

Маршрутизаторы ELTEX серии ME. Руководство по настройке.

Eltex Network OS for ME5k series ver. 2.2.0

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	1
Аннотация	1
Целевая аудитория	1
Условные обозначения	1
ОСНОВЫ РАБОТЫ С КОМАНДНОЙ СТРОКОЙ	3
Командный интерфейс и доступ к устройству	3
Режимы командного интерфейса и команды навигации	3
Работа с глобальным режимом	4
Работа с режимом конфигурирования	5
Именованье интерфейсов	7
ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ	10
Настройка параметров системы безопасности	10
Механизм AAA	11
Настройка серверов TACACS+ и RADIUS	12
Настройка серверов SSH и telnet	14
Настройка параметров терминальных сессий	15
Установка системного времени	18
Диагностические команды системного времени	20
Резервное копирование конфигурации	22
Управление подсистемой SYSLOG	24
Протокол управления сетью (SNMP)	27
НАСТРОЙКА ЗАЩИТЫ CONTROL-PLANE	31
Основные принципы	31
Настройка правил защиты	31
ИНТЕРФЕЙСЫ И АДРЕСАЦИЯ	36
Параметры, настраиваемые на интерфейсах	36
Режим маршрутизации и режим коммутации	36
Настройка IP-адресации, параметров ARP и описания интерфейса	37
Настройка MTU, режимов физического интерфейса и интервала подсчета статистики ..	39
Настройка базовых ограничителей полосы пропускания интерфейса	40
Назначение QoS-политик и классификаторов трафика на интерфейсе	41
Использование агрегирующих интерфейсов	42
Использование сабинтерфейсов	45
Команды диагностики интерфейсов	49
ПОСТОЯННЫЕ МАРШРУТЫ И СТАТИЧЕСКАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ	53
Типы постоянных маршрутов	53
Присоединенные маршруты	53
Локальные маршруты	53

Просмотр присоединенных и локальных маршрутов	54
Статические маршруты	54
Команды просмотра маршрутной информации	57
НАСТРОЙКА ПРОТОКОЛА OSPF	60
Принципы конфигурирования протокола OSPFv2	60
Базовая настройка протокола OSPFv2	60
Настройка OSPF для экземпляра VRF	63
Работа с протоколом BFD	66
Редистрибуция маршрутной информации	67
Аутентификация OSPF	69
Проверка работы OSPF и диагностические команды	70
НАСТРОЙКА ПРОТОКОЛА IS-IS	75
Принципы конфигурирования протокола IS-IS	75
Базовая настройка протокола IS-IS	75
Настройка IS-IS для экземпляра VRF	79
Работа с протоколом BFD	82
Редистрибуция маршрутной информации	83
Аутентификация IS-IS	85
Проверка работы IS-IS и диагностические команды	87
НАСТРОЙКА ПРОТОКОЛА BGP	93
Принципы конфигурирования протокола BGP	93
Базовая настройка BGP-процесса	95
Фильтрация маршрутов списками префиксов (prefix-lists)	98
Фильтрация маршрутов посредством route-map	102
Internal BGP и External BGP	106
Административная дистанция протокола BGP	107
НАСТРОЙКА MPLS-КОММУТАЦИИ И ПРОТОКОЛА LDP	109
Необходимые шаги	109
Предварительная настройка IGP	109
Настройка протокола LDP	111
LDP-IGP синхронизация	113
Включение в LDP дополнительных интерфейсов (редистрибуция)	114
Проверка работы протокола LDP и диагностические команды	116
НАСТРОЙКА MPLS L3VPN	121
Необходимые шаги	121
Создание экземпляров VRF и технология VRF Lite	121
Настройка MP-BGP	125
Установка BGP-путей в качестве маршрутов экземпляра VRF	130
Процесс BGP для экземпляра VRF и редистрибуция маршрутов	133
НАСТРОЙКА MPLS L2VPN	136
Составные элементы L2VPN	136

Настройка бридж-доменов	137
Настройка кросс-коннектов	143
НАСТРОЙКА MPLS TRAFFIC ENGINEERING	146
Необходимые шаги для настройки MPLS TE	146
Настройка инфраструктуры распространения транспортных меток	147
Включение коммутации MPLS-пакетов на интерфейсах	147
Активация поддержки TE в IGP протоколе	148
Активация протокола RSVP на интерфейсах	151
Настройка MPLS TE туннеля	152
Настройка ограничений для RSVP TE туннеля	154
Способы перенаправления сервисного трафика в TE-туннель	161
МНОГОАДРЕСНАЯ РАССЫЛКА ТРАФИКА (MULTICAST)	181
Адресные листы для multicast-протоколов	181
Протокол IGMP	183
Протокол PIM	188
Протокол MSDP	194
НАСТРОЙКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ QoS	199
Перемаркировка L3 трафика	199
Перемаркировка MPLS-трафика	202
Ограничение полосы по приоритетам трафика	203

ВВЕДЕНИЕ

Аннотация

Настоящее руководство содержит описание методов настройки функций маршрутизаторов ELTEX серии ME. В разделах руководства приведены примеры настройки функциональных блоков, полное описание всех имеющихся команд с пояснением их параметров содержится в "Справочнике команд".

Интерфейс командной строки (Command Line Interface, CLI) — интерфейс, предназначенный для управления, просмотра состояния и мониторинга устройства. Для работы потребуется любая установленная на ПК программа, поддерживающая работу по протоколу Telnet, SSH или прямое подключение через консольный порт (например, Putty/SecureCRT).

Целевая аудитория

Руководство по настройке предназначено для технического персонала, выполняющего настройку и мониторинг маршрутизаторов серии ME посредством интерфейса командной строки (CLI). Квалификация технического персонала предполагает знание основ работы стека протоколов TCP/IP и принципов построения IP/MPLS-сетей.

Условные обозначения

Таблица 1. Обозначения в примерах и описаниях команд

Обозначения	Описание
<code>command example</code>	Моноширинным шрифтом приведены примеры ввода команд и результатов их выполнения.
[]	В квадратных скобках для команд указываются необязательные параметры.
{ }	В фигурных скобках для команд указываются возможные обязательные параметры, приведенные списком. Необходимо выбрать один из параметров.
	Данный знак в описании команды обозначает "или".
< >	В угловых скобках для команд указывается имя параметра, тип и значение которого объясняются в описании.

NOTE

Примечания содержат полезную информацию, которую необходимо учитывать при настройке устройства.

IMPORTANT

Примечания содержат важную информацию, советы или рекомендации по использованию и настройке устройства.

CAUTION

Предупреждения информируют пользователя о ситуациях, которые могут нанести вред устройству, привести к некорректной работе системы, потере данных или нарушению прохождения и обработки трафика.

ОСНОВЫ РАБОТЫ С КОМАНДНОЙ СТРОКОЙ

Командный интерфейс и доступ к устройству

Основным инструментом настройки и управления устройством является интерфейс командной строки (CLI).

Учётной записью по умолчанию является **admin** с паролем **password**. Данной учётной записью можно воспользоваться для авторизации на устройстве и получения доступа к командному интерфейсу в процессе первоначальной настройки.

IMPORTANT

Операционная система устройства имеет систему разделения привилегий пользователей. Пользователю **admin** по умолчанию назначены максимальные привилегии - уровень *p15*.

Командный интерфейс устройства поддерживает функцию автоматического дополнения команд. Эта функция активируется при нажатии клавиши табуляции <TAB>. Также интерфейс командной строки имеет функцию контекстной подсказки. На любом этапе ввода команды можно получить подсказку о следующих возможных элементах команды путём ввода вопросительного знака <?>.

Режимы командного интерфейса и команды навигации

Интерфейс командной строки имеет два основных режима — глобальный режим и режим конфигурирования. Для удобства оператора при переходе между режимами меняется приглашение командной строки.

Вид приглашения командной строки в глобальном режиме

```
0/ME5100:EOS#
```

Вид приглашения командной строки в режиме конфигурирования

```
0/ME5100:EOS(config)#
```

Таблица 2. Основные команды навигации и переходов в интерфейсе командной строки

Команда	Режим	Действие команды
configure	<i>global-view</i>	Переход из глобального режима CLI в режим конфигурирования
exit	<i>config</i>	Переход на вышестоящий уровень конфигурирования

Команда	Режим	Действие команды
<code>logout</code>	<code>config, global-view</code>	Быстрый выход из сессии интерфейса командной строки
<code>do <command_sequence></code>	<code>config</code>	Выполнение команды глобального режима CLI (<code>command_sequence</code>) без выхода из режима конфигурирования
<code>root</code>	<code>config</code>	Выход на верхний уровень режима конфигурирования
<code>end</code>	<code>config</code>	Выход из любого уровня режима конфигурирования в глобальный режим
<code>quit</code>	<code>global-view</code>	Выход из сессии интерфейса командной строки

Работа с глобальным режимом

В глобальном режиме интерфейса командной строки доступны команды просмотра оперативного состояния системы (`show`-команды), команды управления компонентами системы (например, `reload`, `hw-module`), запуска различных диагностических тестов и работы с образами операционной системы.

Для уменьшения объема отображаемых данных в ответ на запросы пользователя и облегчения поиска необходимой информации можно воспользоваться фильтрацией. Для фильтрации вывода команд нужно добавить в конец командной строки символ "|" и использовать одну из опций фильтрации:

- `begin` — выводить всё после строки, содержащей заданный шаблон;
- `include` — выводить все строки, содержащие заданный шаблон;
- `exclude` — выводить все строки, не содержащие заданный шаблон;
- `count` — произвести подсчёт количества строк в выводе команды.

При необходимости включить в шаблон поиска символ пробела необходимо заключить весь шаблон в двойные кавычки.

Фильтры можно стекировать, указывая несколько фильтров через символы "|".

```
0/ME5100:EOS# show running-config | begin "telnet server"
Thu Mar 23 12:03:57 2017

telnet server vrf mgmt-intf
exit

user admin
  password encrypted
  $6$zM6qW5sQnYcfDrxH$6TGyBVbqUB8s2InhRT4QA5VADoCc4zGhILDKjTxgVt7H0TBzxmbwNkpkH5kHNAU9qC
  zdQ/ZeonlI8E0rkII620
  privilege p15
exit

0/ME5100:EOS#
```

Работа с режимом конфигурирования

В режиме конфигурирования командный интерфейс системы позволяет производить настройку устройства. Переход в режим конфигурирования производится командой **configure**. В режиме конфигурирования интерфейс принимает и распознает команды настройки соответствующих разделов. Все введенные команды, в свою очередь, формируют общую конфигурацию устройства.

Командный интерфейс системы работает с двумя экземплярами конфигурации устройства:

- Текущая конфигурация (*running-config*). Текущая конфигурация — это конфигурация, которая в данный момент применена и используется на маршрутизаторе.
- Кандидат-конфигурация (*candidate-config*). Кандидат-конфигурация — это конфигурация, которая включает в себя изменения, внесенные оператором в процессе сеанса конфигурирования. Кандидат-конфигурация может быть применена в качестве текущей.

IMPORTANT

Все введенные в режиме конфигурирования команды **не применяются** по мере ввода, а заносятся в кандидат-конфигурацию (*candidate-config*).

В обычном состоянии системы кандидат-конфигурация идентична текущей. После внесения изменений в кандидат-конфигурацию её можно либо применить (скопировать в текущую), либо отменить.

Таблица 3. Основные команды работы с экземплярами конфигурации

Команда	Режим	Действие команды
configure	<i>global-view</i>	Перейти из глобального режима CLI в режим конфигурирования.

Команда	Режим	Действие команды
<code>show running-config</code>	<i>global-view</i>	Вывести текущую конфигурацию устройства.
<code>show candidate-config</code>	<i>global-view</i>	Вывести кандидат-конфигурацию устройства.
<code>show configuration changes</code>	<i>global-view</i>	Вывести список изменений в кандидат-конфигурации относительно текущей конфигурации устройства.
<code>commit</code>	<i>config</i>	Применить кандидат-конфигурацию (применить изменения, внесенные во время сеанса редактирования).
<code>abort</code>	<i>config</i>	Отменить изменения в кандидат-конфигурации и выйти из режима конфигурирования. При выполнении этой команды кандидат-конфигурация становится идентичной текущей (стартовой) конфигурации.

IMPORTANT

При выполнении команды `commit` текущая конфигурация автоматически сохраняется на устройстве в качестве загрузочной. Отдельной команды сохранения конфигурации на устройстве нет.

CAUTION

Текущая версия командного интерпретатора не поддерживает несколько кандидат-конфигураций и независимое конфигурирование устройства из разных сессий. Кандидат-конфигурация в любой момент времени является единой для всего устройства. Таким образом, команды `commit` и `abort`, введенные оператором, могут повлиять на изменения, внесенные в других сессиях конфигурирования.

Пример: настройка системного имени (hostname)

```
EOS login: admin
Password:

*****
*           Welcome to ME5100           *
*****

0/ME5100:EOS# config
0/ME5100:EOS(config)# hostname Router
0/ME5100:EOS(config)# do show configuration changes
Tue Jan 18 21:37:19 2000

hostname Router
0/ME5100:EOS(config)# commit
Tue Jan 18 21:37:23 2000

Commit successfully completed in 0.031951 sec
0/ME5100:Router(config)# end
0/ME5100:Router#
```

Именованние интерфейсов

При работе маршрутизатора используются сетевые интерфейсы различного типа и назначения. Система именования позволяет однозначно адресовать интерфейсы по их функциональному назначению и местоположению в системе. Далее в таблице приведен перечень типов интерфейсов.

Таблица 4. Поддерживаемые типы интерфейсов

Тип интерфейса	Обозначение и функционал
Физические интерфейсы	Обозначение физического интерфейса включает в себя его тип и идентификатор. Идентификатор имеет вид <UNIT>/<SLOT>/<PORT>, где: • <UNIT> - номер устройства в кластере устройств; • <SLOT> - номер модуля в составе устройства; • <PORT> - порядковый номер интерфейса данного типа в модуле. <i>Физические интерфейсы всегда присутствуют в системе.</i>
Интерфейсы Ethernet 10Гбит/с	tengigabitethernet <UNIT>/<SLOT>/<PORT> Пример обозначения: 'tengigabitethernet 0/0/10'. Допускается использовать сокращенную форму с обязательным пробелом, например, 'te 0/0/10'.

Тип интерфейса	Обозначение и функционал
Интерфейсы Ethernet 40Гбит/с	fourtygigabitethernet <UNIT>/<SLOT>/<PORT> Пример обозначения: 'fourtygigabitethernet 0/0/2'. Допускается использовать сокращенную форму с обязательным пробелом, например, 'fo 0/0/2'.
Интерфейсы Ethernet 100Гбит/с	hundredgigabitethernet <UNIT>/<SLOT>/<PORT> Пример обозначения: 'hundredgigabitethernet 0/0/3'. Допускается использовать сокращенную форму с обязательным пробелом, например, 'hu 0/0/3'.
Группы агрегации каналов	bundle-ether <BUNDLE_ID> Обозначение группы агрегации каналов включает в себя тип интерфейса ("bundle-ether") и порядковый номер группы. Пример обозначения: 'bundle-ether 8'. Допускается использовать сокращенную форму с обязательным пробелом, например, 'bu 8'. <i>Группы агрегации каналов в системе можно создавать и удалять.</i>
Сабинтерфейсы	bundle-ether <BUNDLE_ID>.<SUBIF_ID> tengigabitethernet <UNIT>/<SLOT>/<PORT>.<SUBIF_ID> fourtygigabitethernet <UNIT>/<SLOT>/<PORT>.<SUBIF_ID> hundredgigabitethernet <UNIT>/<SLOT>/<PORT>.<SUBIF_ID> Обозначение сабинтерфейса образуется из обозначения базового интерфейса и идентификатора сабинтерфейса, разделенных точкой. Для сабинтерфейсов обязательно задание типа инкапсуляции ('encapsulation'). Пример обозначения: 'tengigabitethernet 0/0/10.350' <i>Сабинтерфейсы в системе можно создавать и удалять.</i>
Интерфейсы локальной петли	loopback <ID> Виртуальный интерфейс локальной петли. Данный тип применяется в случаях, когда требуется постоянно активный логический интерфейс. Пример обозначения: 'loopback 100' <i>Интерфейсы локальной петли в системе можно создавать и удалять.</i>

Тип интерфейса	Обозначение и функционал		
Интерфейсы управления	mgmt <UNIT>/<SLOT>/<PORT> Интерфейсы out-of-band управления - это выделенные ethernet-интерфейсы для доступа и управления маршрутизатором. В качестве <SLOT> могут выступать 'fmc0' и 'fmc1', в зависимости от аппаратной конфигурации. Примеры обозначений: • 'mgmt 0/fmc0/1' - для ME5100; • 'mgmt 0/fmc0/0' и 'mgmt 0/fmc0/1' для FMC0 в маршрутизаторе ME5000; • 'mgmt 0/fmc1/0' и 'mgmt 0/fmc1/1' для FMC1 в маршрутизаторе ME5000 <i>Интерфейсы управления всегда присутствуют в системе.</i> <table> <tr> <td>IMPORTANT</td><td>Интерфейсы управления не предназначены для передачи транзитного трафика (не участвуют в работе data-plane) и жестко прикреплены к VRF 'mgmt-intf'.</td></tr> </table>	IMPORTANT	Интерфейсы управления не предназначены для передачи транзитного трафика (не участвуют в работе data-plane) и жестко прикреплены к VRF 'mgmt-intf'.
IMPORTANT	Интерфейсы управления не предназначены для передачи транзитного трафика (не участвуют в работе data-plane) и жестко прикреплены к VRF 'mgmt-intf'.		

