)

## 2. IPv6 в рамках MPLS инфраструктуры

6PE

6VPE

# Туннелирование IPv6 в IPv4

## 1. Варианты туннелирования

Статические туннели (RFC 2893)

GRE туннели (RFC 2473)

L2TPv3

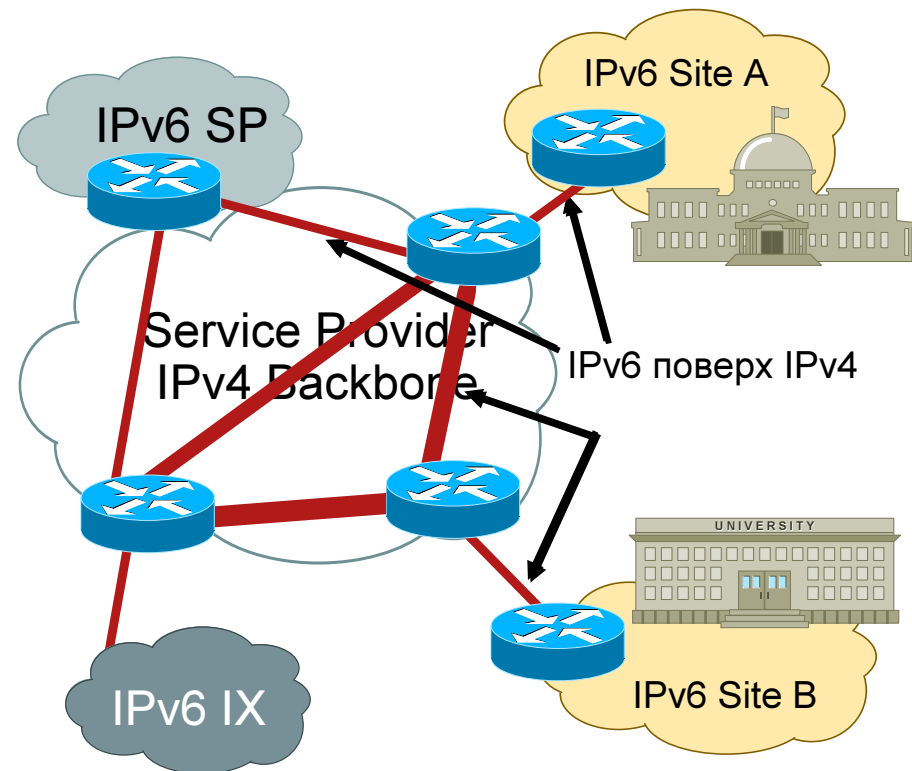
## 2. В случае оператора связи

Туннели в магистралах оператора

Туннели или Native IPv6 для IPv6 заказчиков

MP-BGP4 пиринг

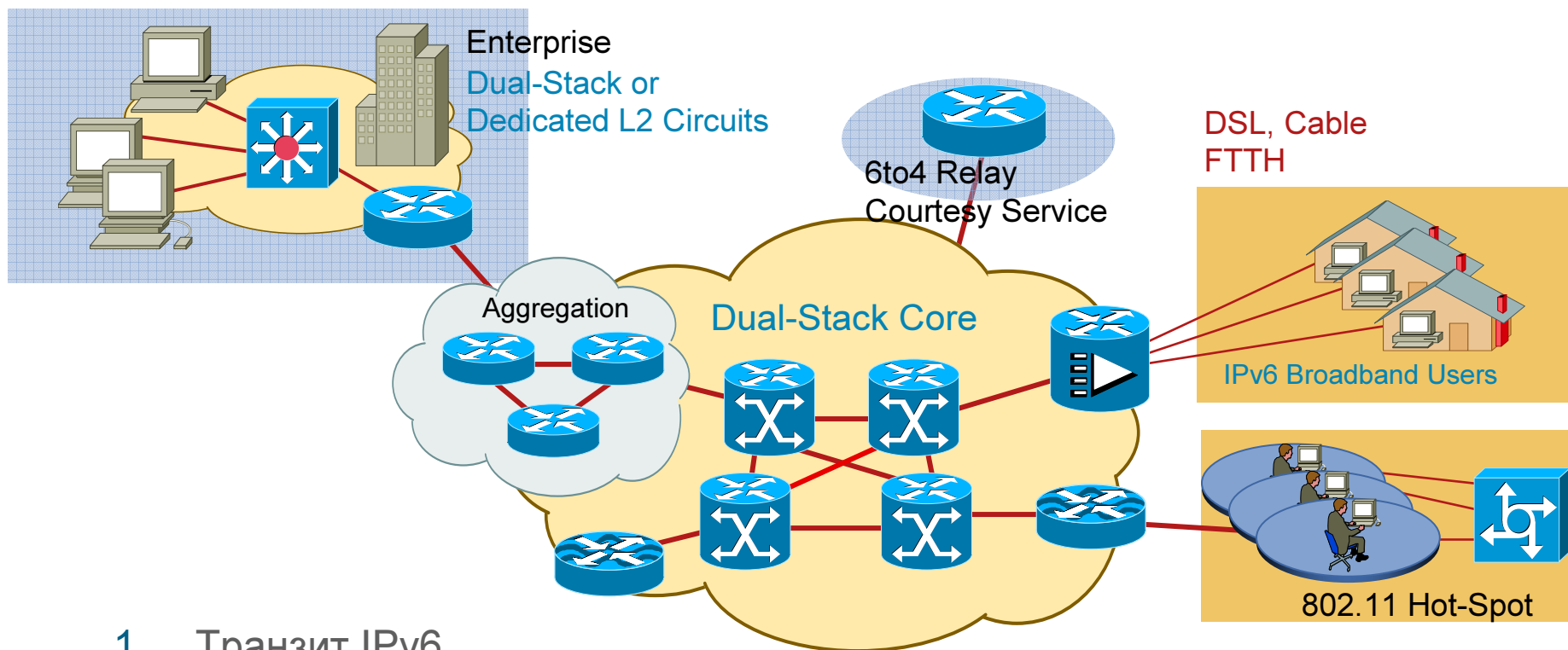
Подключение к IPv6 IX



# Dual-Stack



# Двойной стек IPv4-IPv6 в ядре



1. Транзит IPv6
2. IPv6 включен на магистральных маршрутизаторах (IGPv6, MP-BGP)
3. Подключение клиентов по IPv6
4. Дополнительные сервисы IPv6 multicast

# Протоколы маршрутизации IPv6

## 1. IPv6 – эволюционное развитие IPv4.

Хорошо видно на примере маршрутизации, которая претерпела минимальные изменения (хотя сами протоколы в ряде случаев были существенно переработаны):

## 2. Unicast маршрутизация для IPv6 -

**Статическая маршрутизация**

RIPng ⇔ RIPv2

IPv6 EIGRP ⇔ EIGRP

**IPv6 IS-IS**

**OSPFv3 ⇔ OSFPv2**

**IPv6 extensions for BGP**

# Статическая маршрутизация

```
ipv6 route ipv6-prefix/prefix-length {ipv6-address |  
interface-type interface-number [ipv6-address]}  
[administrative-distance] [administrative-multicast-  
distance | unicast | multicast] [tag tag]
```

Примеры:

1. Отправлять пакеты для сети 2001:DB8::0/32 на адрес 2001:DB8:1:1::1 с адм. дистанцией 10

```
Router(config)# ipv6 route 2001:DB8::0/32 2001:DB8:1:1::1 10
```

2. Маршрут по умолчанию с NH 2001:DB8:1:1::1

```
Router(config)# ipv6 route ::/0 2001:DB8:1:1::1
```

# Integrated IS-IS для IPv6

1. RFC 5308: Routing IPv6 with IS-IS
2. Добавлены два TLVs для поддержки IPv6:
  - IPv6 Reachability TLV (0xEC)— Описывает сетевую доступность (IPv6 префикс, метрику и биты параметров). Биты параметров указывают на происхождение анонса: редистрибуция из других протоколов или из второго уровня иерархии (Level-2). Эквивалентно IP Internal/External Reachability TLV, описанных в RFC1195.
  - IPv6 Interface Address TLV (0xE8)—Содержит 128-битный адрес. Hello PDU должны содержать link-local адрес, а LSP должны включать только **не** link-local адреса.
3. Новый Network Layer Protocol Identifier (NLPID) - позволяет IS-IS маршрутизаторам с поддержкой IPv6 анонсировать IPv6 префиксы (prefix payload) используя значени 0x8E (для IPv4 и OSI используются другие значения)

# Integrated IS-IS—IPv4 и IPv6

1. Одна топология (по умолчанию для всех поддерживаемых протоколов). Потенциальное преимущество в экономии ресурсов (одна топология, один SPF):

Все маршрутизаторы должны поддерживать одни и те же address family. Проверка adjacency должна быть включена во время миграции.

Метрики для интерфейсов применяются одинаково к IPv4 и IPv6

2. Multi-topology (RFC5120)

Независимые топологии для IPv4 и IPv6

Возможность задания разных метрик для интерфейса для IPv4 и для IPv6

3. Режим миграции— анонсируются оба типа TLV

# IS-IS (Единая топология)

```
Router1#show isis database verbose level-1
```

```
IS-IS Level-1 Link State Database:
```

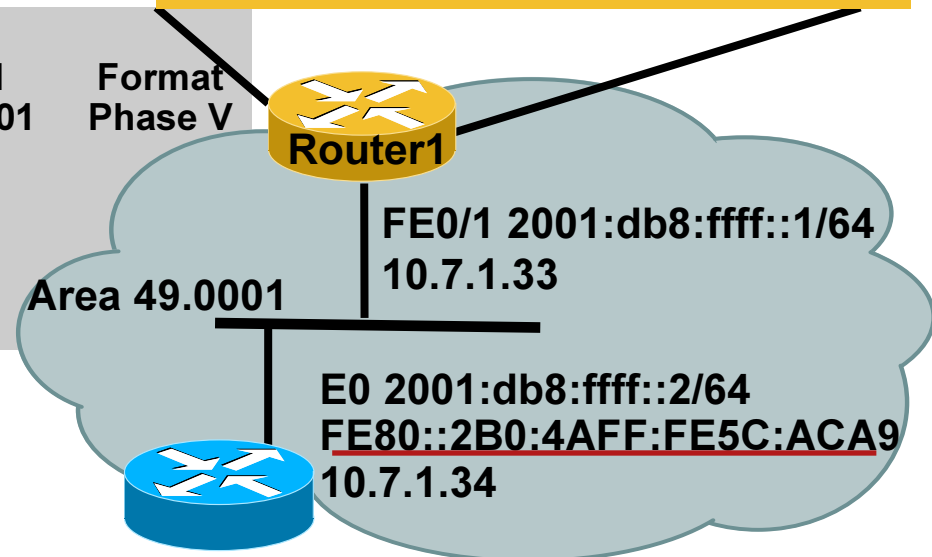
LSPID	LSP Seq Num	LSP Checksum	LSP Holdtime	ATT/P/OL
Router2.00-00	0x0000000B	0xAB35	1020	0/0/0
Area Address: 49.0001				
NLPID:	0xCC	0x8E		
Hostname: Router2				
IP Address:	10.7.1.34			
Metric: 10	IP 10.7.1.32 255.255.255.252			
IPv6 Address:	2001:db8:FFFF::2			
Metric: 10	IPv6 2001:db8:FFFF::/64			
Metric: 10	IS Router2.01			

```
router isis example-area
 net 49.0001.0000.0000.0001.00
 !
interface FastEthernet0/1
 ip address 10.7.1.33 255.255.255.252
 ip router isis example-area
 ipv6 address 2001:db8:FFFF::1/64
 ipv6 enable
 ipv6 router isis example-area
```

```
Router1#show clns is-neighbors detail
```