NOTE

1. Количество физических интерфейсов в системе зависит от модели маршрутизатора и установленных линейных модулей.
2. Текущая версия ПО не поддерживает кластеризацию. Номер устройства в кластере <UNIT> может принимать только значение 0.

ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Настройка параметров системы безопасности

Как указывалось выше, учётной записью по умолчанию является admin с паролем password. Для локального доступа к устройству рекомендуется создать учетные записи пользователей, возможно, ограничив для них уровень привилегий.

Таблица 5. Настройка локальной учетной записи

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>user user_name</code>	Переход в режим конфигурации учетной записи пользователя.
<code>password [encrypted] password</code>	Задание пароля пользователя в открытом или шифрованном виде.
<code>privilege p1-p15</code>	Задание уровня привилегий пользователя.
<code>exit</code>	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка учетной записи пользователя.

```
user test
  password test123
  privilege p10
exit
```

Также можно задать локальный пароль для каждого уровня привилегий.

Пример.

```
enable p15
  password highest
exit
```

Таблица 6. Команда перехода на соответствующий уровень привилегий в текущей сессии

Команда	Назначение
<code>change-privilege { p1 p2 .. p15 } [PASSWORD]</code>	Переход на соответствующий уровень привилегий.

Пример.

```
0/ME5100:Router> change-privilege p15 highest
0/ME5100:Router#
```

NOTE | Переход на меньший уровень привилегий производится без пароля.

Механизм AAA

Для обеспечения безопасности системы используется механизм AAA (аутентификация, авторизация, учет):

- authentication (аутентификация) — сопоставление запроса существующей учётной записи в системе безопасности;
- authorization (авторизация, проверка уровня доступа) — сопоставление учётной записи в системе (прошедшей аутентификацию) и определённых полномочий;
- accounting (учёт) — учёт действий пользователя.

Таблица 7. Настройка аутентификации

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>aaa authentication { login enable } list_name</code>	Создание списка аутентификации. • <code>login</code> — для входа в систему; • <code>enable</code> — для смены уровня привилегий.
<code>method { local tacacs radius }</code>	Задание метода аутентификации внутри соответствующего списка аутентификации. • <code>local</code> — метод устанавливает локальную аутентификацию, то есть аутентификацию согласно настройкам 'enable' и 'user' в текущей конфигурации; • <code>tacacs</code> — метод устанавливает аутентификацию через сконфигурированные TACACS+-серверы; • <code>radius</code> — метод устанавливает аутентификацию через сконфигурированные RADIUS-серверы.
<code>exit</code>	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Таблица 8. Настройка авторизации и учета

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>aaa authorization commands tacacs</code>	Включение авторизации команд пользователя через TACACS+-сервер.
<code>aaa accounting commands { start-only start-stop stop-only } tacacs</code>	Включение логирования команд пользователя на TACACS+-сервере.
<code>aaa accounting login start-stop { tacacs radius } tacacs</code>	Включение логирования входа пользователя в систему и выхода из нее на TACACS+ или RADIUS-сервере.
<code>exit</code>	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка аутентификации для сервиса telnet.

```
aaa authentication login TAC245
  method tacacs
  method local
exit

line telnet login authentication TAC245
```

Настройка серверов TACACS+ и RADIUS

Таблица 9. Настройка сервера TACACS+

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>tacacs-server host { IP_serveraddr IPv6_serveraddr} [vrf vrf_name]</code>	Задание в конфигурации сервера TACACS+ с указанным IPv4 (IPv6)-адресом в глобальной таблице маршрутизации (GRT) или внутри указанного VRF.
<code>password [encrypted] password</code>	Задание пароля сервера TACACS+ в открытом или зашифрованном виде.
<code>priority priority</code>	Задание приоритета TACACS-сервера .
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
<code>tacacs-server timeout secs</code>	(Опционально) Задание времени ожидания ответа от серверов TACACS+, в секундах.
<code>tacacs-server dscp dscp_val</code>	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты, отправляемые на серверы TACACS+.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка сервера TACACS+.

```
tacacs-server timeout 10
tacacs-server dscp 7
tacacs-server host 192.168.16.245 vrf mgmt-intf
    password encrypted 8FB1007FB51B43FED3
exit
```

Таблица 10. Настройка сервера RADIUS

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>radius-server host { IP_serveraddr IPv6_serveraddr} [vrf vrf_name]</code>	Задание в конфигурации сервера RADIUS с указанным IPv4 (IPv6)-адресом в глобальной таблице маршрутизации (GRT) или внутри указанного VRF.
<code>password [encrypted] password</code>	Задание пароля сервера RADIUS в открытом или зашифрованном виде.
<code>priority priority</code>	Задание приоритета RADIUS-сервера.
<code>source-address { IP_intf-addr IPv6_intf-addr }</code>	Задание IP (IPv6) адреса, который будет использоваться в качестве IP-адреса отправителя при отправке пакетов на RADIUS-сервер. Следует указывать адрес, принадлежащий интерфейсу маршрутизатора в соответствующем VRF.
<code>acct-port port</code>	(Опционально) Задание номера UDP-порта для передачи данных учета.
<code>auth-port port</code>	(Опционально) Задание номера порта для передачи аутентификационных данных.
<code>timeout secs</code>	(Опционально) Задание времени ожидания ответа от сервера RADIUS, в секундах.

Команда	Назначение
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>timeout secs</code>	(Опционально) Задание времени ожидания ответа от серверов TACACS+, в секундах.
<code>radius-server dscp dscp_val</code>	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты, отправляемые на серверы RADIUS.
<code>radius-server timeout secs</code>	(Опционально) Задание времени ожидания ответа от серверов RADIUS, в секундах.
<code>radius-server retransmit val</code>	(Опционально) Задание количества попыток обращения к RADIUS-серверу.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка сервера RADIUS.

```
radius-server host 10.1.1.10 vrf test
  password radius-pass
  source-address 5.5.0.0
  timeout 10
  usage aaa
exit
```

Настройка серверов SSH и telnet

Удаленный доступ к управлению устройством осуществляется по протоколу SSH или telnet, локальный - через консольный порт. Для удаленного доступа необходимо указать в конфигурации соответствующие серверы.

Таблица 11. Настройка telnet-сервера.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>telnet server [vrf vrf_name]</code>	Создание в конфигурации Telnet-сервера и переход в режим настройки его параметров (config-telnet-server-vrf). При запуске Telnet-сервера в каком-либо VRF (либо в глобальной таблице маршрутизации) устройство начинает принимать соединения по протоколу Telnet на тех своих интерфейсах, которые включены в указанный VRF.

Команда	Назначение
<code>dscp dscp_val</code>	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты.
<code>session-limit val</code>	(Опционально) Задание максимального количества одновременно подключенных пользователей
<code>port val</code>	(Опционально) Задание номера порта, по которому будет принимать входящие соединения соответствующий локальный сервер.
<code>exit</code>	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Таблица 12. Настройка SSH-сервера.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>ssh server [vrf vrf_name]</code>	Создание в конфигурации SSH-сервера и переход в режим настройки его параметров (config-ssh-server-vrf). При запуске SSH-сервера в каком-либо VRF (либо в глобальной таблице маршрутизации) устройство начинает принимать соединения по протоколу SSH на тех своих интерфейсах, которые включены в указанный VRF.
<code>dscp dscp_val</code>	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты.
<code>session-limit val</code>	(Опционально) Задание максимального количества одновременно подключенных пользователей
<code>port val</code>	(Опционально) Задание номера порта, по которому будет принимать входящие соединения соответствующий локальный сервер.
<code>exit</code>	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Настройка параметров терминальных сессий

Таблица 13. Настройка Telnet-сессий.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>line telnet enable authentication list_name</code>	Включение enable-аутентификации (аутентификации при переходе на разные уровни привилегий) подключенных по протоколу Telnet пользователей через ранее сконфигурированный список методов AAA (<i>aaa authentication enable</i>). После выполнения данной команды enable-аутентификация подключенных по протоколу Telnet пользователей будет проводиться по методам, указанным в этом списке.
<code>line telnet login authentication list_name</code>	Включение аутентификации входа пользователей при подключении по протоколу Telnet через ранее сконфигурированный список методов AAA (<i>aaa authentication login</i>). После выполнения данной команды аутентификация входа подключенных по протоколу Telnet пользователей будет проводиться по методам, указанным в этом списке.
<code>line telnet session-timeout val</code>	(Опционально) Задание периода неактивности (в минутах) для подключенных по протоколу telnet пользователей, по истечении которого сессии таких пользователей будет принудительно завершены.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Таблица 14. Настройка SSH-сессии.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>line ssh enable authentication list_name</code>	Включение enable-аутентификации (аутентификации при переходе на разные уровни привилегий) подключенных по протоколу SSH пользователей через ранее сконфигурированный список методов AAA (<i>aaa authentication enable</i>). После выполнения данной команды enable-аутентификация подключенных по протоколу SSH пользователей будет проводиться по методам, указанным в этом списке.

Команда	Назначение
<code>line ssh login authentication list_name</code>	Включение аутентификации входа пользователей при подключении по протоколу SSH через ранее сконфигурированный список методов AAA (<i>aaa authentication login</i>). После выполнения данной команды аутентификация входа подключенных по протоколу Telnet пользователей будет проводиться по методам, указанным в этом списке.
<code>line ssh session-timeout val</code>	(Опционально) Задание периода неактивности (в минутах) для подключенных по протоколу SSH пользователей, по истечении которого сессии таких пользователей будет принудительно завершены.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Таблица 15. Настройка локальной консольной сессии.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>line console enable authentication list_name</code>	Включение аутентификации входа пользователей на консольном порту устройства через ранее сконфигурированный список методов AAA (<i>aaa authentication login</i>). После выполнения данной команды аутентификация входа через консоль будет проводиться по методам, указанным в этом списке.
<code>line console login authentication list_name</code>	Включение аутентификации входа пользователей на консольном порту устройства через ранее сконфигурированный список методов AAA (<i>aaa authentication login</i>). После выполнения данной команды аутентификация входа через консоль будет проводиться по методам, указанным в этом списке.
<code>line console session-timeout val</code>	(Опционально) Задание периода неактивности подключенного на консольном порту пользователя, по истечении которого сессия пользователя будет принудительно завершена.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка Telnet-сессии.

```
line telnet login authentication TAC245
line telnet enable authentication PRI0
line telnet session-timeout 40
```

Установка системного времени

Системное время можно установить двумя способами:

- вручную;
- с помощью протокола NTP.

При настройке вручную в устройстве устанавливается время и дата, но отсутствует возможность проверить точность времени. Протокол NTP определяется спецификацией RFC1305 и предоставляет устройствам в сети механизм получения точного времени от NTP-сервера. При использовании протокола NTP все устройства синхронизируются и поддерживают точное время.

Таблица 16. Установка системного времени вручную.

Команда	Назначение
<code>clock set HH:MM:SS DAY MONTH YEAR</code>	Установка времени и даты в программных часах системы, в формате: часы:минуты:секунды день месяц год
<code>clock read-calendar</code>	Синхронизация программных часов системы и аппаратных часов.
<code>clock update-calendar</code>	Установка в аппаратные часы устройства времени и даты программных часов.

Пример. Установка системного времени вручную.

```
0/ME5100:Router# clock set 12:21:15 21 march 2019
```

Таблица 17. Установка системного времени посредством протокола NTP.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>clock timezone gmt +/-12</code>	Установка часовой зоны
<code>ntp [vrf vrf_name]</code>	Создание в конфигурации NTP-сервера и переход в режим настройки его параметров (config-ntp-vrf). При запуске NTP-сервера в каком-либо VRF (либо в глобальной таблице маршрутизации) устройство начинает работать с NTP-серверами на тех своих интерфейсах, которые включены в указанный VRF.

Команда	Назначение
<code>broadcast-client</code>	Разрешение получения широковещательных пакетов. Стандартно равноправные NTP-серверы отправляют и принимают одноадресные пакеты. В случае, если несколько NTP-серверов расположены в общей сети, вместо одноадресных пакетов могут использоваться многоадресные.
<code>peer { IP_intf-addr IPv6_intf-addr }</code>	Задание IP (IPv6) адреса удаленного NTP-сервера. NTP-сервер на маршрутизаторе работает в режиме двусторонней активности с удаленным NTP-сервером, указанным в команде. В случае потери связи одного из партнеров с вышестоящим NTP-сервером, он сможет синхронизировать время по серверу-партнеру.
<code>authenticate</code>	(Опционально) Ограничение доступа к NTP-службе с помощью аутентификации.
<code>authentication-key key-number</code>	Переход в режим конфигурирования ключа аутентификации (config-authentication-key).
<code>md5 [encrypted] password</code>	Задание пароля в открытом или зашифрованном виде.
<code>trusted-key key-number</code>	Указание ключа, по которому следует проводить аутентификацию.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации NTP-сервера.
<code>server { IP_intf-addr IPv6_intf-addr }</code>	Задание IP (IPv6) адреса NTP-сервера и переход в командный режим config-ntp-vrf-server-ipv4. Маршрутизатор работает с указанным NTP-сервером в режиме односторонней активности. В данном режиме локальные часы маршрутизатора могут синхронизироваться с удаленным NTP сервером.
<code>maxpoll value</code>	Задание максимального значения интервала времени между отправкой сообщений NTP-серверу. Параметр команды используется как показатель степени двойки при вычислении длительности интервала в секундах. Сам интервал вычисляется путем возведения двойки в степень, заданную параметром команды. Принимает значения 4..17.

Команда	Назначение
<code>minpoll value</code>	Задание минимального значения интервала опроса. Параметр команды используется как показатель степени двойки при вычислении длительности интервала в секундах. Сам интервал вычисляется путем возведения двойки в степень, заданную параметром команды. Принимает значения 4..17.
<code>version { NTPv1 NTPv2 NTPv3 NTPv4 }</code>	Указание версии NTP-сервера.
<code>prefer</code>	Выбор текущего NTP-сервера как предпочтительного. При прочих равных условиях данный NTP-сервер будет выбран для синхронизации среди всех рабочих NTP-серверов.
<code>key key-number</code>	Указание ранее созданного ключа, используемого для аутентификации на NTP-сервере.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Установка часовой зоны и настройка NTP-серверов.

```
clock timezone gmt 7

ntp
  server ipv4 10.115.0.5
    key 4
  exit
  authentication-key 4
    md5 encrypted 99B1063CE15E
  exit
  authenticate
  trusted-key 4
exit
ntp vrf mng
  server ipv4 192.168.16.113
  exit
  server ipv4 192.168.16.119
    prefer
    minpoll 4
  exit
exit
```

Диагностические команды системного времени

show clock detail

Команда выводит информацию о дате, времени и часовой зоне.

Пример: show clock detail

```
0/ME5100:Router# show clock detail
Fri Mar 22 11:40:20 2019
Timezone: GMT7
```

show ntp vrf all status

Команда выводит информацию о статусе NTP-серверов, запущенных как в каком-либо VRF, так и в глобальной таблице маршрутизации.

Пример: show ntp vrf all status

```
0/ME5100:Router# show ntp vrf all status
Fri Mar 22 14:29:03 2019

NTP on vrf default
  associd=0 status=c016 leap_alarm, sync_unspec, 1 event, restart,
  version="ntpd 4.2.8p1@1.3265 Thu Mar 14 02:10:04 UTC 2019 (1)",
  processor="mips64", system="Linux/3.10.59", leap=11, stratum=16,
  precision=-19, rootdelay=0.000, rootdisp=193.230, refid=INIT,
  reftime=000000000.00000000 Thu, Feb 7 2036 13:28:16.000,
  clock=e03f0d3f.a52a978d Fri, Mar 22 2019 14:29:03.645, peer=0, tc=3,
  mintc=3, offset=0.000000, frequency=0.000, sys_jitter=0.000000,
  clk_jitter=0.002, clk_wander=0.000

NTP on vrf mng
  associd=0 status=0618 leap_none, sync_ntp, 1 event, no_sys_peer,
  version="ntpd 4.2.8p1@1.3265 Thu Mar 14 02:10:04 UTC 2019 (1)",
  processor="mips64", system="Linux/3.10.59", leap=00, stratum=3,
  precision=-19, rootdelay=39.802, rootdisp=91.960, refid=192.168.16.119,
  reftime=e03f0b48.a9c8f0f6 Fri, Mar 22 2019 14:20:40.663,
  clock=e03f0d3f.b95791fe Fri, Mar 22 2019 14:29:03.723, peer=2919, tc=9,
  mintc=3, offset=22.391883, frequency=19.641, sys_jitter=14.524438,
  clk_jitter=11.868, clk_wander=4.690
```

show ntp vrf all associations

Команда выводит информацию о синхронизации с вышестоящими серверами

Пример: *show ntp vrf all associations*

```
0/ME5100:Router# show ntp vrf all associations
Fri Mar 22 14:33:22 2019
```

NTP on vrf default

remote offset	jitter	auth	refid	st	t	when	poll	reach	delay
10.115.0.5			.INIT.	16	u	-	1024	0	0.000
0.000	0.000	bad							

NTP on vrf mng

remote offset	jitter	auth	refid	st	t	when	poll	reach	delay
*192.168.16.119			195.91.239.8	2	u	246	512	377	0.145
22.392	12.099	disabled							
+192.168.16.113			172.16.0.1	4	u	155	512	377	0.163
16.495	15.039	disabled							

Резервное копирование конфигурации

Резервное копирование конфигурации сетевых устройств – одна из обязательных мер по сокращению времени простоя сети. Резервные копии конфигурации помогут быстро восстановить сеть как в случае физического выхода устройств из строя, так и при сбоях, вызванных ошибками администраторов сети.

Таблица 18. Настройка резервирования конфигурации.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>backup to URL</code>	Создание элемента резервирования конфигурации и переход в режим настройки этого элемента (<code>config-backup-to</code>). Идентификатором элемента является URL, указанный в данной команде. После создания элемента резервирования полная конфигурация устройства будет выгружаться по указанному URL периодически либо после применения конфигурации — в зависимости от настройки элемента. Допустимо создание нескольких элементов.
<code>daily HH:MM:SS</code>	Установка времени (в 24-часовом формате) ежедневной выгрузки файла конфигурации.

Команда	Назначение
<code>interval value</code>	Задание значения интервала (в минутах, принимает значения от 1 до 43200), через который будет производиться периодическая выгрузка файла конфигурации.
<code>memory-limit value</code>	Задание ограничения на общий объем, занимаемый бэкапами (в мегабайтах, принимает значения от 0 до 300) для устройства.
<code>post-commit</code>	Включение выгрузки файла конфигурации после каждого выполнения операции <code>commit</code> .
<code>pre-commit</code>	Включение выгрузки файла конфигурации перед каждым выполнением операции <code>commit</code> . Команда применяется в режиме настройки элемента резервирования конфигурации "backup to".
<code>password [encrypted] password</code>	Задание пароля пользователя, который будет использован при операциях выгрузки файла конфигурации на удаленный сервер в открытом или зашифрованном виде.
<code>vrf vrf_name</code>	Имя экземпляра VRF, в котором будет осуществляться связь с указанным URL.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример: настройка ежедневного сохранения файла конфигурации на удаленном сервере.

```
backup to tftp://192.168.16.119/ME5100/
daily 24:00:00
vrf mng
exit
```

Пример: настройка автосохранения файла конфигурации на устройстве после каждого выполнения операции `commit`.

```
backup to fs://backups
post-commit
memory-limit 250
exit
```

Сохраненные файлы конфигурации на устройстве можно посмотреть с помощью следующей команды:

show configuration backup

Пример: *show configuration backup*

```
0/ME5100:Router# show configuration backup
```

```
Wed Apr 3 17:01:06 2019
```

ID	Date	Stage
0	20190403_165328	post_commit
1	20190403_133440	post_commit
2	20190403_133322	post_commit
3	20190403_121717	post_commit
4	20190403_121708	post_commit
5	20190403_121638	post_commit

В случае сбоя или некорректных действий персонала по изменению конфигурации существует возможность быстрого возврата к предыдущей рабочей конфигурации.

Пример: *откат конфигурации к предыдущей версии*

```
0/ME5100:Router#commit backup 1_
```

Управление подсистемой SYSLOG

Syslog (системный журнал) — стандарт отправки и регистрации сообщений о происходящих в системе событиях (то есть создания событийных журналов), использующийся в сетях, работающих по протоколу IP. Фильтром заносимых в журнал сообщений является минимальная степень важности (severity) событий. Все системные события, имеющие важность равную или более высокую, чем заданная, подлежат записи в журнал событий устройства.

Согласно RFC3164, имеются следующие стандартные значения степеней важности:

Numerical Code	Severity
0	Emergency: system is unusable
1	Alert: action must be taken immediately
2	Critical: critical conditions
3	Error: error conditions
4	Warning: warning conditions
5	Notice: normal but significant condition

Numerical Code	Severity
6	Informational: informational messages
7	Debug: debug-level messages

Таблица 19. Очистка системного журнала.

Команда	Назначение
<code>clear logging</code>	Очистить локальный журнал устройства.
<code>clear logging persistent [file file_name]</code>	Очистить файлы, сохраненные на диске устройства.

Таблица 20. Настройка системного журнала.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>logging buffered severity severity</code>	Задать минимальную степень важности (severity) сообщений, сохраняемых в локальном журнале устройства. Заданная степень важности используется в качестве фильтра — все системные события, имеющие важность равную или более высокую, чем заданная, подлежат записи в журнал событий устройства.
<code>logging buffered size file_size</code>	Задать максимальный размер файлов журнала, используемых системой журналирования устройства в процессе ротации. При достижении файлом заданного размера он подлежит ротации, при этом старый файл удаляется. Размер файла по умолчанию 10000 KiB.
<code>logging buffered rotate file_count</code>	Задаёт количество файлов, используемых системой журналирования устройства в процессе ротации файлов журнала. Количество файлов журнала может принимать значения от 1 до 1000. NOTE Команду рекомендуется использовать совместно с <code>logging buffered size</code>. На системах, находящихся в эксплуатации, не следует задавать значения более 10; вместо этого рекомендуется использование удаленных серверов журналирования.

Команда	Назначение
<code>logging cli-commands disable</code>	Отключить учет введенных пользователями команд в системе журналирования событий. По умолчанию режим логирования команд включен.
<code>logging netconf-ssh disable</code>	Отключить учет введенных пользователями по сессии "netconf over ssh" команд в системе журналирования событий. По умолчанию режим логирования команд включен.
<code>logging console severity</code>	Задать минимальную степень важности (severity) сообщений, выводимых на аппаратную консоль устройства.
<code>logging monitor severity</code>	Задать минимальную степень важности (severity) сообщений, которые будут отображаться в сессиях удаленного управления устройством (Telnet/SSH).
<code>logging persistent</code>	Включить режим журналирования на диске устройства и перейти в режим настройки его параметров.
<code>file file_name</code>	Указать имя файла журналирования и перейти в режим настройки параметров.
<code>severity severity</code>	Задать минимальную степень важности (severity) сообщений, отправляемых на удаленный сервер журналирования.
<code>subsystem subsystem</code>	Указать подсистему, сообщения которой будут записываться в файл.
<code>exit</code>	Выйти из режима настройки параметров записи файла.
<code>exit</code>	Выйти из режима logging persistent.
<code>logging host { IP_intf-addr IPv6_intf-addr } [vrf vrf_name]</code>	Включить отправку SYSLOG-сообщений на сервер удаленного журналирования и перейти в режим настройки параметров этого сервера (config-logging-host). В конфигурации устройства можно задавать несколько серверов удаленного журналирования.
<code>description name</code>	Задать имя хоста.
<code>severity severity</code>	Задать минимальную степень важности (severity) сообщений, отправляемых в файл.

Команда	Назначение
<code>tcp port</code>	Установить режим работы по протоколу TCP для текущего удаленного сервера журналирования и задать номер используемого порта.
<code>udp port</code>	Установить режим работы по протоколу udp для текущего удаленного сервера журналирования и задать номер используемого порта.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример: настройка журналирования на удаленном сервере и записи в файл сообщений подсистемы if-mgr.

```
logging console debug
logging host 192.168.17.18 vrf mgmt-intf
  description "ME EMS 17-18"
exit
logging monitor notice
logging persistent
  file int
    subsystem if-mgr
  exit
exit
logging rotate 15
logging size 100
```

Протокол управления сетью (SNMP)

SNMP (Simple Network Management Protocol — простой протокол сетевого управления) — стандартный интернет-протокол для управления устройствами в IP-сетях на основе архитектур UDP/TCP. Протокол обычно используется в системах сетевого управления для контроля подключенных к сети устройств на предмет условий, которые требуют внимания администратора.

Маршрутизаторы серии ME поддерживают протокол версий SNMPv1, SNMPv2, SNMPv3.

Таблица 21. Настройка протокола SNMP.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
<code>snmp server [vrf vrf_name]</code>	Создание в конфигурации SNMP-сервера и переход в режим настройки его параметров (config-snmp-server-vrf). При запуске SNMP-сервера в каком-либо VRF (либо в глобальной таблице маршрутизации) устройство начинает принимать соединения по протоколу SNMP на тех своих интерфейсах, которые включены в указанный VRF.
<code>dscp dscp_val</code>	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты.
<code>sysLocation val</code>	(Опционально) Добавить информацию о месте установки устройства или любую информацию для идентификации устройства в сети.
<code>sysContact val</code>	(Опционально) Добавить информацию о контактах или любую информацию для администратора сети.
<code>trapMode { extended standart }</code>	Отправлять стандартные (по умолчанию) или расширенные (резолвится if-index интерфейса в текстовое имя) SNMP-уведомления.
<code>community label name</code>	Добавить краткое описание группы доступа. Переход в режим настройки параметров группы доступа. Имя группы доступа (community) отображается в конфигурации маршрутизатора в шифрованном виде. Если групп больше, чем одна, добавление краткого описания (community label) облегчает администратору сети идентификацию community.
<code>community-name {encrypted encrypted name name}</code>	Задание имени группы доступа в открытом или шифрованном виде.
<code>address {ipv4address ipv6address}</code>	Указание адреса хоста для обращения к community
<code>rights { ro rw_ }</code>	Задание прав доступа. • ro — только чтение; • rw — чтение и запись.
<code>exit</code>	(Опционально) Возврат в режим настройки SNMP-сервера.
<code>host {ipv4 address ipv4address ipv6 address ipv4address hostname}</code>	Указание адреса хоста, на который будут отправляться SNMP-уведомления и переход в режим их настройки.

Команда	Назначение
<code>community {encrypted encrypted name name}</code>	Задание имени группы доступа в открытом или зашифрованном виде.
<code>port value</code>	(Опционально) Указание порта для приема SNMP-уведомлений на удаленном сервере (по умолчанию-162).
<code>user name</code>	Переход в режим конфигурации учетной записи пользователя SNMPv3
<code>authentication access {auth priv}</code>	Выбор режима безопасности пользователя. • <code>auth</code> — только аутентификация; • <code>priv</code> — аутентификация и шифрование данных.
<code>authentication algorithm {sha1 md5}</code>	Выбор алгоритма шифрования.
<code>authentication key {encrypted value value}</code>	Задание ключа аутентификации в открытом или зашифрованном виде.
<code>authentication access {auth priv}</code>	Выбор режима безопасности пользователя. • <code>auth</code> — только аутентификация; • <code>priv</code> — аутентификация и шифрование данных.
<code>privacy algorithm {aes128 des}</code>	Выбор алгоритма шифрования для <code>priv</code> -режима безопасности пользователя.
<code>privacy key {encrypted value value}</code>	Задание ключа аутентификации для <code>priv</code> -режима безопасности пользователя в открытом или зашифрованном виде.
<code>rights { ro rw_ }</code>	Задание прав доступа пользователя. • <code>ro</code> — только чтение; • <code>rw</code> — чтение и запись.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример: настройка SNMPv2 сервера в GRT

```
snmp server vrf default
  community label public
    community-name encrypted 8CA10161B90C
  rights rw
exit
host 192.168.13.1
  community encrypted 8CA10161B90C
exit
exit
```

Пример: настройка учетной записи пользователя SNMPv3

```
user tester
  authentication access auth
  authentication algorithm sha1
  authentication key encrypted CDE65039E5591FA3
  rights rw
exit
```

НАСТРОЙКА ЗАЩИТЫ CONTROL-PLANE

Control-plane (плоскость управления) в программной архитектуре маршрутизатора отвечает за работу различных протоколов и обработку служебного трафика. Все пакеты плоскости управления (control-plane) обрабатываются непосредственно центральным процессором (CPU) маршрутизатора. Настройка фильтров control-plane позволяет администратору устанавливать правила обработки входящих пакетов для защиты от сетевых атак и несанкционированного доступа.

В данной главе рассматриваются принципы настройки защиты уровня control-plane.

Основные принципы

1. По умолчанию (при отсутствии в конфигурации блока защиты control-plane) все входящие соединения к устройству разрешены. Соответственно, при запуске какого-либо сервиса (например, telnet-server) к нему смогут подключаться все хосты, которые имеют связность с устройством.
2. Конфигурирование защиты control-plane делится на два логических блока — защита сервисов, которые работают в Global Routing Table либо в сервисных VRF устройства (`control-plane inband`) и защита сервисов, работающих на Out-of-band интерфейсах (`control-plane out-of-band`).
3. Внутри каждого из блоков *in-band/out-of-band* конфигурируется набор правил, которые действуют на **входящие** сетевые соединения к устройству. Правила могут применяться как ко всем интерфейсам данного VRF (ключ `interface all`), либо к отдельным указанным. Для правил фильтрации не требуется указание VRF (правила будут автоматически работать в том VRF, к которому относится интерфейс).
4. Правила фильтрации действуют только на Layer3-интерфейсы устройства и при этом не действуют на транзитный трафик маршрутизатора.
5. Важно! Для каждого правила защиты control-plane действием по умолчанию является "запретить все остальные входящие соединения".

Настройка правил защиты

Таблица 22. Последовательность настройки control-plane для интерфейса out-of-band управления.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>control-plane out-of-band interface mgmt {num all}</code>	Переход в режим настройки фильтров control-plane интерфейса out-of-band управления.

Команда	Назначение
<code>policy { drop reject }</code>	Выбор действия при получении пакета, подпадающего под запрещающее правило: • <code>reject</code> - ответить сообщением ICMP Port unreachable (по умолчанию); • <code>drop</code> - отбросить (рекомендуется).
<code>allow protocol</code>	Указать протокол из перечня хорошо известных (либо указать протокол TCP/UDP и номер порта). Входящие соединения (пакеты) указанных протоколов будут приниматься и обрабатываться маршрутизатором, остальные - отбрасываться. • <code>all</code> -- входящие пакеты всех протоколов (по умолчанию); • <code>ftp</code>; • <code>http</code>; • <code>icmp-echo</code>; • <code>icmpv6-echo</code>; • <code>netconf</code>; • <code>ntp</code>; • <code>sntp</code>; • <code>ssh</code>; • <code>tcp</code> — TCP с указанием номера порта; • <code>telnet</code>; • <code>tftp</code>; • <code>udp</code> — UDP с указанием номера порта.
<code>any</code>	Принимать пакеты (соединения) от всех source-адресов для указанного протокола.
<code>peer</code>	Перейти в режим явного указания source-адресов.
<code>address {ipv4 ipv4address ipv6 ipv6address }</code>	Указать IPv4- либо IPv6-адрес, пакеты от которого будут приниматься маршрутизатором.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка control-plane для интерфейса out-of-band управления — разрешить все соединения от адреса 192.168.17.150.

```
control-plane out-of-band interface mgmt 0/fmc0/1
  allow all
  peer
    address ipv4 192.168.17.150
  exit
exit
policy drop
exit
```

Таблица 23. Последовательность настройки control-plane для интерфейсов GRT либо сервисных VRF.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>control-plane inband interface {type num all}</code>	Переход в режим настройки фильтров control-plane интерфейсов.
<code>policy { drop reject }</code>	Выбор действия при получении пакета, подпадающего под запрещающее правило: • <code>reject</code> - ответить сообщением ICMP Port unreachable (по умолчанию); • <code>drop</code> - отбросить (рекомендуется)

Команда	Назначение
<code>allow protocol</code>	Указать протокол из перечня хорошо известных (либо указать протокол TCP/UDP и номер порта). Входящие соединения (пакеты) указанных протоколов будут приниматься и обрабатываться маршрутизатором, остальные - отбрасываться. • <code>all</code> - входящие пакеты всех протоколов (по умолчанию); • <code>ftp</code>; • <code>http</code>; • <code>icmp-echo</code>; • <code>icmpv6-echo</code>; • <code>netconf</code>; • <code>ntp</code>; • <code>sntp</code>; • <code>ssh</code>; • <code>tcp</code> — TCP с указанием номера порта; • <code>telnet</code>; • <code>tftp</code>; • <code>udp</code> — UDP с указанием номера порта.
<code>any</code>	Принимать пакеты (соединения) от всех source-адресов для указанного протокола.
<code>peer</code>	Перейти в режим явного указания source-адресов.
<code>address {ipv4 ipv4address ipv6 ipv6address }</code>	Указать IPv4- либо IPv6-адрес, пакеты от которого будут приниматься маршрутизатором.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

IMPORTANT

Некорректная настройка control-plane может привести к потере удаленного управления маршрутизатором и частичной либо полной неработоспособности соответствующих сетевых сервисов.