System Id	Interface	State	Type	Priority	Circuit Id	Format
Router2	Fa0/1	Up	L1L2	64/64	Router2.01	Phase V

```
Area Address(es): 49.0001
IP Address(es): 10.7.1.34*
IPv6 Address(es): FE80::2B0:4AFF:FE5C:ACA9
Uptime: 00:01:25
NSF capable
```

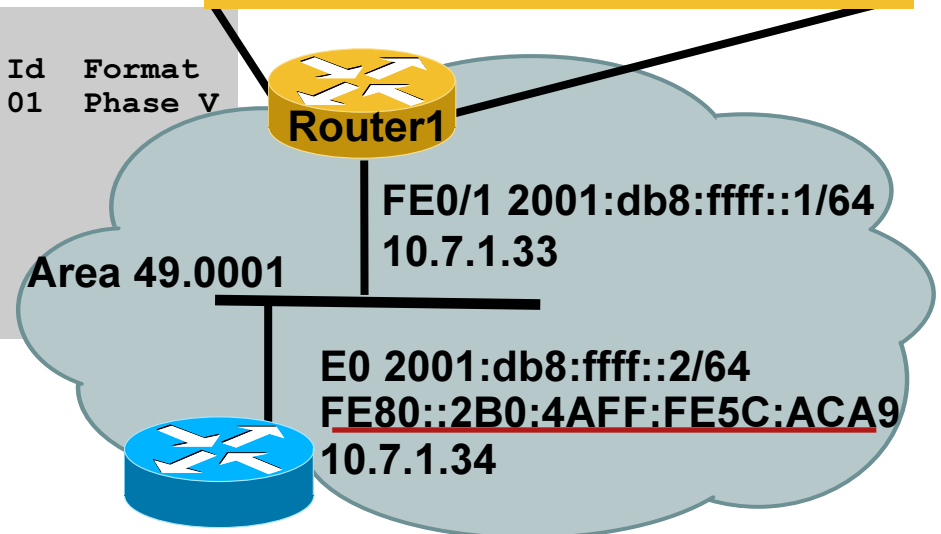


# IS-IS (Multi Topology)

```
Router1#show isis database verbose level-1
IS-IS Level-1 Link State Database:
LSPID          LSP Seq Num  LSP Checksum  LSP Holdtime  ATT/P/OL
Router2.00-00  0x00000014   0x8B3E        1086          0/0/0
  Area Address: 49.0001
  Topology:     IPv4 (0x0) IPv6 (0x2)
  NLPID:        0xCC 0x8E
  Hostname: Router2
  IP Address:   10.7.1.34
  Metric: 10    IP 10.7.1.32/30
  IPv6 Address: 2001:db8:FFFF::2
  Metric: 10    IPv6 (MT-IPv6) 2001:db8:FFFF::/64
  Metric: 10    IS (MT-IPv6) Router2.01
```

```
router isis example-area
net 49.0001.0000.0000.0001.00
metric-style wide transition
!
address-family ipv6
multi-topology transition
```

```
Router1#show clns is-neighbors detail
System Id  Interface State Type Priority Circuit Id Format
Router2    Fa0/1    Up    L1L2 64/64 Router2.01 Phase V
  Area Address(es): 49.0001
  IP Address(es): 10.7.1.34*
  IPv6 Address(es): FE80::2B0:4AFF:FE5C:ACA9
  Uptime: 00:00:14
  NSF capable
  Topology: IPv4, IPv6
```



# OSPFv3 (RFC 2740) и OSPFv2

## 1. OSPFv3 базируется на OSPFv2:

Работает поверх IPv6 (port 89)

Использует те же основные типы пакетов

Механизмы обнаружения соседей и установления с ними взаимодействия идентичны (все OSPF маршрутизаторы FF02::5, все OSPF DR - FF02::6)

LSA flooding и aging механизмы идентичны

Те же типы интерфейсов (P2P, P2MP, broadcast, NBMA, virtual)

## 2. OSPFv3 и OSPFv2 – независимые процессы (ships in the night)

# Различия V2, V3

## OSPFv3 функционирует на интерфейсе

1. Канал (link) определяется как среда, по которой два устройства могут взаимодействовать на канальном уровне.
2. Вне зависимости от назначенных IPv6 адресов, два устройства могут взаимодействовать используя link-local адреса
3. Несколько IPv6 префиксов могут быть на одном канале

## Различия V2, V3 (2)

### Поддержка нескольких процессов (instance) на одном интерфейсе

1. Новое поле (instance) в заголовке OSPF пакета позволяет нескольким процессам работать на каждом интерфейсе
2. Пакеты принимаются с совпадающим Instance ID
3. Может использоваться для разделения трафика, несколько зон на одном канале

# Различия V2, V3 (3)

## Изменения в LSA

1. Router LSA и network LSA содержат только топологическую информацию
2. Router LSA может быть разбит на несколько LSA; link state ID в LSA заголовке это идентификатор фрагмента
3. Префиксы внутри зоны передаются в рамках нового LSA - intra-area-prefix-LSA
4. Префиксы передаются в inter-area и external LSA

# Различия V2, V3 (4)

## Диапазон распространения

1. В OSPFv3 три диапазона распространения для LSA (канальный, зона, AS) и они явно задаются в типе LS
2. В OSPFv2 изначально распространение было определено только внутри зоны и в рамках AS; позднее opaque LSA привнесли диапазон локального канала

# Различия V2, V3 (5)

## Обработка неизвестного LSA

1. Обработка неизвестных LSA задается с помощью U бита в типе LS
2. Когда U бит выставлен, LSA распространяется в рамках соответствующего диапазона так, как если бы LSA был известен
3. Если U бит не выставлен, LSA распространяется только на локальном соединении
4. В v2 неизвестные LSA отбрасывались

## Различия V2, V3 (6)

### Аутентификация не используется в OSPF

1. Аутентификация в самом OSPFv3 нет, аутентификация перекладывается на уровень IPv6
2. Autype и authentication поля в заголовке OSPF пакета таким образом не используются

## Различия V2, V3 (7)

### Формат OSPF пакета поменялся

1. Поле mask теперь нет в hello пакете
2. IPv6 префиксы только присутствуют в теле пакета link state update

# Различия V2, V3 (8)

## 2 новых типа LSA были добавлены

1. Link-LSA распространяется на локальном соединении и используется для
  - Передачи IPv6 link local адреса, используемого для вычисления NH
  - Анонс глобального IPv6 адреса другим маршрутизаторам на этом соединении (для подключение с множественным доступом)
  - Передача router options выделенному маршрутизатору (DR)
2. Intra-area-prefix-LSA анонсирует IPv6 адрес маршрутизатора внутри зоны

# Типы LSA

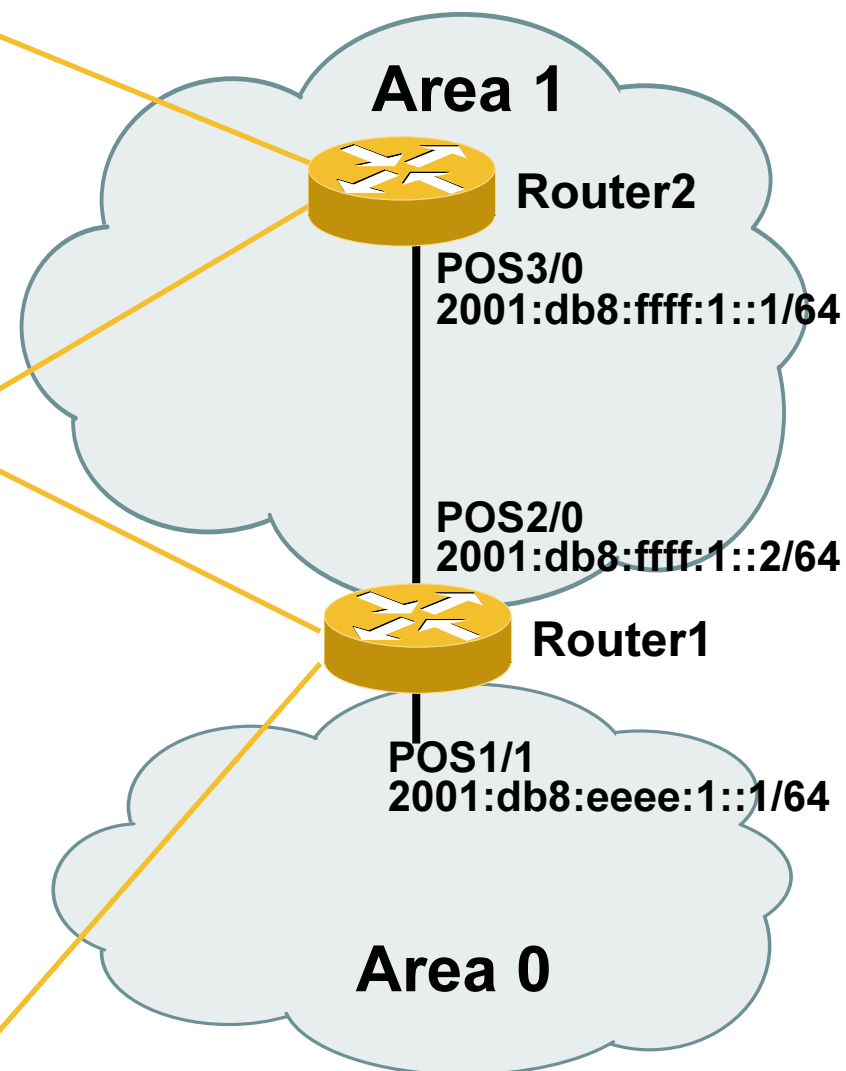
	LSA Function Code	LSA Type
Router-LSA	1	Ox2001
Network-LSA	2	Ox2002
Inter-Area-Prefix-LXA	3	Ox2003
Inter-Area-Router-LSA	4	Ox2004
AS-External-LSA	5	Ox4005
Group-Membership-LSA	6	Ox2006
Type-7-LSA	7	Ox2007
Link-LSA	8	Ox2008
Intra-Area-Prefix-LSA	9	Ox2009

**New**

# Пример настройки OSPFv3

```
Router2#  
interface POS3/0  
  ipv6 address 2001:db8:FFFF:1::1/64  
  ipv6 enable  
  ipv6 ospf 100 area 1  
  
ipv6 router ospf 100  
  router-id 10.1.1.4
```

```
Router1#  
interface POS1/1  
  ipv6 address 2001:db8:EEEE:1::1/64  
  ipv6 enable  
  ipv6 ospf 100 area 0  
  
interface POS2/0  
  ipv6 address 2001:db8:FFFF:1::2/64  
  ipv6 enable  
  ipv6 ospf 100 area 1  
  
ipv6 router ospf 100  
  router-id 10.1.1.3
```



# Пример настройки OSPFv3 (2)

```
Router2#show ipv6 ospf int pos 3/0
POS3/0 is up, line protocol is up
  Link Local Address FE80::290:86FF:FE5D:A000, Interface ID 7
  Area 1, Process ID 100, Instance ID 0, Router ID 10.1.1.4
  Network Type POINT_TO_POINT, Cost: 1
  Transmit Delay is 1 sec, State POINT_TO_POINT,
  Timer intervals configured, Hello 10, Dead 40, Wait 40, Retransmit 5
    Hello due in 00:00:02
  Index 1/1/1, flood queue length 0
  Next 0x0(0)/0x0(0)/0x0(0)
  Last flood scan length is 3, maximum is 3
  Last flood scan time is 0 msec, maximum is 0 msec
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
    Adjacent with neighbor 10.1.1.3
  Suppress hello for 0 neighbor(s)
```

# Пример настройки OSPFv3 (3)

```
Router2#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 5 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
OI 2001:db8:EEEE:1::/64 [110/2]
   via FE80::2D0:FFFF:FE60:DFFF, POS3/0
C 2001:DB8:FFFF:1::/64 [0/0]
  via ::, POS3/0
L 2001:DB8:FFFF:1::1/128 [0/0]
  via ::, POS3/0
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
```

# Расширения BGP-4 для IPv6 (RFC 2545)

**BGP-4 использует только 3 параметра ,  
которые специфичны для IPv4:**

1. NLRI в сообщении UPDATE содержит IPv4 префикс
2. NEXT\_HOP атрибут в сообщении UPDATE содержит IPv4 адрес
3. BGP идентификатор в сообщении OPEN и атрибуте AGGREGATOR

# Расширения BGP-4 для IPv6

## Многопротокольные расширения для BGP-4 (RFC 2858)

1. Позволяют BGP-4 передавать информацию о других протоколах (MPLS, IPv6, и т.д.)
2. Новые BGP-4 опциональные и нетранзитивные параметры
  - MP\_REACH\_NLRI
  - MP\_UNREACH\_NLRI
3. Протоколно-независимый параметр NEXT\_HOP
4. Протоколно-независимый параметр NLRI

# Расширения BGP-4 для IPv6

## 1. Новые опциональные и нетранзитивные BGP атрибуты:

MP\_REACH\_NLRI (код: 14)

Содержит набор доступных назначений вместе с параметрами next-hop

MP\_UNREACH\_NLRI (attribute code: 15)

Содержит набор недоступных назначений

## 2. Атрибуты с кодами 14 и 15 содержат одну или несколько совокупностей из трех параметров:

Address Family Information (AFI)

Next-Hop Information  
(из той же AFI)

NLRI

# Расширения BGP-4 для IPv6

## Address Family Information (AFI) для IPv6

### 1. AFI = 2 (RFC 1700)

Sub-AFI = 1 unicast

Sub-AFI = 2 (multicast for RPF check)

Sub-AFI = 3 для unicast и multicast

Sub-AFI = 4 метка

Sub-AFI= 128 VPN

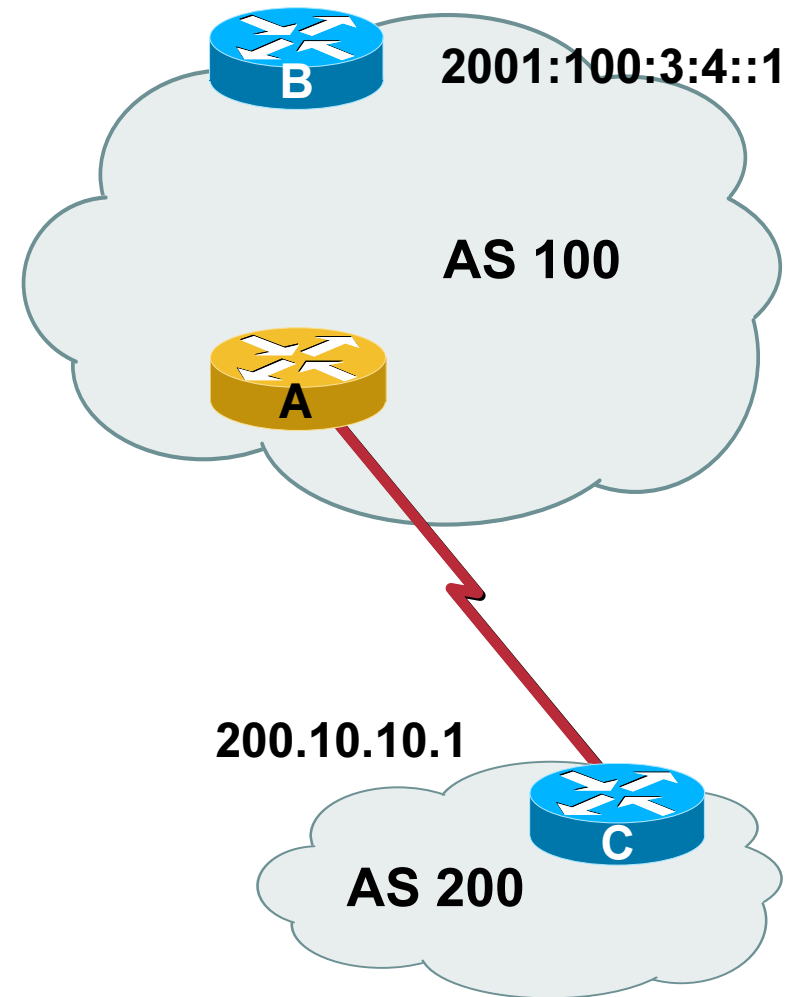
# Расширения BGP-4 для IPv6

1. Next-hop contains a global IPv6 address or potentially a link local (for iBGP update this has to be changed to global IPv6 address with route-map)
2. The value of the length of the next hop field on MP\_REACH\_NLRI attribute is set to 16 when only global is present and is set to 32 if link local is present as well
3. Link local address as a next-hop is only set if the BGP peer shares the subnet with both routers (advertising and advertised)

# Конфигурация BGP-4 для IPv6 пиринга (Non-Link Local)

## Router A

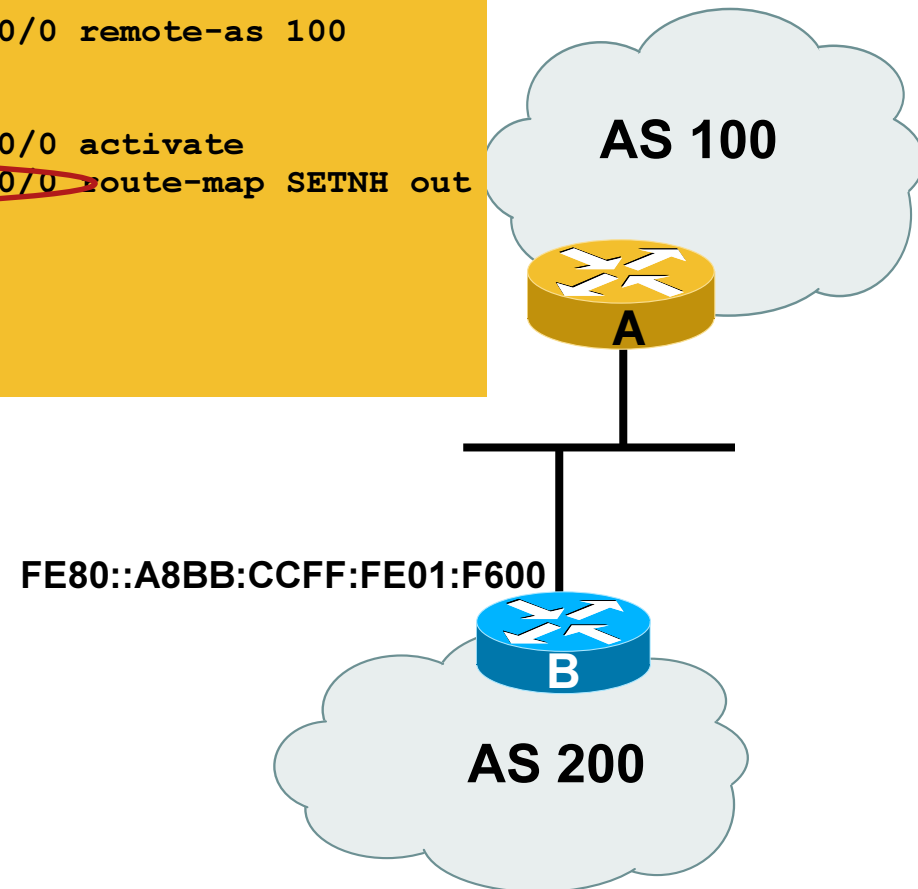
```
router bgp 100
  bgp log-neighbor-changes
  neighbor 2001:100:3:4::1 remote-as 100
  neighbor 200.10.10.1 remote-as 200
  !
  address-family ipv6
  neighbor 2001:100:3:4::1 activate
  neighbor 200.10.10.1 activate
  neighbor 200.10.10.1 route-map SETNH
out
  redistribute connected
  !
route-map SETNH permit 10
  set ipv6 next-hop 2001:100:3:1::1
```



# Конфигурация BGP-4 для IPv6 пиринга (link local)

## Router A

```
router bgp 200
neighbor FE80::A8BB:CCFF:FE01:F600%Ethernet0/0 remote-as 100
!
address-family ipv6
neighbor FE80::A8BB:CCFF:FE01:F600%Ethernet0/0 activate
neighbor FE80::A8BB:CCFF:FE01:F600%Ethernet0/0 route-map SETNH out
redistribute connected
no synchronization
!
route-map SETNH permit 10
set ipv6 next-hop 2001:100:1:1::2
```



# BGP-4 for IPv6 « Show Command »

## 1. Show bgp IPv6

```
RouterA#show bgp ipv6 2001:100:1:1::/64
BGP routing table entry for 2001:100:1:1::/64, version 71
Paths: (2 available, best #2, table default)
  Advertised to update-groups:
    1
  100
    2001:100:1:1::1 (FE80::A8BB:CCFF:FE01:F600) from FE80::A8BB:CCFF:FE01:F600%Ethernet0/0
(200.11.11.1)
      Origin incomplete, metric 0, localpref 100, valid, external
Local
  :: from 0.0.0.0 (200.14.14.1)
      Origin incomplete, metric 0, localpref 100, weight 32768, valid, sourced, best
```

# IPv6 поверх MPLS



# IPv6 поверх MPLS

1. Несколько способов доведения IPv6 сервисов до конечных пользователей

Важнее всего обеспечить передачу трафика IPv6 end-to-end

2. Многие операторы связи уже внедрили MPLS в своих магистральных сетях

3. MPLS может быть использован для интеграции IPv6

4. Несколько подходов:

IPv6 поверх L2TPv3

IPv6 поверх EoMPLS/AToM

IPv6 поверх IPv4 туннелей от CE до CE

**IPv6 provider edge router (6PE) over MPLS**

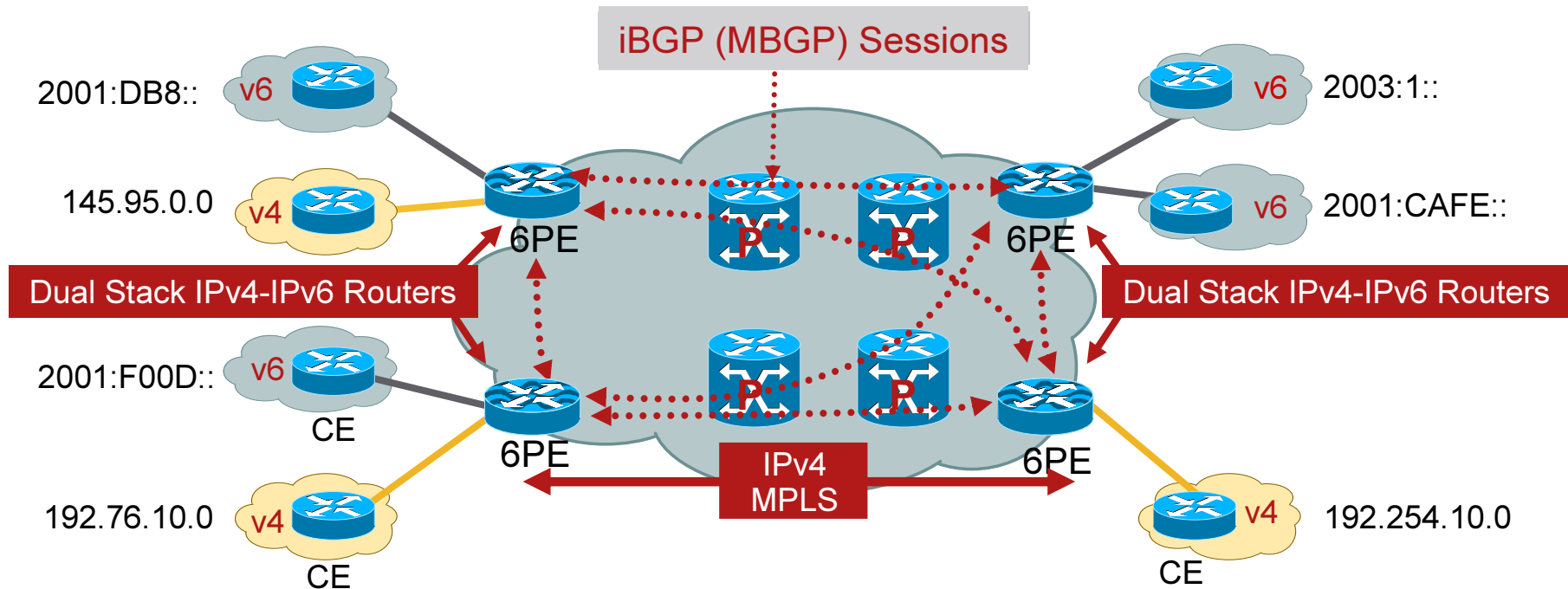
**IPv6 VPN provider edge (6VPE) over MPLS**