Пример. Настройка защиты control-plane для интерфейсов inband — общая настройка для всех интерфейсов (**interface all**) и отдельная настройка для интерфейса **te 0/0/13**.

```
control-plane inband interface all
  allow icmp-echo
    any
  exit
  allow snmp
    peer
      address ipv4 177.34.156.0
      address ipv4 115.64.45.254
      address ipv4 118.254.32.227
      address ipv4 82.1.252.254
      address ipv4 97.125.152.0/24
    exit
  exit
  allow ssh
    peer
      address ipv4 115.64.45.254
      address ipv4 118.254.32.227
      address ipv4 82.1.252.254
      address ipv4 97.125.152.0/24
    exit
  exit
  allow telnet
    any
  exit
exit
control-plane inband interface tengigabitethernet 0/0/13
  allow icmp-echo
    any
  exit
exit
```

ИНТЕРФЕЙСЫ И АДРЕСАЦИЯ

Параметры, настраиваемые на интерфейсах

Синтаксис командной строки маршрутизаторов является функционально-ориентированным. Это означает, что непосредственно на интерфейсах настраивается только ограниченный список параметров, при этом протокольные настройки (например, интерфейсные настройки протокола OSPF) задаются в отдельных протокольных блоках CLI.

На интерфейсах конфигурируется:

- Строковое описание интерфейса (для всех интерфейсов);
- Назначение IP-адресов и экземпляра VRF, к которому относится интерфейс;
- Параметры работы протокола ARP (для всех интерфейсов, кроме локальной петли, loopback);
- Параметры максимального размера пакетов — MTU канального уровня и протокольные IP MTU (для физических и агрегирующих интерфейсов);
- Интервал подсчёта статистики по трафику (для всех интерфейсов, кроме локальной петли);
- Параметры базовых ограничителей полосы (для всех интерфейсов, кроме локальной петли);
- Назначение политики QoS и классификаторов входящего трафика (для всех интерфейсов, кроме локальной петли);
- Административный статус интерфейса (shutdown);
- Режимы работы интерфейсов — скорость и дуплекс (для физических интерфейсов);
- Параметры MicroBFD (только для агрегирующих интерфейсов).

Режим маршрутизации и режим коммутации

Интерфейс маршрутизатора может находиться в одном из двух режимов — в режиме маршрутизации (*layer3 forwarding*) либо коммутации (*layer2 forwarding*).

Режим маршрутизации означает, что на интерфейсе сконфигурирован IPv4/IPv6-адрес и сквозная коммутация Ethernet-кадров через него невозможна.

Режим коммутации означает, что на интерфейсе не включена IP-маршрутизация и через него может осуществляться сквозная коммутация Ethernet-кадров.

Информация о режиме содержится в выводе команды **show interfaces**:

```
0/ME5100:Router# show interfaces tengigabitethernet 0/0/1.500
Tue Jan 30 21:24:35 2018
tengigabitethernet 0/0/1.500 is up
  Interface index is 62
  Hardware is tengigabitethernet, address is a8:f9:4b:8b:bc:21
  Encapsulation 802.1Q, VLAN tag 500
  Description is not set
  IPv4 address is 200.1.1.151/24
  No IPv6 address assigned
  Interface is bound to VRF default
  Interface is in layer3 forwarding mode
  ARP aging time is 240 minutes
  Interface MTU is 1518
  Interface IP MTU is 1500
  300 seconds input rate is 0 bit/s
  300 seconds output rate is 0 bit/s
  300 seconds input rate is 0 pps
  300 seconds output rate is 0 pps
    9793 packets input, 666441 bytes received
    893 packets output, 63423 bytes sent
```

IMPORTANT

По умолчанию интерфейсы устройства находятся в режиме коммутации. Режим маршрутизации включается автоматически при назначении IPv4/IPv6-адреса на интерфейс. Подробнее о применении режима коммутации см. раздел "L2VPN и сервисы Ethernet". Интерфейс в режиме layer2 forwarding не осуществляет никакой пересылки пакетов до тех пор, пока не будет включен в бридж-домен или кросс-коннект.

Настройка IP-адресации, параметров ARP и описания интерфейса

Для маршрутизации IP-трафика через интерфейс требуется назначить на нем IPv4/IPv6 адрес и назначить для интерфейса VRF. Если VRF на интерфейсе не сконфигурирован, то интерфейс относится к глобальной таблице маршрутизации устройства (Global Routing Table, GRT).

VRF (Virtual Routing and Forwarding instance) представляет собой виртуальный экземпляр маршрутизации, или простой виртуальный маршрутизатор. Каждый VRF имеет отдельный независимый список интерфейсов, таблицу маршрутизации и ARP-таблицу. Трафик между интерфейсами разных VRF полностью изолирован друг от друга и маршрутизируется независимо.

В случае, если разделение по VRF используется в пределах одного маршрутизатора, метод имеет название VRF lite. Организация одного VRF на нескольких связанных устройствах, как правило, обозначается как технология L3VPN (Layer3 Virtual Private Network).

Использование VRF Lite и L3VPN описано в разделе "L3VPN" данного Руководства.

Локально на интерфейсах также можно назначить параметр ARP timeout. Данный параметр задает максимальное время жизни ARP-записей на указанном интерфейсе. В течение времени жизни записей маршрутизатор периодически производит их обновление путем рассылки ARP-запросов. В случае, если удаленный хост не отвечает на ARP запросы в течение указанного таймаута, запись удаляется из таблицы.

Таблица 24. Последовательность настройки IP-адресации и VRF на интерфейсе

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>interface type num</code>	Переход в режим настройки интерфейса.
<code>vrf vrf_name</code>	Назначение на интерфейсе экземпляра VRF.
<code>ipv4 address ipv4address/prefix</code>	Назначение на интерфейсе IPv4-адреса в формате CIDR (адрес/длина префикса).
<code>arp aging-time minutes</code>	Задание времени жизни ARP-записей на интерфейсе. Параметр является опциональным и либо наследуется от глобальной настройки arp aging-time , либо устанавливается равным значению по умолчанию — 240 минут.
<code>ipv6 address ipv6address/prefix</code>	Назначение на интерфейсе IPv6-адреса.
<code>description descr</code>	Назначение на интерфейсе имени-описания. Описание следует заключать в кавычки в случае, если строка содержит символы пробела.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример: назначение адреса, описания и экземпляра VRF

```
0/ME5100:Router# configure
0/ME5100:Router(config)# interface tengigabitethernet 0/0/2
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# vrf example_vrf
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# ipv4 address 10.0.0.1/24
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# ipv6 address 2000::1/64
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# arp aging-time 10
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# description "Example interface"
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# commit
```

Пример: задание глобальной конфигурации ARP-таймаута:

```
0/ME5100:Router# configure
0/ME5100:Router(config)# arp aging-time 10
0/ME5100:Router(config)# commit
```

Настройка MTU, режимов физического интерфейса и интервала подсчета статистики

MTU (Maximum Transmission Unit) — максимальный размер передаваемых через интерфейс пакетов. Размер MTU относится к длине Ethernet-фрейма (кадра канального уровня) с учетом VLAN-тегов. Например, для IP-пакета размером в 1500 байт канальный MTU составляет 1522 байта с учетом возможного двойного тегирования.

Установленное значение MTU влияет на передачу всех Ethernet-кадров, независимо от их протокольного содержимого.

IP MTU — максимальный размер передаваемых через интерфейс IPv4/IPv6-пакетов. Значение IP MTU применяется при работе интерфейса в режиме маршрутизации (layer3 forwarding) для транзитного трафика, а также для пакетов, отправляемых самим маршрутизатором с данного интерфейса — например, сигнальным сообщениям протоколов маршрутизации.

NOTE	По умолчанию на интерфейсах маршрутизатора используется MTU 1522 байта и IP MTU — 1500 байт.
-------------	--

IMPORTANT	Значения MTU и IP MTU задаются целиком для физического интерфейса (либо агрегирующего интерфейса) и наследуются всеми его сабинтерфейсами. Задание значений MTU и IP MTU отдельно на сабинтерфейсах не поддерживается аппаратной платформой. При конфигурировании агрегирующего интерфейса (bundle-ether) следует задавать значения MTU на нем, эти значения будут унаследованы составляющими его физическими интерфейсами.
------------------	---

К режимам физического интерфейса относится скорость (speed) и дуплекс (duplex). Список поддерживаемых режимов определяется возможностями установленного в интерфейс трансивера.

NOTE	По умолчанию интерфейсы устройства находятся в режиме полного автосогласования (speed auto, duplex auto).
-------------	---

Интервал подсчета статистики определяет время, за которое будет усредняться статистика переданных/отправленных пакетов и байт при вычислении значений текущей загрузки интерфейса.

NOTE	По умолчанию интервал подсчета статистики составляет 300 секунд (5 минут). Уменьшение этого интервала позволяет увеличить точность определения "моментальной" загрузки интерфейса.
-------------	--

Таблица 25. Последовательность настройки MTU, режима интерфейса и интервала подсчета статистики

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>interface type num</code>	Переход в режим настройки интерфейса.
<code>mtu l2_mtu_bytes</code>	Установка канального MTU в байтах.
<code>ip mtu ip_mtu_bytes</code>	Установка IP MTU в байтах.
<code>speed { 10 100 1G 10G auto }</code>	Задание скорости физического интерфейса.
<code>duplex { half full auto }</code>	Задание дуплекса физического интерфейса.
<code>load-interval seconds</code>	Установка интервала подсчета загрузки интерфейса в секундах.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример: настройка MTU, режима интерфейса и интервала подсчета статистики:

```
0/ME5100:Router# configure
0/ME5100:Router(config)# interface tengigabitethernet 0/0/2
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# mtu 9122
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# ip mtu 9100
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# speed 1G
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# duplex full
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# load-interval 30
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# commit
```

Настройка базовых ограничителей полосы пропускания интерфейса

Для ограничения полосы пропускания интерфейса для входящего трафика используется команда **rate-limit input**, для исходящего трафика — **shape output**. Значение полосы пропускания задается в килобитах в секунду.

При задании полосы на физическом или агрегирующем интерфейсе данное ограничение действует на весь трафик интерфейса, включая его сабинтерфейсы.

Таблица 26. Последовательность настройки базовых ограничителей полосы

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>interface type num</code>	Переход в режим настройки интерфейса.
<code>rate-limit input input_rate_kbps</code>	Установка ограничения полосы для входящего трафика, в килобитах в секунду.
<code>shape output output_rate_kbps</code>	Установка ограничения полосы для исходящего трафика, в килобитах в секунду.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример: настройка ограничителей полосы для входящего и исходящего трафика:

```
0/ME5100:Router# configure
0/ME5100:Router(config)# interface tengigabitethernet 0/0/2
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# shape output 30000
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# rate-limit input 30000
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# commit
```

Назначение QoS-политик и классификаторов трафика на интерфейсе

Для работы системы обеспечения качества обслуживания (QoS, Quality of Service) требуется назначение классификаторов трафика на интерфейсе. Данные классификаторы позволяют определить принадлежность всего входящего в интерфейс трафика к сконфигурированным на устройстве классам. Назначенная на входе классификация будет использоваться при обработке QoS-политиками на выходе из интерфейсов маршрутизатора.

Таким образом, для обработки трафика согласно политик QoS требуется назначение классификаторов на входе в интерфейсы (**tc-map**) и назначение политик QoS на выходе из интерфейсов (**service-policy**).

Таблица 27. Последовательность назначения классификаторов трафика и политик QoS

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>interface type num</code>	Переход в режим настройки интерфейса.
<code>tc-map input tcmap_index</code>	Установка классификатора входящего в интерфейс трафика. <i>tcmap_index</i> — номер предварительно сконфигурированного классификатора.
<code>service-policy output servicepolicy_name</code>	Установка политики QoS для исходящего из интерфейса трафика. <i>servicepolicy_name</i> — имя предварительно сконфигурированной политики QoS.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример: назначение классификатора трафика и политики QoS:

```
0/ME5100:Router# configure
0/ME5100:Router(config)# interface tengigabitethernet 0/0/2.300
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# tc-map input 3
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# service-policy output VPN_30Mbit
0/ME5100:Router(config-tengigabitethernet)# commit
```

IMPORTANT

В текущей версии ПО назначение политик QoS возможно только на сабинтерфейсы физических и агрегирующих (bundle-ether) интерфейсов. Назначение политик QoS напрямую на физические и агрегирующие интерфейсы не поддерживается.

Более подробно описание работы подсистемы QoS см. в соответствующей главе данного Руководства.

Использование агрегирующих интерфейсов

Агрегирующие интерфейсы (группы агрегации каналов, или интерфейсы **bundle-ether**) представляют собой логические интерфейсы, каждый из которых состоит из нескольких физических. Полоса пропускания агрегирующего интерфейса равна сумме пропускных способностей составляющих его физических портов с учетом балансировки по этим портам.

При использовании агрегирующих интерфейсов следует уделять особое внимание вопросу балансировки трафика и контроля загрузки составляющих интерфейсов — только при достаточно равномерной балансировке трафика по составным портам можно получить максимально возможную пропускную способность. Возникновение же перегрузки на одном или нескольких интерфейсах-участниках агрегирующего соединения приведет к потерям трафика, хотя общая загрузка агрегирующего интерфейса может при этом не достигать максимума.

Группы агрегации также можно применять с целью организации резервирования каналов — при отказе одного из интерфейсов-участников (например, физическом обрыве соединения) трафик автоматически перераспределяется на оставшиеся активные порты.

Для создания агрегирующих интерфейсов можно применять два подхода — создание статических агрегаций либо агрегаций с использованием протокола LACP (Link Aggregation Control Protocol).

При организации интерфейсов с использованием LACP работоспособность составляющих соединений контролируется сигнальными средствами данного протокола. Агрегирующие интерфейсы с протоколом LACP рекомендуется применять в большинстве случаев, так как протокольные механизмы контроля целостности соединения гарантируют обнаружение обрывов даже в тех случаях, когда физические интерфейсы продолжают оставаться в активном состоянии.

Например, при организации стыка между двумя маршрутизаторами транспортом между ними может служить какая-либо первичная сеть, которая не отключит конечные порты тракта при его обрыве. Без использования сигнализации LACP в данном случае маршрутизаторы продолжают отсылать часть трафика в неисправный линк, что приведет к потере этого трафика.

Статические группы агрегации рекомендуется применять только при необходимости и в случаях, если соединяемые устройства соединены "спина к спине", то есть прямыми Ethernet-соединениями без участия какого-либо дополнительного транспорта. Однако даже в таком случае возможна ситуация, когда неисправность линии затронет только одно

направление передачи трафика, и тогда одно из устройств не сможет обнаружить отказ и продолжит отсылать трафик в неработоспособный интерфейс.

При объединении устройств агрегирующими интерфейсами следует использовать одинаковый режим работы (статический либо LACP) с обеих сторон соединения.

Для каждого агрегирующего интерфейса можно выбрать метод балансировки трафика по составляющим портам — "hash" или "round-robin". Метод балансировки "hash" означает, что каждый отправляемый пакет будет отправляться в один из составляющих линков на основании хэш-функции от заголовков этого пакета. Данный метод позволяет направить все пакеты каждого отдельно взятого потока трафика (например, трафика между двумя определенными узлами) в один и тот же интерфейс-участник агрегации. Метод "round-robin" отправляет каждый последующий пакет в следующий по очереди составляющий линк (т.н. по пакетная балансировка), невзирая на его принадлежность к какому-либо потоку.

Метод "round-robin" позволяет максимально равномерно распределить трафик по участникам агрегирующего линка, однако, его побочным эффектом может являться переупорядочивание пакетов внутри потоков трафика — в случае, если составляющие соединения вносят разную задержку. В большинстве применений рекомендуется использовать метод балансировки "hash", предварительно сконфигурировав на устройстве метод учета полей для вычисления хэш-функции (команда **load-balancing hash-fields** глобального режима конфигурации).

Таким образом, на маршрутизаторах ME можно использовать следующие возможности настройки агрегации каналов:

1. Создавать агрегированные интерфейсы, включая в них физические порты;
2. Устанавливать метод работы агрегирующего интерфейса — статический либо с использованием LACP;
3. Выбирать режим работы LACP — "slow" или "fast";
4. Задавать режим балансировки трафика в агрегирующем интерфейсе — "hash" или "round-robin";
5. Настраивать максимальное и минимальное количество активных участников в агрегирующем интерфейсе;
6. Включать и настраивать на агрегирующем интерфейсе дополнительный метод быстрого детектирования обрыва линка — протокол MicroBFD.

Таблица 28. Последовательность создания и настройки агрегирующего интерфейса

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>lasp interface tengigabitethernet</code> <code>num</code>	Добавление физического линка в агрегированный интерфейс и переход в режим настройки его параметров агрегации.
<code>bundle id bundle_id</code>	Привязка физического интерфейса к указанному номеру агрегированного интерфейса системы.