Native IPv6 MPLS

# 6PE

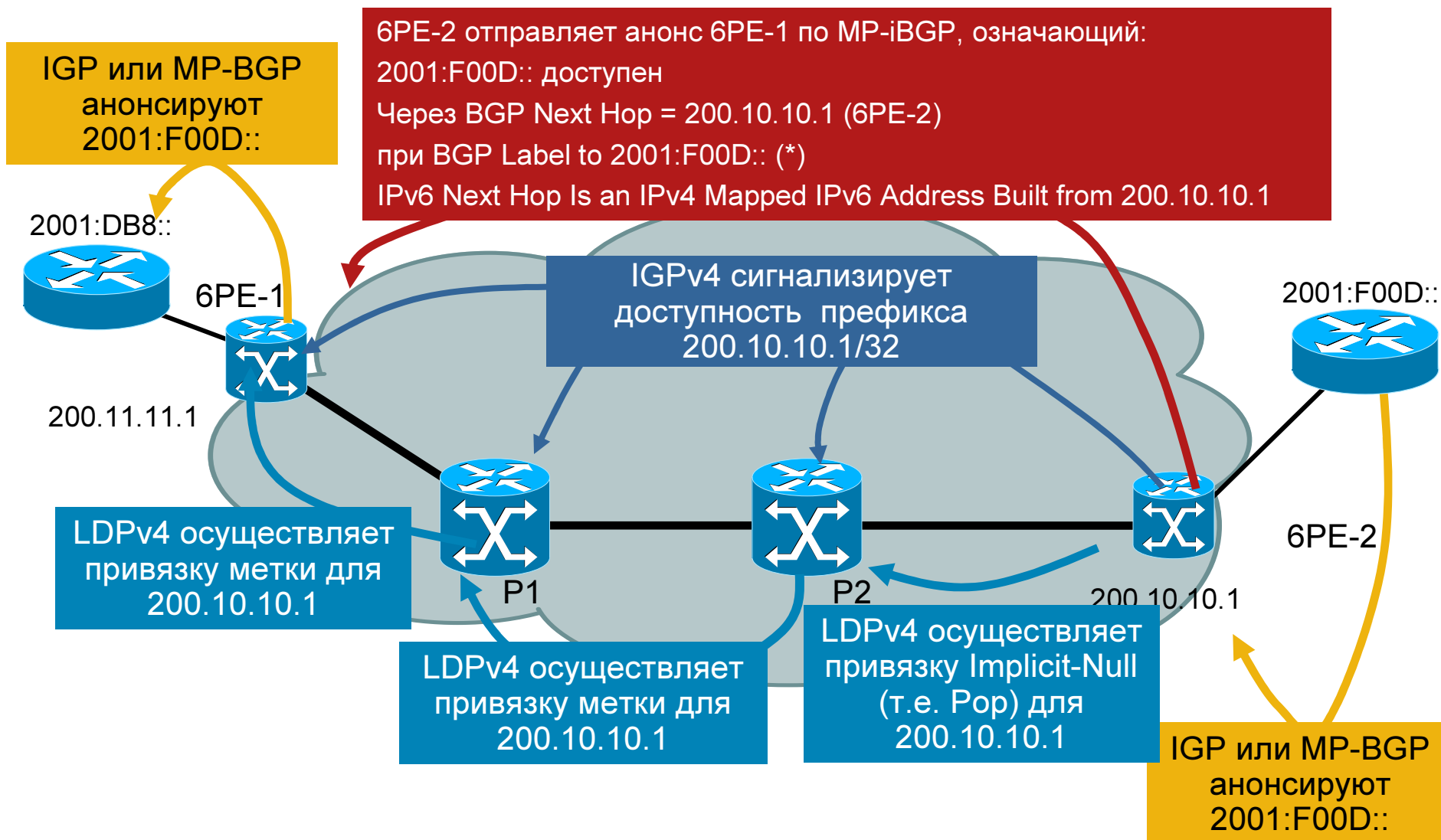


# IPv6 Provider Edge Router (6PE) Over MPLS



1. IPv6 связность поверх IPv4-MPLS магистрالی
2. На PE маршрутизаторах включается поддержка двойного стека/6PE
3. Обмен IPv6 маршрутной информацией между 6PE маршрутизаторами осуществляется по iBGP (MBGP)
4. IPv6 пакеты передаются между парой 6PE маршрутизаторов по MPLS

# 6PE: обмен маршрутами и метками



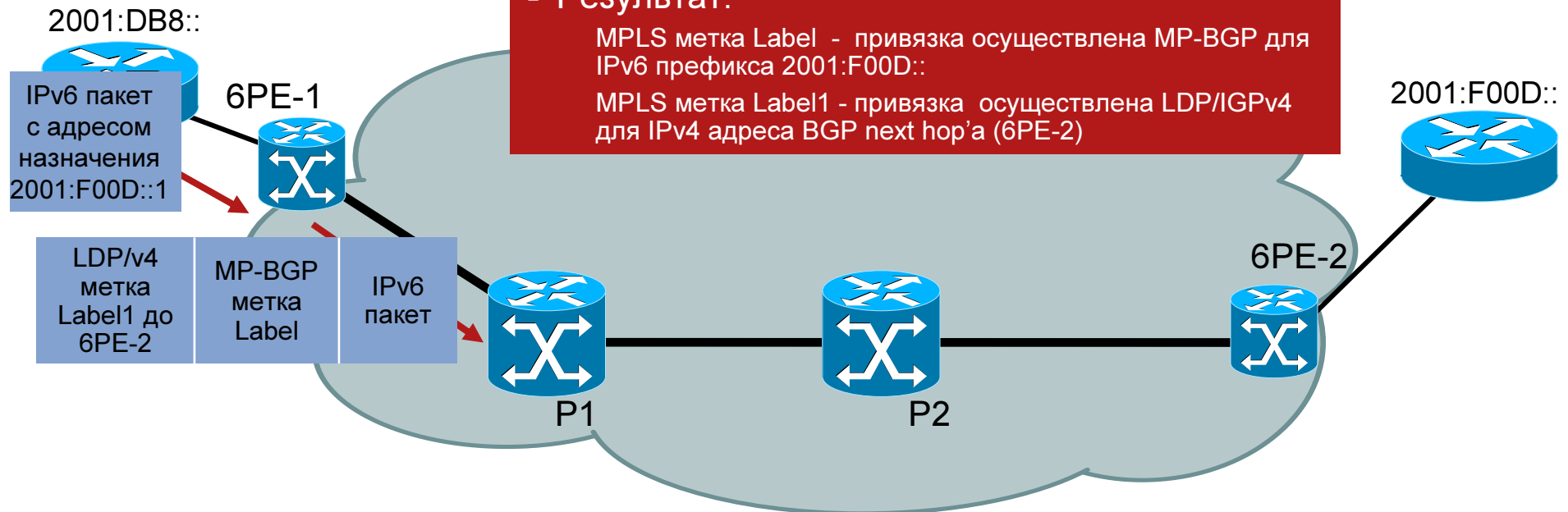
# 6PE: коммутация на 6PE-1

## IPv6 коммутация и добавление меток:

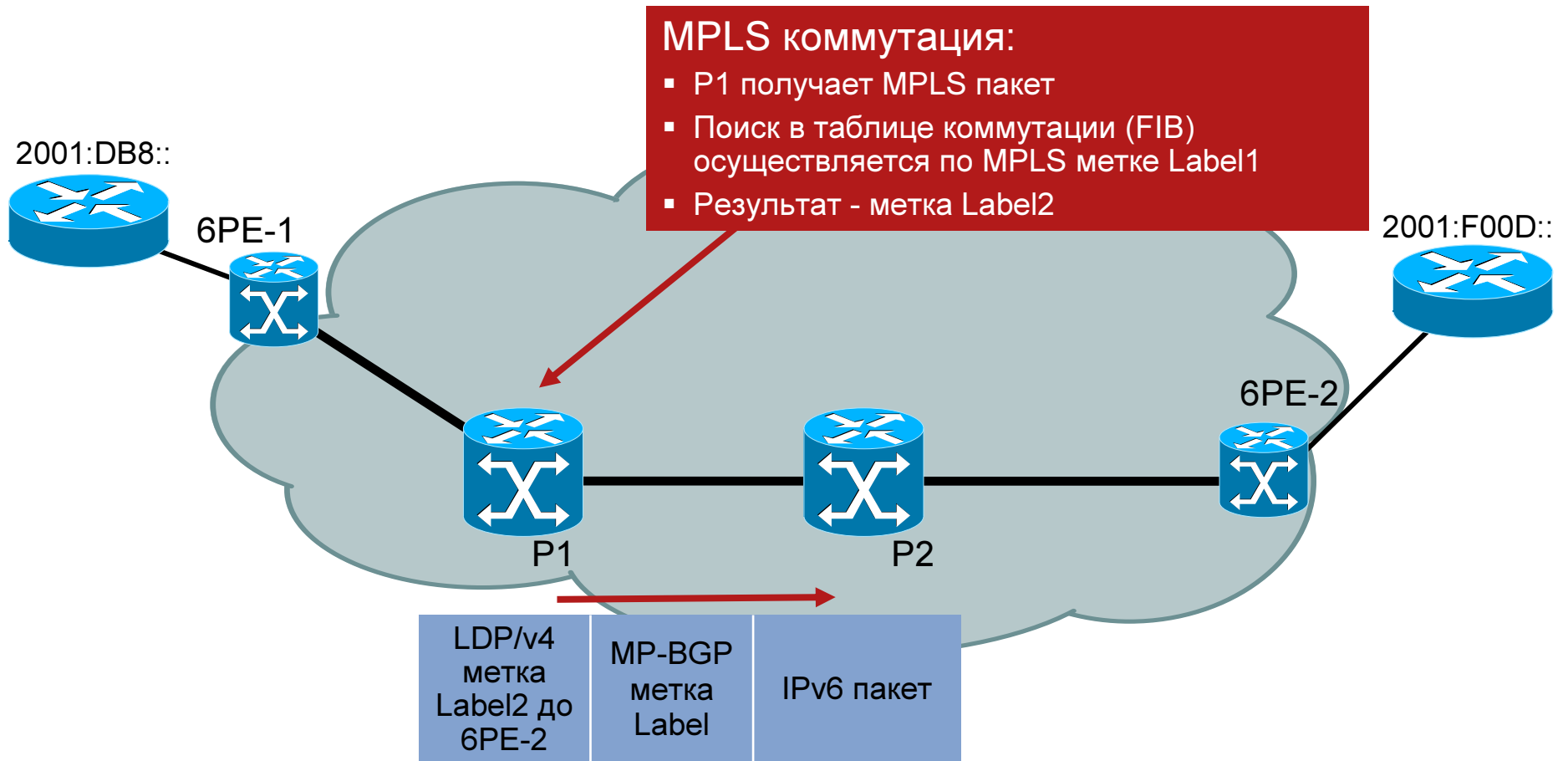
- 6PE-1 получает IPv6 пакет
- Осуществляется поиск в таблице маршрутизации/коммутации (FIB)
- Результат:

MPLS метка Label - привязка осуществлена MP-BGP для IPv6 префикса 2001:F00D::

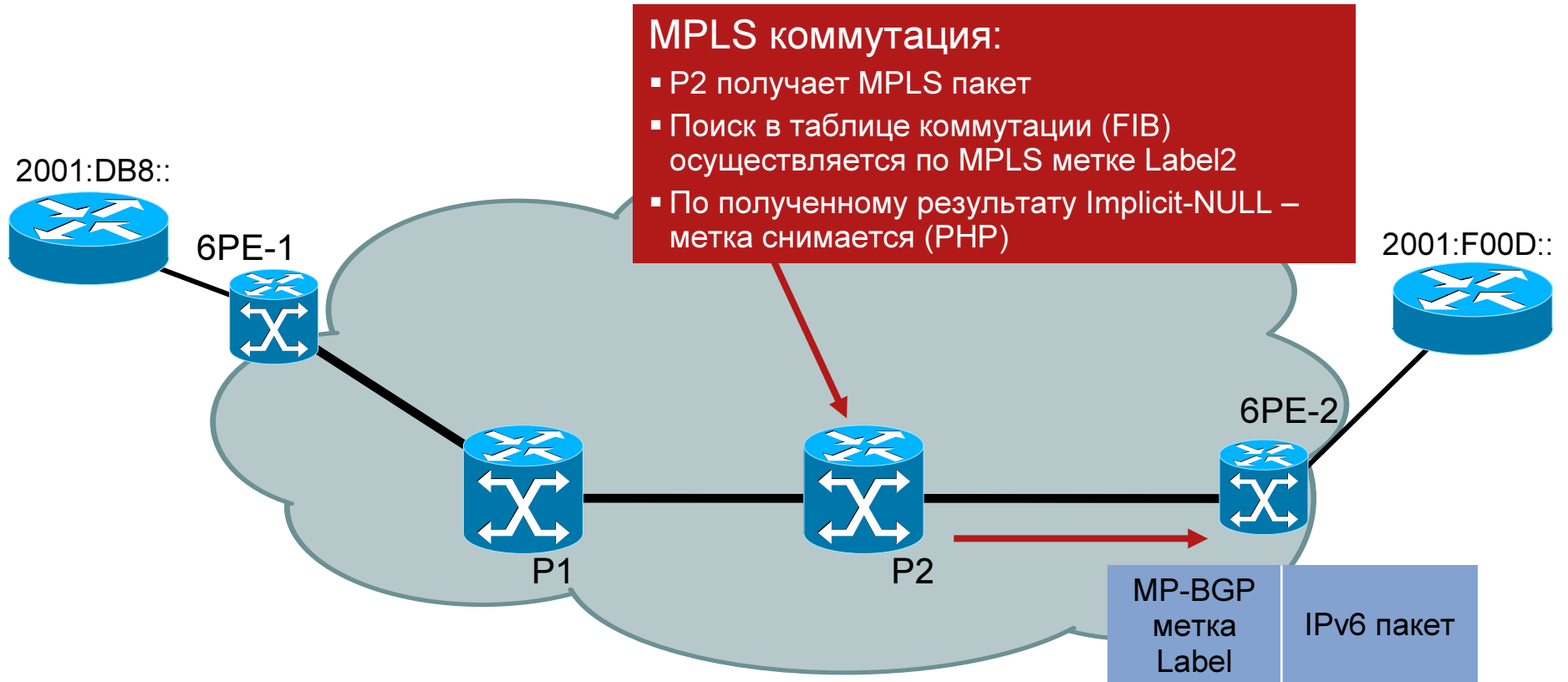
MPLS метка Label1 - привязка осуществлена LDP/IGPv4 для IPv4 адреса BGP next hop'a (6PE-2)



# 6PE: коммутация на P1



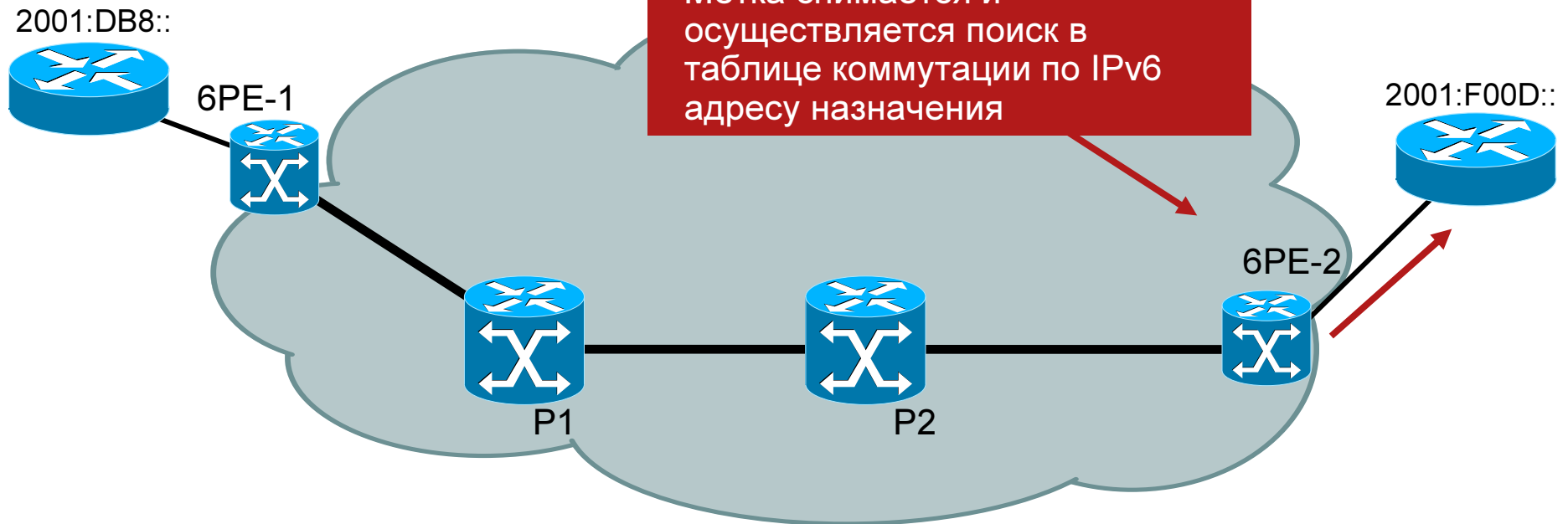
# 6PE: коммутация на P2



# 6PE: коммутация на 6PE-2

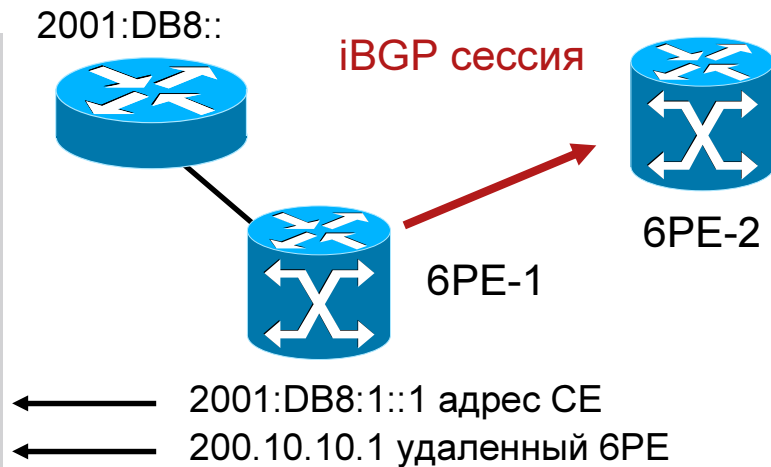
## MPLS коммутация:

- 6PE-2 получает MPLS пакет
- Поиск в таблице коммутации (FIB) осуществляется по MPLS метке Label
- Метка снимается и осуществляется поиск в таблице коммутации по IPv6 адресу назначения



# Конфигурация 6PE-1

```
ipv6 cef
!
mpls label protocol ldp
!
router bgp 100
  no synchronization
  no bgp default ipv4 unicast
  neighbor 2001:DB8:1::1 remote-as 65014
  neighbor 200.10.10.1 remote-as 100
  neighbor 200.10.10.1 update-source Loopback0
!
  address-family ipv6
    neighbor 200.10.10.1 activate
    neighbor 200.10.10.1 send-label
    neighbor 2001:DB8:1::1 activate
    redistribute connected
  no synchronization
  exit-address-family
```



← Указывает на отправку метки вместе с IPv6 префиксами с помощью MP-BGP

Примечание: произойдет переустановка сессии

# 6PE выводы Show команд

```
6PE-1#show ip route 200.10.10.1
Routing entry for 200.10.10.1/32
  Known via "isis", distance 115, metric 20, type level-2
[snip]
  * 10.12.0.1, from 200.10.10.1, via FastEthernet1/0
    Route metric is 20, traffic share count is 1
```

```
6PE-1#show ipv6 route
B 2001:F00D::/64 [200/0]
  via ::FFFF:200.10.10.1, IPv6-mps
```

```
6PE-1#show ipv6 cef internal #скрытая команда
.. OUTPUT TRUNCATED ..
2001:F00D::/64,
  nexthop ::FFFF:200.10.10.1
  fast tag rewrite with F0/1, 10.12.0.1, tags imposed {17 28}
```

## Другие полезные show команды:

```
show bgp ipv6 neighbors
show bgp ipv6 unicast
show mpls forwarding #more on this later
```

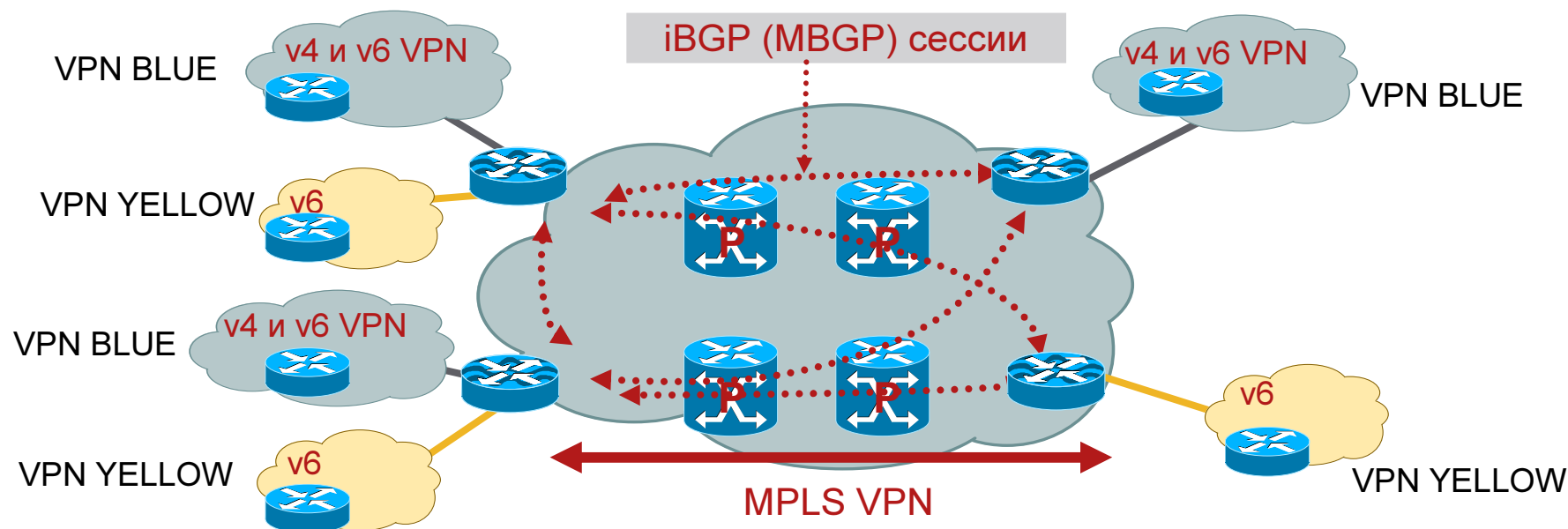
# 6PE Преимущества/Недостатки

1. Не требуется модернизация магистральных P маршрутизаторов (замена ПО, аппаратного обеспечения, изменения конфигураций)
2. Все преимущества MPLS коммутации (wire-rate, Fast Reroute, Traffic Engineering)
3. Возможно постепенное внедрение (т.е. только на тех PE маршрутизаторах, на которых необходимо обеспечить IPv6 связность)
4. Каждый сайт может быть: только v4, только VPNv4, v4+v6, v4VPN+v6
5. P маршрутизаторы не смогут отправлять ICMP сообщения (TTL expired, traceroute)