Команда	Назначение
<code>bundle mode { active passive off }</code>	Указание режима работы агрегации — LACP active, LACP passive либо статическая агрегация. Важно указывать одинаковый режим работы для всех участников одного и того же агрегированного интерфейса.
<code>timeout { short long }</code>	(Опционально) Выбор режима работы LACP — "slow" (long) или "fast" (short).
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации. Далее можно повторить перечисленные шаги, добавив требуемые интерфейсы в состав агрегированного соединения.
<code>lacp interface bundle-ether bundle_id</code>	Создание вспомогательного элемента — блока настройки параметров агрегации интерфейса bundle-ether и переход в режим настройки этих параметров. Команда является обязательной.
<code>active-links max max_links</code>	(Опционально) Указание максимально возможного количества активных участников агрегированного интерфейса. При наличии большего количества участников они будут переводиться в неактивное состояние.
<code>active-links min min_links</code>	(Опционально) Указание минимально требуемого количества активных участников агрегированного интерфейса. В случае, если количество активных участников опустится ниже данного значения, агрегированный интерфейс будет принудительно деактивирован.
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>interface bundle-ether bundle_id</code>	Создание в системе агрегированного интерфейса и переход в режим его настройки.
<code>ipv4 address ipv4address/prefix</code>	(Опционально) Задание IPv4-адреса на интерфейсе.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

NOTE

Назначать физические интерфейсы в группу агрегации каналов можно либо после, либо одновременно с созданием в системе соответствующего интерфейса **bundle-ether**.

IMPORTANT

По умолчанию режим балансировки агрегированного интерфейса — "hash". Для обеспечения требуемой балансировки необходимо воспользоваться командой **"load-balancing hash-fields"** глобального режима конфигурации.

Полученный агрегированный интерфейс можно использовать в системе наравне с обычными физическими портами.

Пример: конфигурация агрегированного интерфейса, состоящего из двух физических:

```
load-balancing hash-fields mac-src
load-balancing hash-fields mac-dst
load-balancing hash-fields ip-src
load-balancing hash-fields ip-dst

lacp interface tengigabitethernet 0/0/8
    bundle id 1
    bundle mode active
exit
lacp interface tengigabitethernet 0/0/9
    bundle id 1
    bundle mode active
exit
lacp interface bundle-ether 1
    active-links min 2
exit

interface bundle-ether 1
    bfd address-family ipv4 source 11.11.11.1
    bfd address-family ipv4 destination 11.11.11.2
    bfd address-family ipv4 fast-detect
    bfd multiplier 3
    ipv4 address 11.11.11.1/24
exit
```

Использование сабинтерфейсов

Сабинтерфейсы (subinterfaces) представляют собой логические интерфейсы, являющиеся потомками физического интерфейса (либо группы агрегации каналов) и работающие с тегированным Ethernet-трафиком.

Например, на одном физическом интерфейсе можно создать три логических сабинтерфейса, первый из которых работает только с трафиком с инкапсуляцией 802.1q и помеченным тегом 100, второй - с тегом 300 и третий - с тегом 400. Под работой с трафиком в данном случае подразумевается прием соответствующего тегированного трафика и передача трафика с соответствующими тегами. Всего на одном физическом интерфейсе можно создать до 4000 сабинтерфейсов. Максимальное количество сабинтерфейсов в системе зависит от модели маршрутизатора и указано в соответствующем техническом описании.

NOTE

Идентификатор сабинтерфейса (указывается через точку после номера родительского интерфейса) — число, уникальное в пределах родительского интерфейса. Идентификатор при этом может быть произвольным и не обязан соответствовать тегам, заданным для инкапсуляции. Тем не менее, для удобства рекомендуется использовать какую-либо систему соответствия между идентификатором и используемыми тегами.

В качестве классификатора для инкапсуляции может использоваться один или два тега.

Классификатор инкапсуляции задается на сабинтерфейсе командой **encapsulation**.

IMPORTANT

До версии ПО 2.0.1 включительно в качестве VLAN-тегов распознавались только теги с TPID 0x8100. Начиная с версии 2.2.0, на каждом из физических интерфейсов можно указать TPID для внешних и внутренних тегов при помощи команды **"encapsulation-map outer-type { 8100 | 88a8 | 9100 } [inner-type { 8100 | 88a8 | 9100 }]"**. Данная настройка будет применяться для **всех** сабинтерфейсов соответствующего физического интерфейса. По умолчанию применяется TPID 0x8100/0x8100.

Сабинтерфейсы могут полноценно использоваться в системе наравне с физическими и служить как для Layer3-маршрутизации, так и для Layer2-коммутации.

Сабинтерфейсы в режиме L3-маршрутизации

Сабинтерфейс, как и обычный физический интерфейс, может работать в режиме layer3 forwarding при назначении на него IPv4/IPv6-адресов.

При получении Ethernet-кадра в L3-сабинтерфейс все заголовки второго уровня, включая VLAN-теги, отбрасываются, и вложенный IP-пакет маршрутизируется согласно таблиц маршрутизации.

При передаче IP-пакета из L3-сабинтерфейса пакет икапсулируется в Ethernet-кадр с автоматическим добавлением тех VLAN-тегов, которые заданы на сабинтерфейсе в качестве классификатора инкапсуляции.

Таблица 29. Последовательность создания и настройки L3-сабинтерфейса

Команда	Назначение
configure	Переход в режим глобальной конфигурации.
interface { tengigabitethernet bundle-ether } num.subif_id	Создание сабинтерфейса и переход в режим настройки его параметров.
encapsulation outer-vid outer-vid [inner-vid inner-vid]	Задание классификатора — инкапсуляции трафика на сабинтерфейсе. <i>outer-vid</i> — значение внешнего VLAN-тега. <i>inner-vid</i> — значение внутреннего VLAN-тега.
ipv4 address ipv4address/prefix	(Опционально) Задание IPv4-адреса на интерфейсе.
ipv6 address ipv6address/prefix	(Опционально) Задание IPv6-адреса на интерфейсе.
commit	Применение произведенных настроек.

Пример L3-сабинтерфейса с одинарным VLAN-тегированием

```
interface tengigabitethernet 0/0/1.4036
  vrf example_vrf
  ipv4 address 10.10.36.1/24
  encapsulation outer-vid 4036
exit
```

Пример L3-сабинтерфейса с двойным VLAN-тегированием

```
interface tengigabitethernet 0/0/1.40000100
  vrf example_vrf
  ipv4 address 192.0.2.0/31
  encapsulation outer-vid 4000 inner-vid 100
exit
```

NOTE На L3-сабинтерфейсах игнорируется команда `rewrite ingress/egress tag`.

Сабинтерфейсы в режиме L2-коммутации

Сабинтерфейс также может работать в режиме layer2 forwarding, включаться в сервисы L2VPN (бридж-домены или кросс-коннекты) и служить для сквозной коммутации Ethernet-кадров.

При работе в режиме L2-коммутации есть важное отличие — при передаче кадров через сабинтерфейс маршрутизатор **не производит** никакой модификации VLAN-тегов. Таким образом, если требуется с принимаемых кадров снять теги, назначить на них дополнительные теги либо изменить теги, — то необходимо задать требуемое действие при помощи дополнительной команды `rewrite ingress/egress tag`.

Семейство команд `rewrite ingress/egress tag` позволяет выполнить с тегами следующие действия:

- **push** — добавить в Ethernet-кадр один или два VLAN-тега с заданным VLAN ID;
- **pop** — снять с кадра один или два VLAN-тега;
- **replace** — заменить внешний тег на заданный VLAN ID и (опционально) заменить также внутренний тег в кадре;
- **exchange** — поменять местами внешний и внутренний теги.

NOTE На одном сабинтерфейсе можно задать только одно правило `'rewrite ingress tag'` и одно правило `'rewrite egress tag'`.

Таблица 30. Последовательность создания и настройки L2-сабинтерфейса

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num.subif_id</code>	Создание сабинтерфейса и переход в режим настройки его параметров.
<code>encapsulation outer-vid outer-vid [inner-vid inner-vid]</code>	Задание классификатора — инкапсуляции трафика на сабинтерфейсе. <i>outer-vid</i> — значение внешнего VLAN-тега. <i>inner-vid</i> — значение внутреннего VLAN-тега.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Таблица 31. Настройка правил 'rewrite egress tag' на L2-сабинтерфейсе

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num.subif_id</code>	Создание сабинтерфейса и переход в режим настройки его параметров.
<code>rewrite egress tag pop {one two}</code>	Снять один или два тега с передаваемого Ethernet-кадра.
<code>rewrite egress tag push outer-vid outer-vid [inner-vid inner-vid]</code>	Добавить один или два тега на передаваемый Ethernet-кадр.
<code>rewrite egress tag replace outer-vid outer-vid [inner-vid inner-vid]</code>	Заменить один (верхний) или два тега на передаваемом Ethernet-кадре.
<code>rewrite egress tag exchange</code>	Поменять местами внешний и внутренний теги на передаваемом Ethernet-кадре.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Таблица 32. Настройка правил 'rewrite ingress tag' на L2-сабинтерфейсе

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num.subif_id</code>	Создание сабинтерфейса и переход в режим настройки его параметров.
<code>rewrite ingress tag pop {one two}</code>	Снять один или два тега с принятого Ethernet-кадра.
<code>rewrite ingress tag push outer-vid outer-vid [inner-vid inner-vid]</code>	Добавить один или два тега на принятый Ethernet-кадр.
<code>rewrite ingress tag replace outer-vid outer-vid [inner-vid inner-vid]</code>	Заменить один (верхний) или два тега на принятом Ethernet-кадре.
<code>rewrite ingress tag exchange</code>	Поменять местами внешний и внутренний теги на принятом Ethernet-кадре.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Утилизация сабинтерфейсов

Как на физических и агрегирующих интерфейсах, на сабинтерфейсах ведется статистика

переданных и принятых пакетов. Также имеется возможность подсчета текущей загрузки интерфейса в битах в секунду. Подсчет загрузки для сабинтерфейсов включается глобальной командой `system subint-utilization`.

Таблица 33. Включение подсчета загрузки сабинтерфейсов

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>[no] system subint-utilization</code>	Включение подсчета загрузки для всех сабинтерфейсов системы. Отрицательная форма команды отключает подсчет. По умолчанию подсчет загрузки на сабинтерфейсах выключен.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Команды диагностики интерфейсов

Ниже перечислены show-команды, посредством которых можно получить различную диагностическую информацию об интерфейсах системы.

show interfaces

Команда, при указании имени и номера интерфейса, выводит детализированную информацию о состоянии интерфейса и статистику интерфейса. Без указания конкретного интерфейса выводится информация по всем интерфейсам системы.

Пример: show interfaces

```
0/ME5100:Router# show interfaces tengigabitethernet 0/0/5
Tue Feb  6 20:45:47 2018
tengigabitethernet 0/0/5 is up
  Interface index is 6
  Hardware is tengigabitethernet, address is a8:f9:4b:8b:bb:25
  Link is up for 9 hours, 1 minutes, 46 seconds
  Description: to AR1(1.1.1.1) te 0/0/5
  IPv4 address is 100.100.12.1/31
  No IPv6 address assigned
  Interface is bound to VRF default
  Interface is in layer3 forwarding mode
  ARP aging time is 240 minutes
  Interface MTU is 9192
  Interface IP MTU is 1500
  Full, 10G, link type is auto, media type is 10G-Fiber
  Flow control is rx
  300 seconds input rate is 6120 bit/s
  300 seconds output rate is 6200 bit/s
  300 seconds input unicast rate is 10 pps
  300 seconds output unicast rate is 10 pps
  300 seconds input multicast rate is 0 pps
  300 seconds output multicast rate is 0 pps
  300 seconds input broadcast rate is 0 pps
  300 seconds output broadcast rate is 0 pps
    346192 packets input, 24913496 bytes received
    6 broadcasts, 14268 multicasts
    0 input errors, 0 FCS
    0 oversize, 0 internal MAC
    350273 packets output, 25201238 bytes sent
    1 broadcasts, 14269 multicasts
    0 output errors, 0 collisions
    0 excessive collisions, 0 late collisions
    0 symbol errors, 0 carrier, 0 SQE test error
```

show ipv4 interfaces brief

Команда выводит в табличном виде информацию обо всех L3-интерфейсах системы с указанием их IPv4-адресов и VRF, к которым они отнесены.

Пример: *show ipv4 interfaces brief*

```
0/ME5100:Router# show ipv4 interfaces brief
Tue Feb  6 20:47:35 2018
Interface                IPv4 address            VRF
-----
te 0/0/5                 100.100.12.1/31        default
te 0/0/6                 100.100.24.1/31        default
te 0/0/7                 100.100.23.1/31        default
te 0/0/17.10004000       4.4.4.4/24             13-1
te 0/0/17.10004001       1.1.1.1/24             13-1
te 0/0/17.20004000       172.16.0.0/31          13-1
lo 1                     2.2.2.2/32             default
lo 7991                  3.1.3.1/32             13-1
mgmt 0/fmc0/1            172.17.0.32/24         mgmt-intf
```

show interfaces description

Команда выводит в табличном виде перечень интерфейсов с указанием их описаний (description), сконфигурированных пользователем.

show interfaces counters

Команда выводит в табличном виде перечень интерфейсов и статистику по счетчикам пакетов на них.

show interfaces status

Команда выводит в табличном виде перечень физических и агрегирующих интерфейсов и информацию о их текущих состояниях и режиме работы.

show interfaces summary

Команда выводит сводную таблицу по количеству интерфейсов/сабинтерфейсов системы и их состоянии.

Пример: *show interfaces summary*

```
0/ME5100:Router# show interfaces summary
Tue Feb  6 20:52:34 2018
Interface type           Total      Up        Down      Admin down
-----
tengigabitethernet       20         2         18         0
tengigabitethernet-sub   22         21         1         0
bundle-ether              2          0         2         0
loopback                  1          1         0         0
mgmt                      1          0         1         0
ALL                       46         24        22         0
```

show interfaces utilization

Команда выводит в табличном виде информацию о текущей загрузке физических и агрегирующих интерфейсов.

ПОСТОЯННЫЕ МАРШРУТЫ И СТАТИЧЕСКАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ

В этой главе дается понятие постоянных маршрутов, описаны методы их диагностики и настройка статической маршрутизации для глобальной таблицы (GRT) и экземпляров VRF.

NOTE Основное средство диагностики таблиц маршрутизации устройства — команда `show route`.

Типы постоянных маршрутов

Постоянные маршруты — это маршруты, не зависящие от работы протоколов динамической маршрутизации и существующие в системе как результат ручной настройки.

В системе имеется три типа таких маршрутов:

- присоединенные (connected);
- локальные (local);
- статические (static).

Присоединенные маршруты

Присоединенные (connected) маршруты — это маршруты, соответствующие назначенным на IP-интерфейсы подсетям. Параметры присоединенного маршрута — это непосредственно адрес сети и интерфейс, на котором назначена данная подсеть.

Например, при назначении на интерфейсе IPv4-адреса `100.64.0.1/24` в таблицу маршрутизации будет внесено, что активен маршрут `100.64.0.0/24`, присоединенный к соответствующему интерфейсу устройства.

Присоединенные маршруты появляются в таблице маршрутизации и используются для пересылки трафика только в том случае, если соответствующий интерфейс находится в активном состоянии.

Локальные маршруты

Локальные (local) маршруты — это максимально специфичные (/32 для IPv4) маршруты, соответствующие назначенным на IP-интерфейсы устройства адресам. Параметры локального маршрута — это адрес интерфейса с маской /32 и непосредственно сам интерфейс, на котором адрес назначен.

Например, при назначении на интерфейсе IPv4-адреса `100.64.0.1/24` в таблицу маршрутизации будет внесено, что активен маршрут `100.64.0.1/32`, локальный для соответствующего интерфейса устройства.

Локальные маршруты появляются в таблице маршрутизации только в том случае, если соответствующий интерфейс находится в активном состоянии. Локальные маршруты используются в системе для внутренних нужд.

CAUTION

Следует с осторожностью применять редистрибуцию локальных маршрутов в протоколы динамической маршрутизации, так как появление таких специфичных маршрутов может привести к неочевидному выбору лучших путей в сети.

IMPORTANT

В случае, если на интерфейс назначен адрес с маской /32 (например, при использовании интерфейсов локальной петли — loopback), соответствующий маршрут будет рассматриваться системой как локальный, а не как присоединенный. Данную особенность следует учитывать при редистрибуции адресов loopback-интерфейсов.

Просмотр присоединенных и локальных маршрутов

Вывод всех имеющихся присоединенных маршрутов производится командой `show route [vrf NAME] connected`.

Вывод всех имеющихся локальных маршрутов производится командой `show route [vrf NAME] local`.