# 6VPE



# Внедрение 6VPE

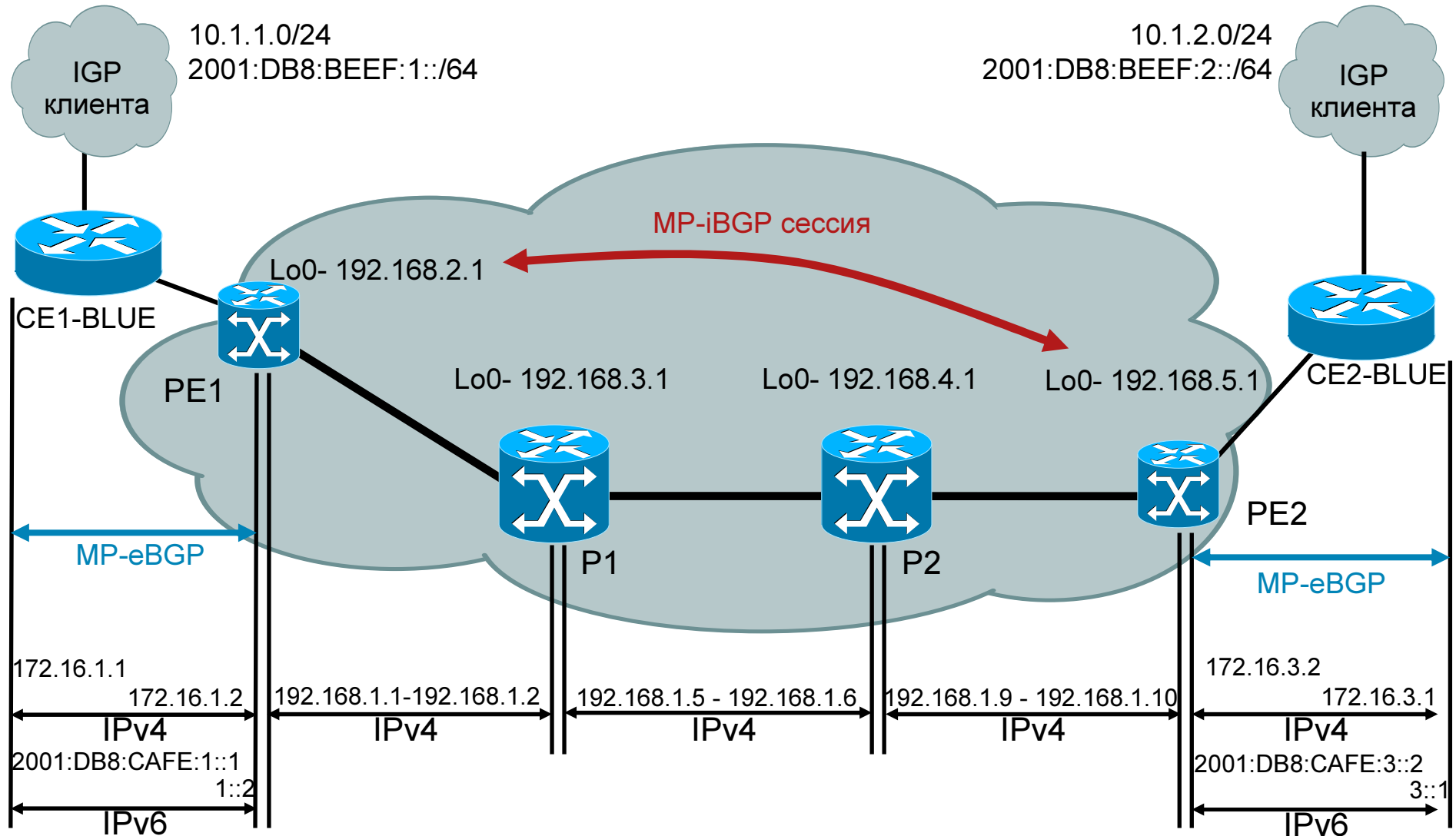


1. 6VPE ~ IPv6 + BGP-MPLS  
IPv4 VPN + 6PE
2. Cisco 6VPE – реализация RFC4659
3. VPNv6 адрес:  
Адрес, содержащий Route Distinguisher (64 бита) и 128 бит IPv6 адреса

1. MP-BGP VPNv6 address-family:  
AFI "IPv6" (2), SAFI "VPN" (128)
2. VPN IPv6 MP\_REACH\_NLRI  
VPNv6 next-hop (192bits)  
и NLRI в формате <длина, IPv6 префикс, метка>
3. Encoding of the BGP next-hop

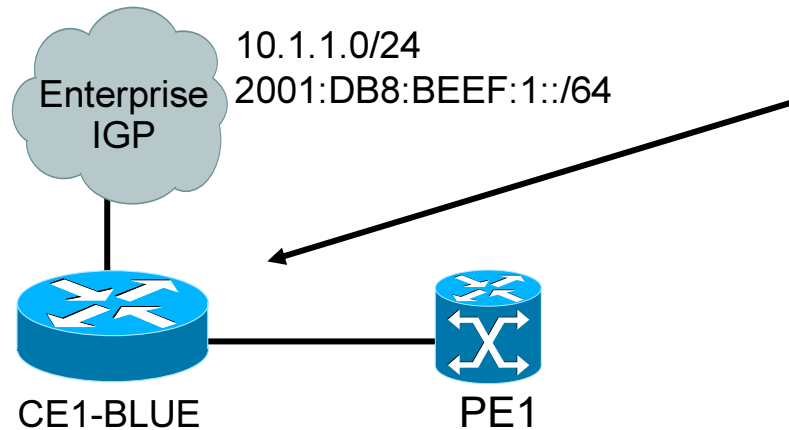
# 6VPE пример дизайна

## Адресация/маршрутизация



# 6VPE пример конфигурации

## Взаимодействие CE1-BLUE и PE1

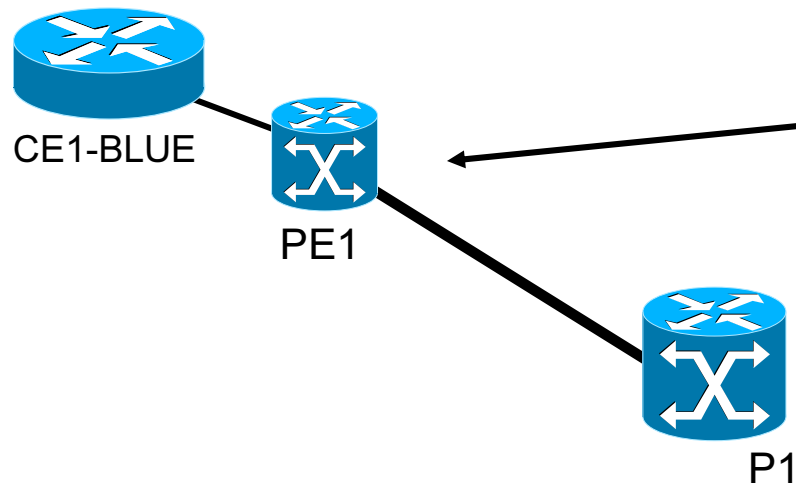


```
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
interface Ethernet0/0
  description to PE1
  ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
  ipv6 address 2001:DB8:CAFE:1::1/64
!
interface Ethernet1/0
  description to BLUE LAN
  ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
  ipv6 address 2001:DB8:BEEF:1::1/64
  ipv6 rip BLUE enable
```

```
router bgp 500
  bgp log-neighbor-changes
  no bgp default ipv4 unicast
  neighbor 2001:DB8:CAFE:1::2 remote-as 100
  neighbor 172.16.1.2 remote-as 100
!
  address-family ipv4
    redistribute connected
    redistribute eigrp 100
    neighbor 172.16.1.2 activate
  no auto-summary
  no synchronization
  exit-address-family
!
  address-family ipv6
    neighbor 2001:DB8:CAFE:1::2 activate
    redistribute connected
    redistribute rip BLUE
  no synchronization
  exit-address-family
!
  ipv6 router rip BLUE
  redistribute bgp 500
```

# 6VPE пример конфигурации

## PE1 – конфигурация магистральной части

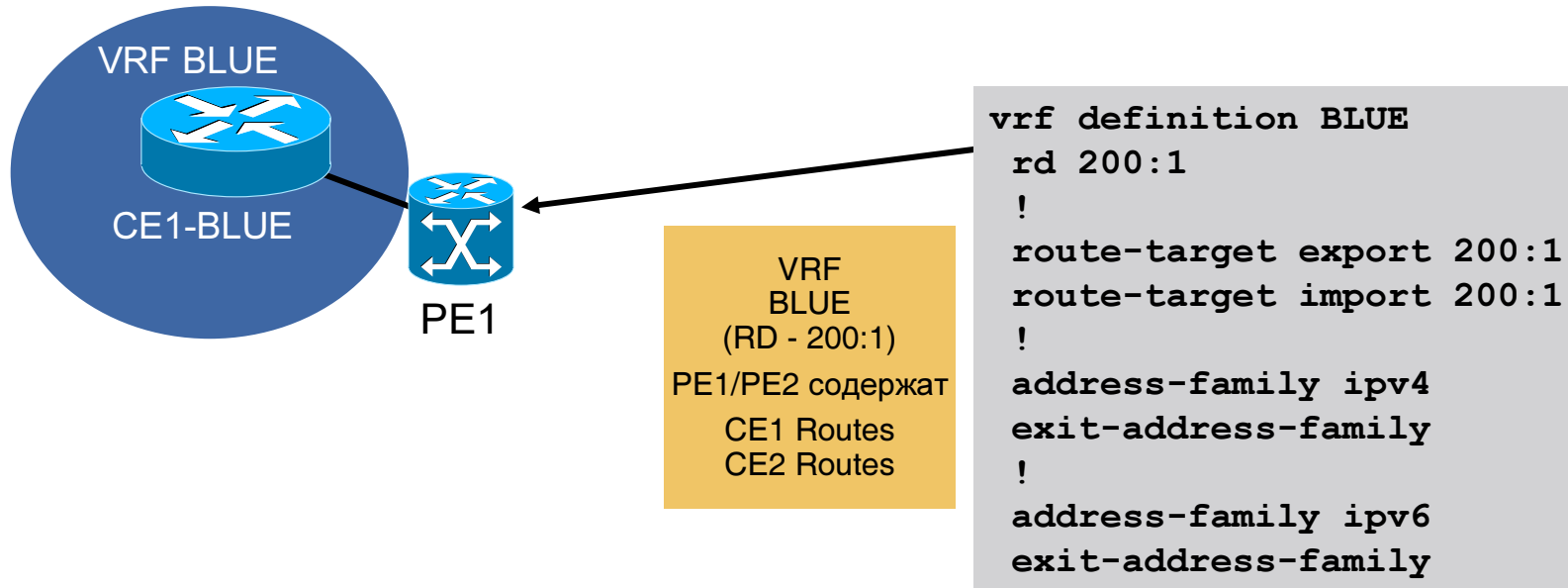


1. Стандартная конфигурация MPLS между PE и P
2. В ядре - IGP (OSPF)

```
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
mpls ldp router-id Loopback0
!
interface Loopback0
 ip address 192.168.2.1 255.255.255.255
!
interface Ethernet0/0
 description to CE1-BLUE
 vrf forwarding BLUE
 ip address 172.16.1.2 255.255.255.0
 ipv6 address 2001:DB8:CAFE:1::2/64
!
interface Ethernet2/0
 description to P1
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.252
 mpls ip
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 redistribute connected subnets
 passive-interface Loopback0
 network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
```

# 6VPE пример конфигурации

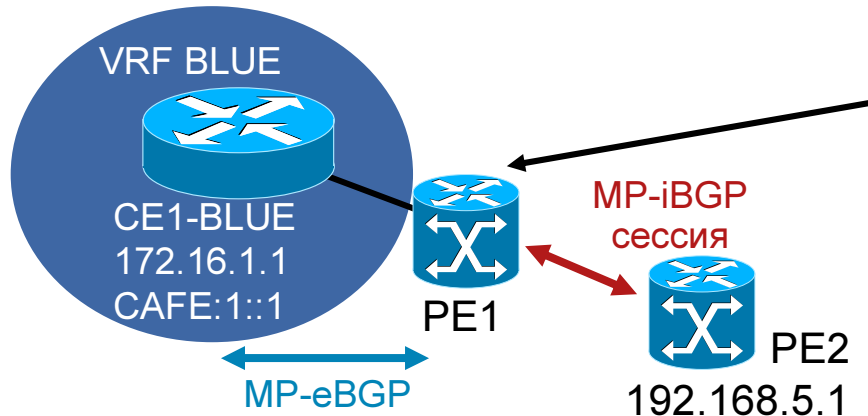
## PE1 – создание VRF



1. Для миграции с VPNv4 до многопротокольного VRF существуют специальные команды  
(config)#vrf upgrade-cli multi-af-mode {common-policies | non-common-policies} [vrf <name>]
2. Команда включает переход со старого режима конфигурации с поддержкой только IPv4 на новый VRF с поддержкой нескольких Address-Family

# 6VPE пример конфигурации

## PE1 – настройка BGP



```
router bgp 100
  bgp log-neighbor-changes
  neighbor 192.168.5.1 remote-as 100
  neighbor 192.168.5.1 update-source Loopback0
  !
  address-family ipv4
  neighbor 192.168.5.1 activate
  no auto-summary
  no synchronization
  exit-address-family
  !
  address-family vpnv4
  neighbor 192.168.5.1 activate
  neighbor 192.168.5.1 send-community extended
  exit-address-family
```

```
address-family vpnv6
  neighbor 192.168.5.1 activate
  neighbor 192.168.5.1 send-community extended
  exit-address-family
  !
  address-family ipv4 vrf BLUE
  redistribute connected
  neighbor 172.16.1.1 remote-as 500
  neighbor 172.16.1.1 activate
  no auto-summary
  no synchronization
  exit-address-family
  !
  address-family ipv6 vrf BLUE
  neighbor 2001:DB8:CAFE:1::1 remote-as 500
  neighbor 2001:DB8:CAFE:1::1 activate
  redistribute connected
  no synchronization
  exit-address-family
```

# 6VPE пример конфигурации

## Конфигурация магистральных маршрутизаторов

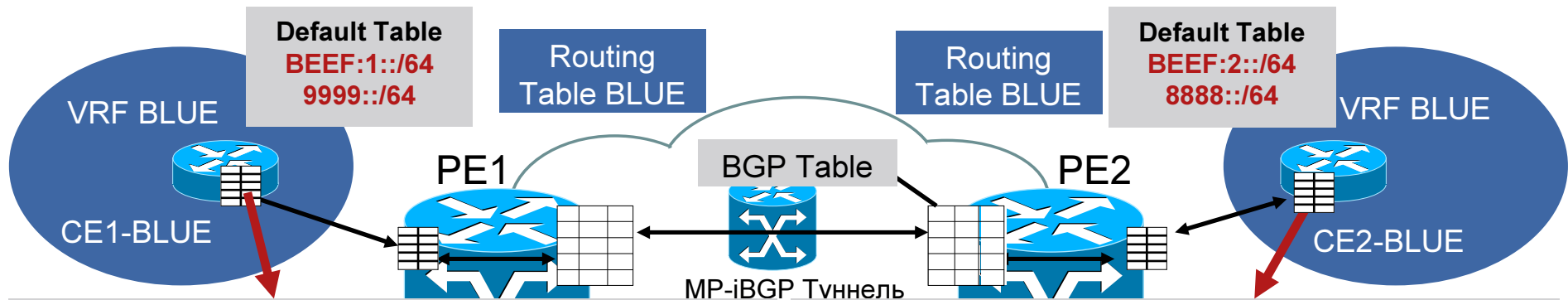


```
mpls ldp router-id Loopback0
!
interface Loopback0
 ip address 192.168.3.1 255.255.255.255
!
interface Ethernet0/0
 description to PE1
 ip address 192.168.1.2 255.255.255.252
 mpls ip
!
interface Ethernet1/0
 description to P2
 ip address 192.168.1.5 255.255.255.252
 mpls ip
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 redistribute connected subnets
 passive-interface Loopback0
 network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
```

```
mpls ldp router-id Loopback0
!
interface Loopback0
 ip address 192.168.4.1 255.255.255.255
!
interface Ethernet0/0
 description to P1
 ip address 192.168.1.6 255.255.255.252
 mpls ip
!
interface Ethernet1/0
 description to PE2
 ip address 192.168.1.9 255.255.255.252
 mpls ip
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 redistribute connected subnets
 passive-interface Loopback0
 network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
```

# Таблицы маршрутизации IPv6

## CE1-CE2

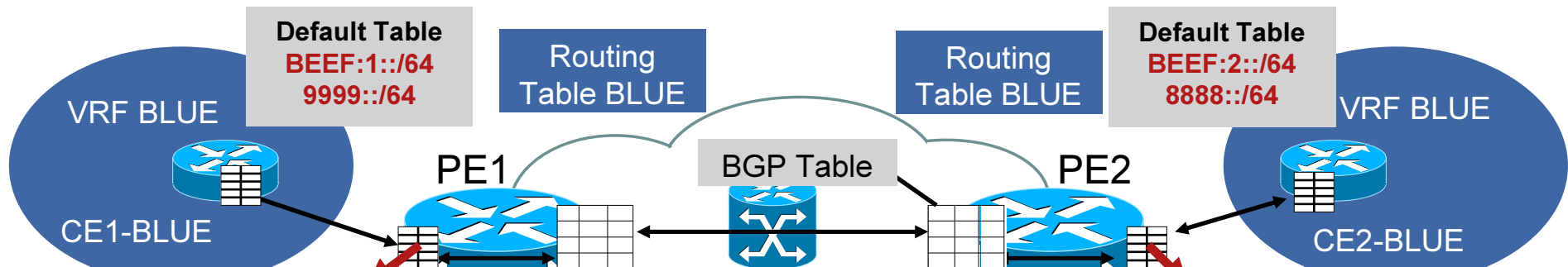


```
cel-blue#show ipv6 route
C 2001:DB8:BEEF:1::/64 [0/0]
  via Ethernet1/0, directly connected
L 2001:DB8:BEEF:1::1/128 [0/0]
  via Ethernet1/0, receive
B 2001:DB8:BEEF:2::/64 [20/0]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:F600, Ethernet0/0
C 2001:DB8:CAFE:1::/64 [0/0]
  via Ethernet0/0, directly connected
L 2001:DB8:CAFE:1::1/128 [0/0]
  via Ethernet0/0, receive
B 2001:DB8:CAFE:3::/64 [20/0]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:F600, Ethernet0/0
B 8888::/64 [20/0]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:F600, Ethernet0/0
R 9999::/64 [120/2]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:9000, Ethernet1/0
L FF00::/8 [0/0]
  via Null0, receive
```

```
ce2-blue#show ipv6 route
B 2001:DB8:BEEF:1::/64 [20/0]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:F901, Ethernet0/0
C 2001:DB8:BEEF:2::/64 [0/0]
  via Ethernet1/0, directly connected
L 2001:DB8:BEEF:2::1/128 [0/0]
  via Ethernet1/0, receive
B 2001:DB8:CAFE:1::/64 [20/0]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:F901, Ethernet0/0
C 2001:DB8:CAFE:3::/64 [0/0]
  via Ethernet0/0, directly connected
L 2001:DB8:CAFE:3::1/128 [0/0]
  via Ethernet0/0, receive
R 8888::/64 [120/2]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE02:5800, Ethernet1/0
B 9999::/64 [20/0]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:F901, Ethernet0/0
L FF00::/8 [0/0]
  via Null0, receive
```

# Таблицы маршрутизации IPv6

## PE1-PE2

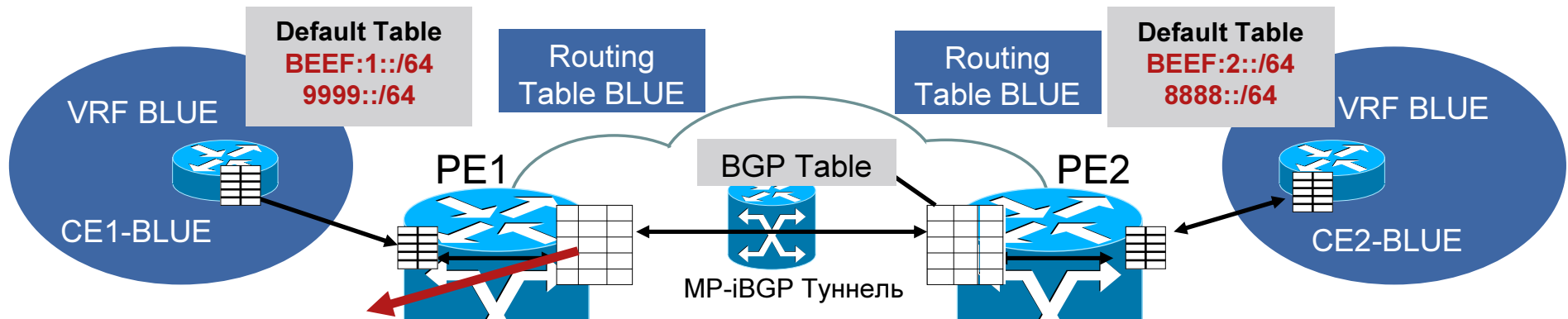


```
pe1#show ipv6 route vrf BLUE
B 2001:DB8:BEEF:1::/64 [20/0]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:F400, Ethernet0/0
B 2001:DB8:BEEF:2::/64 [200/0]
  via 192.168.5.1%Default-IP-Routing-Table,
indirectly connected
C 2001:DB8:CAFE:1::/64 [0/0]
  via Ethernet0/0, directly connected
L 2001:DB8:CAFE:1::2/128 [0/0]
  via Ethernet0/0, receive
B 2001:DB8:CAFE:3::/64 [200/0]
  via 192.168.5.1%Default-IP-Routing-Table,
indirectly connected
B 8888::/64 [200/2]
  via 192.168.5.1%Default-IP-Routing-Table,
indirectly connected
B 9999::/64 [20/2]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:F400, Ethernet0/0
L FF00::/8 [0/0]
  via Null0, receive
```

```
P: pe2#show ipv6 route vrf BLUE
B 2001:DB8:BEEF:1::/64 [200/0]
  via 192.168.2.1%Default-IP-Routing-Table,
indirectly connected
B 2001:DB8:BEEF:2::/64 [20/0]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:FA00, Ethernet1/0
B 2001:DB8:CAFE:1::/64 [200/0]
  via 192.168.2.1%Default-IP-Routing-Table,
indirectly connected
C 2001:DB8:CAFE:3::/64 [0/0]
  via Ethernet1/0, directly connected
L 2001:DB8:CAFE:3::2/128 [0/0]
  via Ethernet1/0, receive
B 8888::/64 [20/2]
  via FE80::A8BB:CCFF:FE01:FA00, Ethernet1/0
B 9999::/64 [200/2]
  via 192.168.2.1%Default-IP-Routing-Table,
indirectly connected
L FF00::/8 [0/0]
  via Null0, receive
```