Предположим, в системе настроен IPv4-интерфейс:

```
interface tengigabitethernet 0/0/5
  load-interval 30
  description "to AR2(2.2.2.2) te 0/0/5"
  ipv4 address 100.100.12.0/31
exit
```

Тогда в таблице маршрутизации будут присутствовать следующие присоединенные (код **C**) и локальные (код **L**) маршруты:

C	100.100.12.0/31	is directly connected, 12h50m46s, te 0/0/5
L	100.100.12.0/32	is directly connected, 12h50m46s, te 0/0/5

Статические маршруты

Статические маршруты создаются в системе вручную путем задания соответствующих команд конфигурации. При создании статических маршрутов имеются обязательные и опциональные параметры.

Обязательные параметры:

- Сеть или префикс назначения в формате CIDR;
- IP-адрес следующего узла (nexthop).

Опциональные параметры:

- Интерфейс, через который направляется статический маршрут;
- Включение/отключение быстрого детектирования обрыва BFD;
- Метрика маршрута;
- Внутренний числовой тэг маршрута.

Настройка статических маршрутов внутри глобальной таблицы маршрутизации (GRT)

Добавление статических маршрутов в глобальной таблице производится в иерархическом виде в разделе конфигурации **router static**.

Таблица 34. Настройка статических маршрутов в GRT

Команда	Назначение
configure	Переход в режим глобальной конфигурации.
router static	Переход в режим конфигурации статической маршрутизации в глобальной таблице.
address-family { ipv4 ipv6 } unicast	Переход в режим настройки IP unicast-маршрутов.
destination ip_network ip_nexthop	Создание статического маршрута на подсеть <i>ip_network</i> с адресом следующего узла <i>ip_nexthop</i> и переход в режим конфигурации опциональных параметров данного маршрута.
interface { null tengigabitethernet bundle-ether } num	(Опционально) Указание интерфейса, через который будет направлен маршрут и переход в режим настройки дальнейших опциональных параметров.
bfd fast-detect	(Опционально) Включение быстрого детектирования обрыва связи до следующего узла (nexthop).
metric	(Опционально) Установка метрики маршрута.
exit	(Опционально) Возврат в режим настройки опциональных параметров маршрута.
tag tag	(Опционально) Указание внутреннего числового тега, который может быть впоследствии использован при фильтрации маршрута правилами редистрибуции.
commit	Применение произведенных настроек.

Пример: настройка статического маршрута на сеть 100.70.0.0/16 через узел 4.4.4.4, интерфейс bundle-ether 1.21, с метрикой 15 и внутренним тегом 555:

```
router static
  address-family ipv4 unicast
    destination 100.70.0.0/16 4.4.4.4
    interface bundle-ether 1.21
    metric 15
  exit
  tag 555
exit
exit
exit
```

Настройка статических маршрутов внутри экземпляра VRF

Добавление статических маршрутов для экземпляра VRF производится в иерархическом виде в разделе конфигурации `router vrf`.

IMPORTANT

Для включения IP-маршрутизации в экземпляре VRF **необходимо** наличие в конфигурации как минимум пустого блока `router vrf VRF_NAME` для данного экземпляра.

Таблица 35. Настройка статических маршрутов внутри экземпляра VRF

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router vrf vrf_name</code>	Включение маршрутизации в указанном экземпляре VRF и переход в режим настройки основных параметров маршрутизации для него.
<code>static</code>	Переход в режим конфигурации статической маршрутизации в текущем экземпляре VRF.
<code>address-family { ipv4 ipv6 } unicast</code>	Переход в режим настройки IP unicast-маршрутов.
<code>destination ip_network ip_nexthop</code>	Создание статического маршрута на подсеть <code>ip_network</code> с адресом следующего узла <code>ip_nexthop</code> и переход в режим конфигурации опциональных параметров данного маршрута.
<code>interface { null tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	(Опционально) Указание интерфейса, через который будет направлен маршрут и переход в режим настройки дальнейших опциональных параметров.
<code>bfd fast-detect</code>	(Опционально) Включение быстрого детектирования обрыва связи до следующего узла (nexthop).
<code>metric</code>	(Опционально) Установка метрики маршрута.

Команда	Назначение
<code>exit</code>	(Опционально) Возврат в режим настройки опциональных параметров маршрута.
<code>tag tag</code>	(Опционально) Указание внутреннего числового тега, который может быть впоследствии использован при фильтрации маршрута правилами редистрибуции.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример: настройка статического маршрута внутри VRF "example_vrf" на сеть 10.0.0.0/23 через узел 4.4.4.4, интерфейс tengigabitethernet 0/0/18.1, с метрикой 15 и внутренним тегом 65001:

```
router vrf example_vrf
  static
    address-family ipv4 unicast
      destination 10.0.0.0/23 4.4.4.4
        interface tengigabitethernet 0/0/18.1
          metric 15
        exit
      tag 65001
    exit
  exit
exit
exit
```

Команды просмотра маршрутной информации

show route [vrf VRF] [connected | static | local]

Данная команда выводит полный список маршрутов устройства в глобальной таблице маршрутизации либо в указанном экземпляре VRF. При указании типа маршрутов (connected/static/local) вывод фильтруется в соответствии с заданным параметром.

```
0/ME5100:Router# show route
Wed Feb  7 00:20:01 2018
Codes: C - connected, S - static, O - OSPF, B - BGP, L - local
       IA - OSPF inter area, EA - OSPF intra area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2,
       LE1 - ISIS level1 external, LE2 - ISIS level2 external
       BI - BGP internal, BE - BGP external, BV - BGP vpn

L       1.1.1.1/32      is directly connected, 13h41m48s, lo 1
i L2    2.2.2.2/32      via 100.100.12.1 [116/10], 13h39m57s, te 0/0/5
i L2    3.3.3.3/32      via 100.100.13.0 [116/10], 13h41m22s, te 0/0/6
i L2    4.4.4.4/32      via 100.100.14.0 [116/10], 13h38m03s, te 0/0/7.14
i L2    5.5.5.5/32      via 100.100.13.0 [116/30], 13h41m09s, te 0/0/6
i L2    6.6.6.6/32      via 100.100.13.0 [116/20], 13h41m09s, te 0/0/6
i L2    9.9.9.9/32      via 100.100.13.0 [116/10], 13h41m22s, te 0/0/6
C       10.10.0.0/24     is directly connected, 13h41m30s, te 0/0/1.10
L       10.10.0.1/32     is directly connected, 13h41m30s, te 0/0/1.10
C       10.100.100.0/24  is directly connected, 13h41m30s, te 0/0/1.100
L       10.100.100.1/32  is directly connected, 13h41m30s, te 0/0/1.100
C       11.1.0.0/24     is directly connected, 13h41m30s, te 0/0/1.11
L       11.1.0.1/32     is directly connected, 13h41m30s, te 0/0/1.11
B BI    20.20.0.0/32     via 100.100.12.1 [200/0], 13h38m05s, te 0/0/5
B BI    22.11.0.0/24     via 100.100.12.1 [200/0], 13h38m05s, te 0/0/5
B BI    22.21.21.0/24    via 100.100.12.1 [200/0], 13h38m05s, te 0/0/5
<..>
```

NOTE

При наличии в системе большого количества маршрутов вывод полной таблицы может занимать значительное время.

show route [vrf VRF] { ipv4 | ipv6 } PREFIX

Данная команда выводит детальную информацию по конкретному префиксу в таблице маршрутизации.

Пример: вывод команды `show route ipv4 PREFIX`

```
0/ME5100:Router# show route ipv4 6.6.6.6/32
Wed Feb  7 00:24:31 2018
Routing entry for 6.6.6.6/32
  Last update: 13h45m39s
  Routing Descriptor Blocks
    100.100.13.0, via te 0/0/6
    Known via isis, distance 116, metric 20
    type isis-level2-internal, protection none, route-type remote

Entries: 1
```

IMPORTANT

В качестве аргумента команда `show route { ipv4 | ipv6 }` принимает только точный маршрут в формате CIDR, имеющийся в таблице маршрутизации. Для выполнения поиска маршрута для какого-либо IP-адреса (т.н. процесс точного поиска маршрута) следует воспользоваться командой `show l3forwarding`.

show route rib summary [detailed]

Команда выводит сводную информацию о количестве маршрутов в системе с указанием их типов/источников.

Пример: вывод команды `'show route rib summary'`:

```
0/ME5100:Router# show route rib summary
Wed Feb  7 00:27:47 2018

Route Source      Routes
-----
static            2
connected         8
local             9
ospf              0
isis              25
bgp               12
lfa               0
summary address   0
default           0
FIB installed     49
```

НАСТРОЙКА ПРОТОКОЛА OSPF

В данной главе описаны принципы настройки протокола динамической маршрутизации OSPFv2 (Open Shortest Path First, version 2).

Данный протокол принадлежит к семейству протоколов состояния соединения и относится к группе IGP (Interior Gateway Protocol).

Принципы конфигурирования протокола OSPFv2

Настройка процесса динамической маршрутизации OSPF производится в разделе конфигурации `router ospfv2`. На устройстве возможно создать только один процесс маршрутизации OSPFv2 (однако для него необходимо задать уникальное имя). Внутри данного конфигурационного блока настраивается OSPFv2 как для глобальной таблицы, так и для имеющихся на маршрутизаторе экземпляров VRF.

Дальнейшая конфигурация также производится иерархически. Внутри таблицы маршрутизации конфигурируются OSPF-зоны (area), в которые уже назначаются логические и физические интерфейсы устройства.

IMPORTANT

По умолчанию ни один из интерфейсов устройства не включен в протокол OSPF. Для запуска протокола OSPF на интерфейсе и/или сабинтерфейсе требуется явно указать этот интерфейс в конфигурации соответствующей зоны внутри процесса OSPFv2.

IMPORTANT

На интерфейсе, сконфигурированном внутри какой-либо зоны OSPF, запускается механизм протокольного обнаружения OSPF — начинается отправка HELLO-пакетов и прием таких пакетов. Исключение составляют т.н. "пассивные" интерфейсы — такие интерфейсы только включаются в состав объявлений OSPF Router links при рассылке протокольных сообщений, соседства через такие интерфейсы не устанавливаются.

Таким образом, последовательность конфигурирования протокола OSPF выглядит следующим образом:

1. Создание процесса маршрутизации.
2. Общая настройка протокола OSPF на устройстве.
3. Создание требуемых OSPF-зон внутри блока процесса маршрутизации и настройка этих зон.
4. Добавление интерфейсов в соответствующие OSPF-зоны.

Базовая настройка протокола OSPFv2

Настройка протокола производится согласно описанной выше иерархии.

Таблица 36. Базовая настройка протокола OSPFv2

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router ospfv2 OSPF_NAME</code>	Создание процесса маршрутизации OSPFv2 с именем <i>OSPF_NAME</i> и переход в режим его настройки.
<code>router-id X.X.X.X</code>	Задание идентификатора узла сети (Router ID) в формате IPv4-адреса.
<code>area Y.Y.Y.Y</code>	Создание в конфигурации OSPF-зоны (area) и переход в режим её настройки. Допускается использование только dotted-нотации. Backbone-зоной является зона с номером 0.0.0.0 .
<code>nssa</code>	(Опционально) Указание текущей зоны в качестве OSPF NSSA ('not-so-stubby area').
<code>stub</code>	(Опционально) Указание текущей зоны в качестве OSPF Stub area.
<code>interface { loopback tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Добавление соответствующего интерфейса (либо сабинтерфейса) в указанную зону OSPF и переход в режим настройки OSPF-параметров этого интерфейса.
<code>dead-interval { minimal SECONDS }</code>	(Опционально) Установка временного интервала — таймаута получения HELLO-пакетов от соседа, по истечении которого сосед на данном интерфейсе будет считаться потерянным. Указание параметра minimal включает режим OSPF fast hello.
<code>hello-interval SECONDS</code>	(Опционально) Установка интервала отправки HELLO-пакетов на текущем интерфейсе, в секундах.
<code>fast-hello-multiplier PACKETS</code>	(Опционально) Установка количества HELLO-пакетов, которые будут отправляться с интерфейса за секунду при работе в режиме OSPF fast hello. Принимает значения 2..20.
<code>metric METRIC</code>	(Опционально) Устанавливает протокольную "стоимость" (иначе — метрику) интерфейса. Принимает значения 0..65535. ВАЖНО: В текущей версии ПО все интерфейсы устройства по умолчанию имеют метрику 10. Назначение метрик на интерфейсы следует производить в соответствии с принятой на сети политикой IGP-маршрутизации.

Команда	Назначение
<code>mtu-ignore</code>	(Опционально) С данным параметром при установлении соседств через интерфейс будет игнорироваться информация о размере MTU в объявлениях соседних маршрутизаторов. Команду следует использовать при невозможности выполнения согласованной настройки MTU на соседних маршрутизаторах.
<code>network { broadcast nbma point-to-multipoint point-to-point }</code>	(Опционально) Указание типа OSPF-подсети на интерфейсе. При использовании типа point-to-multipoint устройство может работать только в пассивном non-broadcast режиме — то есть устанавливать соседство по факту получения unicast HELLO-сообщений от соседей. Возможность инициации соединений к сконфигурированным соседям будет доступна в будущих релизах ПО.
<code>passive</code>	(Опционально) Перевод интерфейса в пассивный режим. В данном режиме интерфейс не отправляет и не принимает HELLO-сообщений и через интерфейс не устанавливается никаких соседств. Режим используется при необходимости анонсировать в OSPF подсеть данного интерфейса (например, для интерфейсов локальной петли <code>loopback</code>).
<code>priority ROUTER_PRIORITY</code>	(Опционально) Установка приоритета маршрутизатора для участия в выборах Designated router. Принимает значения 0..255.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки OSPF-зоны.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки OSPF-процесса.
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

```
router ospfv2 test
  router-id 1.1.1.1
  area 0.0.0.0
    interface tengigabitethernet 0/0/12
      network point-to-point
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/13
      network point-to-point
      metric 20
    exit
    interface loopback 1
      passive
    exit
  exit
  area 0.0.0.100
    stub
    interface bundle-ether 7.400
      network point-to-point
      metric 250
    exit
  exit
exit
```

Настройка OSPF для экземпляра VRF

Для запуска процесса маршрутизации OSPF внутри какого-либо экземпляра VRF необходимо сконфигурировать соответствующий блок `vrf <NAME>` внутри заранее созданного процесса маршрутизации `router ospfv2`. Процесс дальнейшей настройки OSPF внутри VRF идентичен таковому для глобальной таблицы маршрутизации.

NOTE

Процессы маршрутизации для разных VRF работают независимо друг от друга.

Таблица 37. Настройка протокола OSPFv2 для экземпляра VRF

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router ospfv2 OSPF_NAME</code>	Создание процесса маршрутизации OSPFv2 с именем <code>OSPF_NAME</code> и переход в режим его настройки.
<code>vrf VRF_NAME</code>	Запуск процесса маршрутизации OSPFv2 в указанном VRF и переход в режим настройки этого процесса.
<code>router-id X.X.X.X</code>	Задание идентификатора узла сети (Router ID) в формате IPv4-адреса.

Команда	Назначение
<code>area Y.Y.Y.Y</code>	Создание в конфигурации OSPF-зоны (area) и переход в режим её настройки. Допускается использование только dotted-нотации. Backbone-зоной является зона с номером 0.0.0.0 .
<code>nssa</code>	(Опционально) Указание текущей зоны в качестве OSPF NSSA ('not-so-stubby area').
<code>stub</code>	(Опционально) Указание текущей зоны в качестве OSPF Stub area.
<code>interface { loopback tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Добавление соответствующего интерфейса (либо сабинтерфейса) в указанную зону OSPF и переход в режим настройки OSPF-параметров этого интерфейса.
<code>dead-interval { minimal SECONDS }</code>	(Опционально) Установка временного интервала — таймаута получения HELLO-пакетов от соседа, по истечении которого сосед на данном интерфейсе будет считаться потерянным. Указание параметра minimal включает режим OSPF fast hello.
<code>hello-interval SECONDS</code>	(Опционально) Установка интервала отправки HELLO-пакетов на текущем интерфейсе, в секундах.
<code>fast-hello-multiplier PACKETS</code>	(Опционально) Установка количества HELLO-пакетов, которые будут отправляться с интерфейса за секунду при работе в режиме OSPF fast hello. Принимает значения 2..20.
<code>metric METRIC</code>	(Опционально) Устанавливает протокольную "стоимость" (иначе — метрику) интерфейса. Принимает значения 0..65535. ВАЖНО: В текущей версии ПО все интерфейсы устройства по умолчанию имеют метрику 10. Назначение метрик на интерфейсы следует производить в соответствии с принятой на сети политикой IGP-маршрутизации.
<code>mtu-ignore</code>	(Опционально) С данным параметром при установлении соседств через интерфейс будет игнорироваться информация о размере MTU в объявлениях соседних маршрутизаторов. Команду следует использовать при невозможности выполнения согласованной настройки MTU на соседних маршрутизаторах.
<code>network { broadcast nbma point-to-multipoint point-to-point }</code>	(Опционально) Указание типа OSPF-подсети на интерфейсе.