# Таблицы маршрутизации IPv6

## PE1 BGP Next-Hop



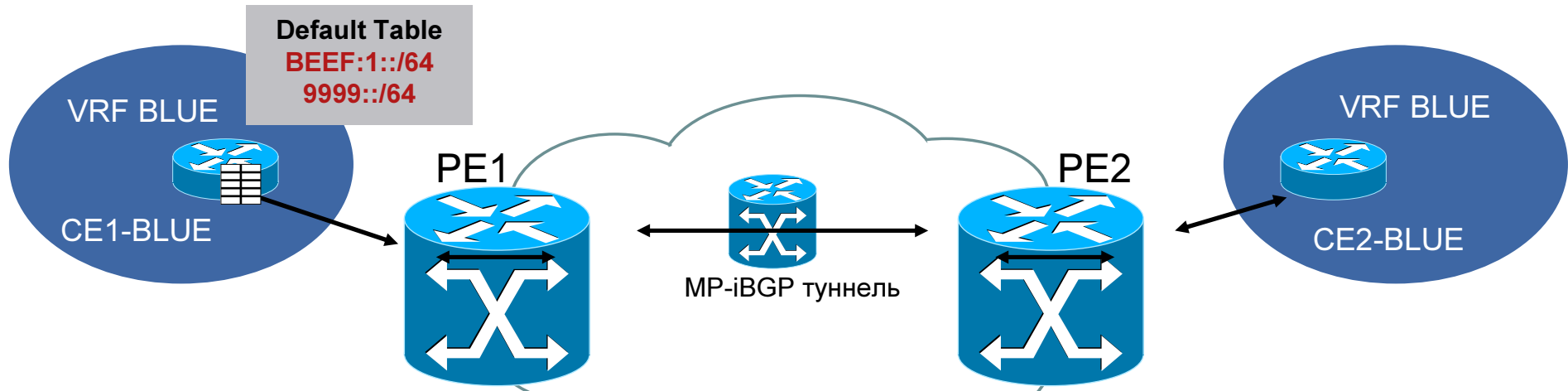
```
pe1#show bgp vpnv6 unicast all
```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
Route Distinguisher: 200:1 (default for vrf BLUE)					
*> 2001:DB8:BEEF:1::/64	2001:DB8:CAFE:1::1	0		0 500	?
*> <b>i2001:DB8:BEEF:2::/64</b>	<b>::FFFF:192.168.5.1</b>	0	100	0 506	?
*> <b>i2001:DB8:CAFE:3::/64</b>	<b>::FFFF:192.168.5.1</b>	0	100	0 ?	
*> <b>i8888::/64</b>	<b>::FFFF:192.168.5.1</b>	2	100	0 506	?
*> 9999::/64	2001:DB8:CAFE:1::1	2		0 500	?

IPv6 адрес,  
полученный из  
IPv4  
(Установка  
LSP на базе  
IPv4)

# MPLS коммутация

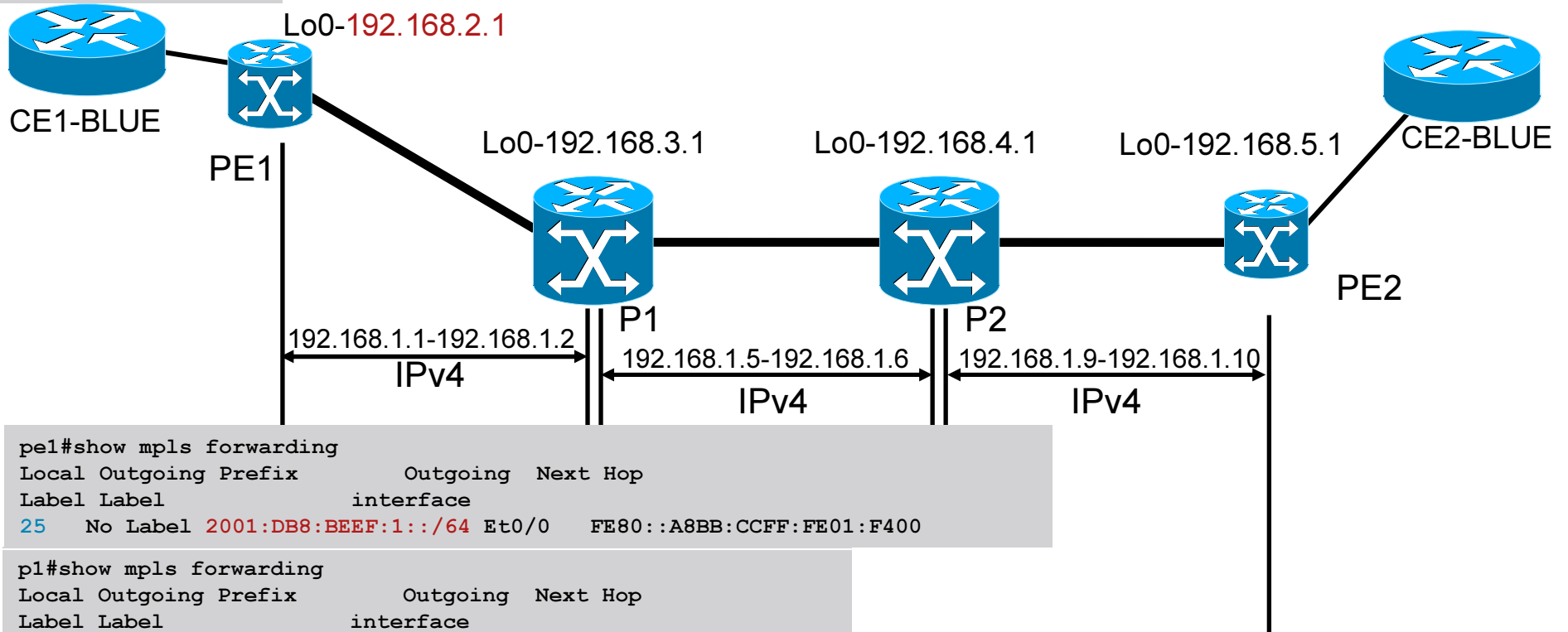
## PE1



```
pe1#show mpls forwarding
Local   Outgoing   Prefix          Bytes Label   Outgoing   Next Hop
Label   Label or VC or Tunnel Id   Switched     interface
16      Pop Label  192.168.1.4/30  0             Et2/0      192.168.1.2
17      16         192.168.1.8/30  0             Et2/0      192.168.1.2
18      Pop Label  192.168.3.1/32  0             Et2/0      192.168.1.2
19      18         192.168.4.1/32  0             Et2/0      192.168.1.2
20      19         192.168.5.1/32  0             Et2/0      192.168.1.2
21      No Label   10.1.1.0/24 [V]  0             Et0/0      172.16.1.1
22      Aggregate 172.16.1.0/24 [V] 570          BLUE
25      No Label   2001:DB8:BEEF:1::/64 [V] \
                                         570          Et0/0      FE80::A8BB:CCFF:FE01:F400
26      Aggregate 2001:DB8:CAFE:1::/64 [V] \
                                         35456       BLUE
27      No Label   9999::/64 [V]   570          Et0/0      FE80::A8BB:CCFF:FE01:F400
```

# MPLS коммутация

2001:DB8:BEEF:1::1



```
pe1#show mpls forwarding
Local Outgoing Prefix      Outgoing  Next Hop
Label Label                interface
25   No Label 2001:DB8:BEEF:1::/64 Et0/0    FE80::A8BB:CCFF:FE01:F400
```

```
p1#show mpls forwarding
Local Outgoing Prefix      Outgoing  Next Hop
Label Label                interface
17   Pop Label 192.168.2.1/32 Et0/0    192.168.1.1
```

```
p2#show mpls forwarding
Local Outgoing Prefix      Outgoing  Next Hop
Label Label                interface
18   17        192.168.2.1/32 Et0/0    192.168.1.5
```

```
pe2#sh ipv6 cef vrf BLUE
2001:DB8:BEEF:1::/64
nexthop 192.168.1.9 Ethernet0/0 label 18 25
```

# 6VPE заключение

1. RFC4659: BGP-MPLS IP Virtual Private Network (VPN) Extension for IPv6 VPN
2. 6VPE просто добавляет поддержку IPv6 к существующему сервису IPv4 MPLS VPN
3. Для клиентов: в v6-VPN сохраняются те же принципы, что и для v4-VPN (QoS, hub and spoke, internet access, etc.)
4. Для операторов:
  - Процедуры по настройке и управлению v4 и v6 VPN одинаковые
  - Не требуется модернизация IPv4/MPLS ядра (P маршрутизаторов)

# Заключение

1. Лучше начать сейчас, чем потом

2. Что следует учесть:

Паритет по функциональности между IPv4 и IPv6 все еще на горизонте

Планы IPv6 у разработчиков ПО, производителей аппаратного обеспечения, используемого в вашей сети?

3. Сценарии внедрения

[ISP IPv6 Deployment Scenarios in Broadband Access Networks \(RFC 4779\)](#)

[Scenarios and Analysis for Introducing IPv6 into ISP Networks \(RFC 4029\)](#)

[Procedures for Renumbering an IPv6 Network without a Flag Day \(RFC 4192\)](#)

# Дополнительные материалы

1. [“Deploying IPv6 Broadband Networks” Adeel Ahmed, Salman Asadullah – ISBN0470193387, John Wiley & Sons Publications®](#)
2. [“Deploying IPv6 Networks” Ciprian Popoviciu, Patrick Grossetete, Eric Levy-Abegnoli, ISBN1587052105 - Cisco Press®](#)
3. [“IPv6 Security” Scott Hogg, Eric Vyncke, ISBN1587055945 – Cisco Press®](#)
4. “Understanding IPv6” by Joseph Davies - Microsoft Press
5. “IPv6 Essentials” by Silvia Hagen - O’Reilly & Associates Press
6. [www.cisco.com/go/ipv6](http://www.cisco.com/go/ipv6) - CCO IPv6 main page
7. [www.cisco.com/go/srnd](http://www.cisco.com/go/srnd) - CISCO NETWORK DESIGN CENTRAL
8. [www.cisco.com/go/fn](http://www.cisco.com/go/fn)
9. [www.ietf.org](http://www.ietf.org)
10. [www.ipv6forum.com](http://www.ipv6forum.com)
11. [www.ipv6.org](http://www.ipv6.org)
12. [www.nav6tf.org/](http://www.nav6tf.org/)
13. [www.6net.org](http://www.6net.org)