Команда	Назначение
<code>passive</code>	(Опционально) Перевод интерфейса в пассивный режим. В данном режиме интерфейс не отправляет и не принимает HELLO-сообщений и через интерфейс не устанавливается никаких соседств. Режим используется при необходимости анонсировать в OSPF подсеть данного интерфейса (например, для интерфейсов локальной петли <code>loopback</code>).
<code>priority ROUTER_PRIORITY</code>	(Опционально) Установка приоритета маршрутизатора для участия в выборах Designated router. Принимает значения 0..255.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки OSPF-зоны.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки OSPF-процесса внутри VRF.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки OSPF-процесса.
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка OSPFv2 для экземпляра VRF.

```
router ospfv2 test
  vrf EXAMPLE
    area 0.0.0.0
      interface tengigabitethernet 0/0/2
        mtu-ignore
        network point-to-point
      exit
      interface tengigabitethernet 0/0/3
        network point-to-point
        metric 20
      exit
      interface loopback 100
        passive
      exit
    exit
    area 0.0.0.100
      stub
      interface bundle-ether 6.400
        network point-to-point
        metric 250
      exit
    exit
  exit
exit
```

Работа с протоколом BFD

Протокол BFD (Bidirectional forwarding detection) служит для быстрого обнаружения отказов соединений между двумя и более соседними устройствами.

Маршрутизаторы семейства ME имеют аппаратную поддержку BFD, что позволяет максимально быстро обнаруживать обрывы соединений и производить переключение трафика на резервные маршруты.

Включение протокола BFD производится путём выполнения команды `bfd fast-detect` на соответствующем интерфейсе в конфигурационном блоке протокола OSPFv2. При этом маршрутизатор будет пытаться установить BFD-сессии с IP-адресами всех соседей, которых протокол OSPF обнаружит на интерфейсе. В случае успешного установления таких соседств статус OSPF-сессии свяжется со статусом соответствующей BFD-сессии.

Таблица 38. Настройка протокола BFD для OSPF-соседств

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router ospfv2 OSPF_NAME</code>	Создание процесса маршрутизации OSPFv2 с именем <code>OSPF_NAME</code> и переход в режим его настройки.
<code>area Y.Y.Y.Y</code>	Создание в конфигурации OSPF-зоны (area) и переход в режим её настройки.
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Переход в режим настройки OSPF-параметров соответствующего интерфейса.
<code>bfd fast-detect</code>	Включение механизма установления BFD-сессий для всех протокольных OSPF-соседей на данном интерфейсе.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка протокола BFD для OSPF-интерфейса.

```
router ospfv2 test
  router-id 1.1.1.1
  area 0.0.0.0
    interface tengigabitethernet 0/0/5
      bfd fast-detect
    exit
  exit
exit
```

Редистрибуция маршрутной информации

Механизм редистрибуции позволяет передать в OSPF маршруты из других протоколов (протоколов IGP/EIGP, статических маршрутов и т.п.).

По умолчанию маршруты, переданные в OSPF при помощи механизма редистрибуции, имеют тип OSPF External.

Редистрибуция настраивается путём создания набора именованных правил, при помощи которых можно фильтровать маршруты, подлежащие редистрибуции, а также назначать на маршруты параметры, специфичные для OSPF. Для каждого из источников (bgp/connected/local и т.п.) можно создать несколько правил, назначив им приоритет командой **priority** — данные правила будут применяться к маршруту по очереди до первого вхождения. Правила редистрибуции имеют по умолчанию действие "разрешить" — таким образом, пустое правило автоматически производит редистрибуцию всех маршрутов из указанного источника.

Источники редистрибуции:

1. **bgp** — маршрутная таблица протокола BGP;
2. **connected** — маршруты, соответствующие подсетям, назначенным на IP-интерфейсы маршрутизатора в данном VRF (либо GRT);
3. **isis** — маршрутная таблица протокола IS-IS;
4. **local** — маршруты, являющиеся спецификами /32 для адресов, назначенных на IP-интерфейсы маршрутизатора.
5. **static** — статические маршруты.

Таблица 39. Настройка редистрибуции в OSPF маршрутной информации из других протоколов.

Команда	Назначение
configure	Переход в режим глобальной конфигурации.
router ospfv2 <i>OSPF_NAME</i>	Создание процесса маршрутизации OSPFv2 с именем <i>OSPF_NAME</i> и переход в режим его настройки.
redistribution { bgp connected isis local static } <i>RULE_NAME</i>	Создание правила редистрибуции с именем <i>RULE_NAME</i> из указанного источника (bgp/connected/isis/local/static) и переход в режим настройки этого правила.
match prefix <i>IPv4PREFIX/MASK</i>	Указание фильтра, используемого для данного правила. При указании такого фильтра правило будет действовать только на маршруты, строго совпадающие с заданным <i>IPv4PREFIX/MASK</i> .
metric-type { ospf-type1-external ospf-type2-external }	Назначить на маршруты, прошедшие через данное правило, метрику типа "OSPF External 1" либо "OSPF External 2".
metric-value <i>METRIC</i>	Установить значение OSPF-метрики для маршрутов, прошедших через данное правило.

Команда	Назначение
<code>priority RULE_PRIORITY</code>	Установить приоритет данного правила редистрибуции. Правила редистрибуции выполняются по очереди от низкого значения приоритета к высокому и срабатывают по первому вхождению. Таким образом, маршрут, попавший, например, в первое правило, будет передан в OSPF согласно настроек этого правила и не будет обрабатываться последующими правилами.
<code>redistribute disable</code>	Запретить редистрибуцию маршрутов, попавших в текущее правило. При выполнении данной команды текущее правило становится запрещающим.
<code>exit</code>	Выход из режима настройки правила редистрибуции. Далее можно настроить следующие правила — для того же самого источника, либо для других источников редистрибуции.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка процесса OSPF с двумя правилами редистрибуции connected-маршрутов.

```

router ospfv2 test
  router-id 1.1.1.1
  area 0.0.0.0
    interface tengigabitethernet 0/0/5
      bfd fast-detect
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/7
      bfd fast-detect
    exit
    interface loopback 1
      passive
    exit
  exit
  redistribution connected CONNECT-OSPF
    priority 10
    redistribute disable
    match prefix 100.65.0.0/24
  exit
  redistribution connected CONNECT-OSPF-20
    priority 20
    metric-value 300
    metric-type ospf-type1-external
  exit
exit

```

Аутентификация OSPF

Маршрутизаторы семейства ME позволяют использовать аутентификацию OSPF-соседства.

Аутентификация настраивается поинтерфейсно, для её работы необходимо указать требуемый тип командой `'authentication-type'` и задать ключ командой `'authentication-key'`.

Таблица 40. Настройка аутентификации OSPFv2

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router ospfv2 OSPF_NAME</code>	Переход в режим настройки процесса маршрутизации.
<code>area Y.Y.Y</code>	Переход в режим настройки зоны OSPF.
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Переход в режим настройки параметров OSPF требуемого интерфейса.
<code>authentication-type { hmacsha1 hmacsha256 hmacsha384 hmacsha512 md5 none simple-password }</code>	Выбор типа OSPF-аутентификации на интерфейсе — HMAC-SHA1, HMAC-SHA256, HMAC-SHA384, HMAC-SHA512, MD5 либо простой пароль (simple-password). Задание параметра <code>'none'</code> отключает аутентификацию на интерфейсе, что соответствует поведению по умолчанию.
<code>authentication-key { KEY_STRING encrypted KEY_ENCRYPT }</code>	Задание ключа для аутентификации в открытом (<code>KEY_STRING</code>) либо в зашифрованном (<code>KEY_ENCRYPT</code>) виде.
<code>exit</code>	Выход из режима интерфейсных параметров OSPF. Далее можно настроить параметры аутентификации на других требуемых интерфейсах.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка OSPF-аутентификации в режиме MD5 на интерфейсе.

```
router ospfv2 test
  area 0.0.0.0
    interface tengigabitethernet 0/0/5
      authentication-key encrypted B98C224080236D
      authentication-type md5
    exit
  exit
exit
```

NOTE

Все вводимые в открытом виде ключи автоматически шифруются в текущей конфигурации и отображаются в виде **encrypted** *KEY_ENCRYPT*.
Ключи можно переносить в зашифрованном виде между маршрутизаторами ME с одинаковой версией ПО.

Проверка работы OSPF и диагностические команды

show route ospf

Команда выводит маршруты, имеющиеся в таблице маршрутизации, полученные из протокола OSPF.

Пример. show route ospf

```
0/ME5100:Router# show route ospf
```

```
Codes: IA - OSPF inter area, EA - OSPF intra area
```

```
  N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
```

```
  E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
```

```
0 EA  1.1.1.1/32    via 100.100.12.0 [30/2], 06h17m31s, te 0/0/5
```

```
0 EA  4.4.4.4/32    via 100.100.24.0 [30/2], 06h05m51s, te 0/0/6
```

```
0 E1  100.100.13.0/31 via 100.100.12.0 [110/301], 00h02m54s, te 0/0/5
```

```
0 EA  100.100.14.0/31 via 100.100.12.0 [30/2], 06h10m24s, te 0/0/5
```

```
Total route count: 4
```

show ospfv2

Команда выводит общее состояние и статистику по имеющемуся процессу маршрутизации OSPFv2.

```
0/ME5100:Router# show ospfv2
```

```
Routing Process: test, with ID 2.2.2.2
Router is not an area border router
Graceful restart: not-restarting, remaining time: 0, reason: none
OSPF traffic engineering: not supported
The maximum delay before the Routing Table is recalculated: 0
Route max equal cost paths are stored: 5
External lsa refresh interval: 1800
LSA timers (ms): 5000 min interval, 1000 min arrival, 0 hold interval, 0 max
interval
Number of new LSA originated: 118
Number of new LSA received: 85
Number of external LSA (LS type 5): 3, checksum: 0x0001E204
Number of type-11 LSAs in the external database (opaque): 0, checksum: 0x00000000
Number of LSA in LSD at checksum checked: 0
Number of updates 0 pending, 0 merged
Number errors:
    instance id: 0, bad IP header length: 0
    header length: 0, bad IP header length: 0
    no virtual link: 0, version: 0
    bad source: 0, resource errors: 0
Number of packets received have been dropped: 0

Area 0.0.0.0, up
Area can carry data traffic: false
SPF algorithm executed 19 times
Number of number of area border routers: 0, Autonomous routers: 3
Number of Translator State changes: 0
NSSA Border router state: disabled
Number of LSA (LS type-1) count: 3, checksum: 0x0000A0E7
Number of LSA with LS type-2 count: 3
Number of LSA with LS type-3 count: 0, checksum: 0x00000000
Number of LSA with LS type-4 count: 0, checksum: 0x00000000
Number of LSA with LS type-7 (NSSA) count: 0, checksum: 0x00000000
Number of LSA with LS type-10 (opaque) count: 0, checksum: 0x00000000
Number of with LS type-7 (NSSA): 0, checksum: 0x00000000
Total number of LSA: 6, checksum: 0x00016D09

Number of interfaces in this area is: 3
```

show ospfv2 database

Команда выводит содержимое OSPF LSDB для экземпляра VRF либо для глобальной таблицы маршрутизации. При указании параметра **'detailed'** будет выводиться детальное содержимое имеющихся LSA.

При указании типа LSA будут выведены только LSA соответствующего типа.

Пример. `show ospfv2 database`

```
0/ME5100:Router# show ospfv2 database
```

```
Routing Process: test, with ID 2.2.2.2
```

```
Area Link State Database:
```

Link ID Type	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Area
-----	-----	-----	-----	-----	-----
1.1.1.1 router-lsa	1.1.1.1	00:14:16	0x80000034	0x00003E58	0.0.0.0
2.2.2.2 router-lsa	2.2.2.2	00:02:25	0x80000036	0x00004C27	0.0.0.0
4.4.4.4 router-lsa	4.4.4.4	00:09:45	0x80000011	0x00001668	0.0.0.0
100.100.12.1 network-lsa	2.2.2.2	00:21:42	0x80000030	0x00000B37	0.0.0.0
100.100.14.1 network-lsa	1.1.1.1	00:14:16	0x8000000D	0x00008DD1	0.0.0.0
100.100.24.1 network-lsa	2.2.2.2	00:14:23	0x8000000D	0x0000331A	0.0.0.0

```
Link State Database:
```

```
External Link States:
```

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Type
-----	-----	-----	-----	-----	-----
100.100.12.0	1.1.1.1	00:06:50	0x80000001	0x0000ABA2	external-lsa
100.100.13.0	1.1.1.1	00:06:50	0x80000001	0x0000A0AC	external-lsa
100.100.14.0	1.1.1.1	00:06:50	0x80000001	0x000095B6	external-lsa

show ospfv2 neighbors

Команда выводит в табличном виде список активных OSPFv2-соседей.

При указании параметра '**detailed**' будет выводиться детальная информация по соседям.

Пример. *show ospfv2 neighbors*

```
0/ME5100:Router# show ospfv2 neighbors
```

```
Routing Process: test, with ID 2.2.2.2
```

```
Router is not an area border router
```

Neighbor ID Address	Area ID Interface	Pri	State	BFD	Dead Time
1.1.1.1	0.0.0.0	1	full-BDR	active	00:00:35
100.100.12.0	te 0/0/5				
4.4.4.4	0.0.0.0	1	full-BDR	active	00:00:30
100.100.24.0	te 0/0/6				

show ospfv2 interfaces

Команда выводит состояние и статистику по интерфейсам, участвующим в процессе OSPFv2.

```
0/ME5100:Router# show ospfv2 interfaces
```

```
Routing Process: test, with ID 2.2.2.2
```

```
Router is not an area border router
```

```
Interface Loopback 1, state: designated-router, status: up
```

```
Area 0.0.0.0, configured metric: 1
```

```
Changed state: 2 time, Administrative group 0
```

```
Designated Router IP addr: 2.2.2.2
```

```
Backup Designated Router IP addr: 0.0.0.0
```

```
Subnet mask: 255.255.255.255
```

```
Remote peer index: 0
```

```
Number of LSA count: 0, checksum: 0x00000000
```

```
Interface Tengiabitethernet 0/0/5, state: designated-router, status: up
```

```
Area 0.0.0.0, configured metric: 1
```

```
Changed state: 2 time, Administrative group 0
```

```
Designated Router IP addr: 100.100.12.1
```

```
Backup Designated Router IP addr: 100.100.12.0
```

```
Subnet mask: 255.255.255.254
```

```
Remote peer index: 0
```

```
Number of LSA count: 0, checksum: 0x00000000
```

```
Interface Tengiabitethernet 0/0/6, state: designated-router, status: up
```

```
Area 0.0.0.0, configured metric: 1
```

```
Changed state: 2 time, Administrative group 0
```

```
Designated Router IP addr: 100.100.24.1
```

```
Backup Designated Router IP addr: 100.100.24.0
```

```
Subnet mask: 255.255.255.254
```

```
Remote peer index: 0
```

```
Number of LSA count: 0, checksum: 0x00000000
```

```
Interface Tengiabitethernet 0/0/7, state: down, status: down
```

```
Area 0.0.0.0, configured metric: 1
```

```
Changed state: 0 time, Administrative group 0
```

```
Designated Router IP addr: 0.0.0.0
```

```
Backup Designated Router IP addr: 0.0.0.0
```

```
Subnet mask: 255.255.255.254
```

```
Remote peer index: 0
```

```
Number of LSA count: 0, checksum: 0x00000000
```

НАСТРОЙКА ПРОТОКОЛА IS-IS

В данной главе описаны принципы настройки протокола динамической маршрутизации IS-IS (Intermediate System to Intermediate System).

Данный протокол принадлежит к семейству протоколов состояния соединения и относится к группе IGP (Interior Gateway Protocol).

Принципы конфигурирования протокола IS-IS.

Настройка процесса динамической маршрутизации IS-IS производится в разделе конфигурации `router isis`. На устройстве возможно создать только один процесс маршрутизации IS-IS (однако для него необходимо задать уникальное имя). Внутри данного конфигурационного блока настраивается IS-IS как для глобальной таблицы, так и для имеющихся на маршрутизаторе экземпляров VRF.

Дальнейшая конфигурация также производится иерархически.

Внутри таблицы маршрутизации конфигурируются параметры IS-IS (NET, level всей системы, IS-IS hostname и т.п.), а также добавляются интерфейсы, которые будут участвовать в маршрутизации IS-IS.

IMPORTANT

По умолчанию ни один из интерфейсов устройства не включен в протокол IS-IS. Для запуска протокола IS-IS на интерфейсе и/или сабинтерфейсе требуется явно указать этот интерфейс в конфигурации процесса IS-IS.

IMPORTANT

На интерфейсе, сконфигурированном внутри процесса IS-IS, запускается механизм протокольного обнаружения IS-IS — начинается отправка пакетов IS-IS Hello и прием таких пакетов. Исключение составляют т.н. "пассивные" интерфейсы — такие интерфейсы только включаются в адресные TLV в пакетах LSP, соседства через такие интерфейсы не устанавливаются.

Последовательность конфигурирования протокола IS-IS выглядит следующим образом:

1. Создание процесса маршрутизации IS-IS.
2. Общая настройка протокола IS-IS на устройстве.
3. Добавление и настройка интерфейсов в соответствующие таблицы маршрутизации.

Базовая настройка протокола IS-IS

Настройка протокола производится согласно описанной выше иерархии.

Для базовой работоспособности системы необходимо указать параметр `'net'` (IS-IS Network Entity Title) и выбрать тип метрики (**narrow** либо **wide**) для используемых на маршрутизаторе уровней IS. Также рекомендуется задать параметр `'host-name'` и, в случае использования только одного из уровней IS, выбрать соответствующий уровень общей

настройкой 'is-level'.

Таблица 41. Базовая настройка протокола IS-IS

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router isis ISIS_NAME</code>	Создание процесса маршрутизации IS-IS с именем <i>ISIS_NAME</i> и переход в режим его настройки.
<code>net NET</code>	Задание системного IS-IS Network Entity Title (NET) в формате XX.XXXX.XXXX.XXXX.XXXX.00. Данный параметр уникально идентифицирует систему во всем IS-IS-домене.
<code>is-level { level-1 level-1-2 level-2 }</code>	(Опционально) Выбор уровня IS, в котором будет работать система. По умолчанию используется значение 'level-1-2'.
<code>host-name HOSTNAME</code>	(Опционально) Задание IS-IS hostname — имени узла, которое будет указываться в соответствующих TLV служебных пакетов IS-IS. По умолчанию используется системное имя устройства ('hostname').
<code>level { level-1 level-2 }</code>	Переход в режим настройки параметров уровня 1 или уровня 2 (для обоих уровней параметры настраиваются одинаково).
<code>metric-style { wide narrow both }</code>	(Опционально) Выбор режима метрики для текущего уровня IS-IS. По умолчанию используется режим "both".
<code>set-overload-bit on-startup SECONDS</code>	(Опционально) При указании данного параметра при старте процесса IS-IS в системе будет устанавливаться флаг "IS-IS overload bit" на <i>SECONDS</i> секунд после запуска.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки процесса IS-IS.
<code>interface { loopback tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Добавление соответствующего интерфейса (либо сабинтерфейса) в процесс IS-IS и переход в режим настройки параметров протокола IS-IS для этого интерфейса.
<code>address-family { ipv4 ipv6 } unicast</code>	Включение работы IS-IS с IPv4 или IPv6 на данном интерфейсе и переход в режим конфигурирования соответствующей AFI/SAFI. Важно: в большинстве применений данная команда является обязательной — для корректного включения интерфейса в IP-маршрутизацию протокола IS-IS потребуется указать <code>ipv4 unicast</code> , <code>ipv6 unicast</code> или обе AFI/SAFI.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки интерфейса IS-IS.

Команда	Назначение
<code>circuit-level { level-1 level-1-2 level-2 }</code>	(Опционально) Указание уровня IS, к которому относится данный интерфейс. Интерфейс по умолчанию работает на всех (и только на тех) уровнях, которые заданы общей настройкой '<code>is-level</code>'. Команда же '<code>circuit-level</code>' позволяет выбрать среди системных уровней тот, который требуется для конкретного интерфейса. Практическое применение команда имеет в том случае, когда задан '<code>is-level level-1-2</code>' — в таком случае командой '<code>circuit-level</code>' можно выбрать для интерфейса либо level-1, либо level-2. Интерфейсные параметры соответствующего уровня настраиваются интерфейсной командой '<code>level</code>' (см.далее).
<code>level { level-1 level-2 }</code>	Переход в режим настройки IS-IS параметров интерфейса соответствующего уровня. Доступные настройки в данном режиме одинаковы для обоих уровней IS, однако конфигурируются для каждого уровня отдельно.
<code>csnp-interval SECONDS</code>	(Опционально) Задание интервала между отправками пакетов CSNP.
<code>hello-multiplier MULT</code>	(Опционально) Задание количества потерянных IS-IS Hello, после которых сосед на данном интерфейсе будет считаться потерянным.
<code>hello-timer SECONDS</code>	(Опционально) Задание интервала отправки IS-IS Hello.
<code>lsp-interval MSEC</code>	(Опционально) Задание интервала между отправками пакетов LSP.
<code>metric METRIC</code>	(Опционально) Указание протокольной метрики (стоимости) интерфейса.
<code>priority PRIO</code>	(Опционально) Указание приоритета устройства при выборах DR на данном интерфейсе.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки интерфейса IS-IS.
<code>passive</code>	(Опционально) Перевод интерфейса в пассивный режим. В данном режиме интерфейс не отправляет и не принимает ПН-сообщений и через интерфейс не устанавливается никаких соседств. Режим используется при необходимости анонсировать в IS-IS подсеть данного интерфейса (например, для интерфейсов локальной петли <code>loopback</code>).

Команда	Назначение
<code>point-to-point</code>	(Опционально) Включение на интерфейсе режима "IS-IS Point-to-point". В данном режиме не производятся выборы DR и не создаются псевдоноды. Следует следить за тем, чтобы режим интерфейса был задан одинаково для обоих концов IS-IS соединения.
<code>shutdown</code>	(Опционально) Отключает протокол IS-IS на указанном интерфейсе полностью. Команда имеет практическое применение в тех случаях, когда требуется временно исключить интерфейс из IS-IS, сохранив при этом всю его конфигурацию.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки процесса IS-IS. Далее можно включить в IS-IS и настроить параметры других требуемых интерфейсов.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Базовая настройка протокола IS-IS

```
router isis test
  is-level level-2
  net 49.0001.0010.0100.1001.00
  host-name Router
  level level-2
    metric-style wide
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/5
    point-to-point
    bfd fast-detect ipv4
    hello-padding disable
    address-family ipv4 unicast
    exit
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/7
    point-to-point
    bfd fast-detect ipv4
    hello-padding disable
    address-family ipv4 unicast
    exit
  exit
  interface loopback 1
    passive
    address-family ipv4 unicast
    exit
  exit
exit
```

Настройка IS-IS для экземпляра VRF

Для запуска процесса маршрутизации IS-IS внутри какого-либо экземпляра VRF необходимо сконфигурировать соответствующий блок `vrf <NAME>` внутри заранее созданного процесса маршрутизации `router isis`. Процесс дальнейшей настройки IS-IS внутри VRF идентичен таковому для глобальной таблицы маршрутизации.

NOTE

Процессы маршрутизации для разных VRF работают независимо друг от друга.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router isis ISIS_NAME</code>	Создание процесса маршрутизации IS-IS с именем <i>ISIS_NAME</i> и переход в режим его настройки.
<code>vrf VRF_NAME</code>	Запуск процесса маршрутизации IS-IS в указанном VRF и переход в режим настройки этого процесса.
<code>net NET</code>	Задание системного IS-IS Network Entity Title (NET) в формате XX.XXXX.XXXX.XXXX.XXXX.00. Данный параметр уникально идентифицирует систему во всем IS-IS-домене.
<code>is-level { level-1 level-1-2 level-2 }</code>	(Опционально) Выбор уровня IS, в котором будет работать система. По умолчанию используется значение 'level-1-2'.
<code>host-name HOSTNAME</code>	(Опционально) Задание IS-IS hostname — имени узла, которое будет указываться в соответствующих TLV служебных пакетов IS-IS. По умолчанию используется системное имя устройства ('hostname').
<code>level { level-1 level-2 }</code>	Переход в режим настройки параметров уровня 1 или уровня 2 (для обоих уровней параметры настраиваются одинаково).
<code>metric-style { wide narrow both }</code>	(Опционально) Выбор режима метрики для текущего уровня IS-IS. По умолчанию используется режим "both".
<code>set-overload-bit on-startup SECONDS</code>	(Опционально) При указании данного параметра при старте процесса IS-IS в системе будет устанавливаться флаг "IS-IS overload bit" на <i>SECONDS</i> секунд после запуска.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки процесса IS-IS.
<code>interface { loopback tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Добавление соответствующего интерфейса (либо сабинтерфейса) в процесс IS-IS и переход в режим настройки параметров протокола IS-IS для этого интерфейса.

Команда	Назначение
<code>address-family { ipv4 ipv6 } unicast</code>	Включение работы IS-IS с IPv4 или IPv6 на данном интерфейсе и переход в режим конфигурирования соответствующей AFI/SAFI. Важно: в большинстве применений данная команда является обязательной — для корректного включения интерфейса в IP-маршрутизацию протокола IS-IS потребуется указать <code>ipv4 unicast</code>, <code>ipv6 unicast</code> или обе AFI/SAFI.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки интерфейса IS-IS.
<code>circuit-level { level-1 level-1-2 level-2 }</code>	(Опционально) Указание уровня IS, к которому относится данный интерфейс. Интерфейс по умолчанию работает на всех (и только на тех) уровнях, которые заданы общей настройкой '<code>is-level</code>'. Команда же '<code>circuit-level</code>' позволяет выбрать среди системных уровней тот, который требуется для конкретного интерфейса. Практическое применение команда имеет в том случае, когда задан '<code>is-level level-1-2</code>' — в таком случае командой '<code>circuit-level</code>' можно выбрать для интерфейса либо level-1, либо level-2. Интерфейсные параметры соответствующего уровня настраиваются интерфейсной командой '<code>level</code>' (см.далее).
<code>level { level-1 level-2 }</code>	Переход в режим настройки IS-IS параметров интерфейса соответствующего уровня. Доступные настройки в данном режиме одинаковы для обоих уровней IS, однако конфигурируются для каждого уровня отдельно.
<code>csnp-interval SECONDS</code>	(Опционально) Задание интервала между отсылками пакетов CSNP.
<code>hello-multiplier MULT</code>	(Опционально) Задание количества потерянных IS-IS Hello, после которых сосед на данном интерфейсе будет считаться потерянным.
<code>hello-timer SECONDS</code>	(Опционально) Задание интервала отправки IS-IS Hello.
<code>lsp-interval MSEC</code>	(Опционально) Задание интервала между отсылками пакетов LSP.
<code>metric METRIC</code>	(Опционально) Указание протокольной метрики (стоимости) интерфейса.
<code>priority PRIO</code>	(Опционально) Указание приоритета устройства при выборах DR на данном интерфейсе.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки интерфейса IS-IS.

Команда	Назначение
<code>passive</code>	(Опционально) Перевод интерфейса в пассивный режим. В данном режиме интерфейс не отправляет и не принимает ПН-сообщений и через интерфейс не устанавливается никаких соседств. Режим используется при необходимости анонсировать в IS-IS подсеть данного интерфейса (например, для интерфейсов локальной петли <code>loopback</code>).
<code>point-to-point</code>	(Опционально) Включение на интерфейсе режима "IS-IS Point-to-point". В данном режиме не производятся выборы DR и не создаются псевдоноды. Следует следить за тем, чтобы режим интерфейса был задан одинаково для обоих концов IS-IS соединения.
<code>shutdown</code>	(Опционально) Отключает протокол IS-IS на указанном интерфейсе полностью. Команда имеет практическое применение в тех случаях, когда требуется временно исключить интерфейс из IS-IS, сохранив при этом всю его конфигурацию.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки процесса IS-IS внутри VRF. Далее можно включить в IS-IS и настроить параметры других требуемых интерфейсов.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

IMPORTANT

Соответствующий экземпляр VRF должен быть заранее создан в конфигурации маршрутизатора.

Пример. Настройка IS-IS в экземпляре VRF.

```
vrf l3-1
  rd 100:31
  import route-target 100:31
  export route-target 100:31
exit

interface tengigabitethernet 0/0/17.10004000
  vrf l3-1
  description "Some example interface"
  ipv4 address 100.64.0.0/31
  encapsulation outer-vid 1000 inner-vid 4000
exit

router isis test
  vrf l3-1
  is-level level-1
  net 49.0001.0010.0100.1001.00
  host-name AR1
  level level-1
  metric-style wide
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/17.10004000
    point-to-point
    address-family ipv4 unicast
    exit
  exit
exit
exit
```

Работа с протоколом BFD

Протокол BFD (Bidirectional forwarding detection) служит для быстрого обнаружения отказов соединений между двумя и более соседними устройствами.

Маршрутизаторы семейства ME имеют аппаратную поддержку BFD, что позволяет максимально быстро обнаруживать обрывы соединений и производить переключение трафика на резервные маршруты.

Включение протокола BFD производится путём выполнения команды **bfd fast-detect** на соответствующем интерфейсе в конфигурационном блоке протокола IS-IS. При этом маршрутизатор будет пытаться установить BFD-сессии с IP-адресами всех соседей, которых протокол IS-IS обнаружит на интерфейсе. В случае успешного установления таких соседств статус сессии IS-IS свяжется со статусом соответствующей BFD-сессии.

Таблица 42. Настройка протокола BFD для OSPF-соседств

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router isis ISIS_NAME</code>	Создание процесса маршрутизации IS-IS с именем <i>ISIS_NAME</i> и переход в режим его настройки.
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Переход в режим настройки параметров протокола IS-IS требуемого интерфейса.
<code>bfd fast-detect { ipv4 ipv6 }</code>	Включение механизма установления BFD-сессий для всех протокольных соседей IS-IS на данном интерфейсе.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Включение протокола BFD на ранее сконфигурированном интерфейсе IS-IS.

```
router isis test
  interface tengigabitethernet 0/0/5
    bfd fast-detect ipv4
  exit
exit
```

Редистрибуция маршрутной информации

Механизм редистрибуции позволяет передать в IS-IS маршруты из других протоколов (протоколов IGP/EGP, статических маршрутов и т.п.).

Редистрибуция настраивается путём создания набора именованных правил, при помощи которых можно фильтровать маршруты, подлежащие редистрибуции, а также назначать на маршруты параметры, специфичные для протокола IS-IS. Для каждого из источников (bgp/connected/local и т.п.) можно создать несколько правил, назначив им приоритет командой `priority` — при редистрибуции маршрута данные правила будут применяться к нему по очереди до первого срабатывания. Правила редистрибуции имеют по умолчанию действие "разрешить" — таким образом, пустое правило автоматически производит редистрибуцию всех маршрутов из указанного источника.

Источники редистрибуции:

1. **bgp** — маршрутная таблица протокола BGP;
2. **connected** — маршруты, соответствующие подсетям, назначенным на IP-интерфейсы маршрутизатора в данном VRF (либо GRT);
3. **ospf** — маршрутная таблица протокола OSPF;
4. **local** — маршруты, являющиеся спецификами /32 для адресов, назначенных на IP-интерфейсы маршрутизатора.
5. **static** — статические маршруты.

Таблица 43. Настройка редистрибуции в IS-IS маршрутной информации из других протоколов.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router isis <i>ISIS_NAME</i></code>	Переход в режим настройки процесса маршрутизации IS-IS с именем <i>ISIS_NAME</i> .
<code>address-family ipv4 unicast</code>	Переход в режим настройки параметров адресного семейства IPv4 unicast.
<code>redistribution { bgp connected ospf local static } <i>RULE_NAME</i></code>	Создание правила редистрибуции с именем <i>RULE_NAME</i> из указанного источника (bgp/connected/ospf/local/static) и переход в режим настройки этого правила.
<code>match prefix <i>IPv4PREFIX/MASK</i></code>	Указание фильтра, используемого для данного правила. При указании такого фильтра правило будет действовать только на маршруты, строго совпадающие с заданным <i>IPv4PREFIX/MASK</i> .
<code>metric-type { isis-level1-external isis-level1-internal isis-level2-external isis-level2-internal }</code>	Назначить на маршруты, прошедшие через данное правило, метрику соответствующего типа.
<code>metric-value <i>METRIC</i></code>	Установить значение метрики для маршрутов, прошедших через данное правило.
<code>priority <i>RULE_PRIORITY</i></code>	Установить приоритет данного правила редистрибуции. Правила редистрибуции выполняются по очереди от низкого значения приоритета к высокому и срабатывают по первому вхождению. Таким образом, маршрут, попавший, например, в первое правило, будет передан в IS-IS согласно настроек этого правила и не будет обрабатываться последующими правилами.
<code>redistribute disable</code>	Запретить редистрибуцию маршрутов, попавших в текущее правило. При выполнении данной команды текущее правило становится запрещающим.
<code>exit</code>	Выход из режима настройки правила редистрибуции. Далее можно настроить следующие правила — для того же самого источника, либо для других источников редистрибуции.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка процесса IS-IS с двумя правилами редистрибуции connected-маршрутов.

```
router isis eltex-test
 is-level level-2
 net 49.0001.0010.0100.1001.00
 host-name Router
 level level-2
  metric-style wide
 exit
 address-family ipv4 unicast
  redistribution connected CONN-ISIS
  match prefix 100.65.0.0/24
  priority 10
  redistribute disable
 exit
 redistribution connected CONN-ISIS-20
  priority 20
  metric-value 300
  metric-type isis-level1-internal
 exit
 exit
 interface tengigabitethernet 0/0/5
  point-to-point
  bfd fast-detect ipv4
  hello-padding disable
  address-family ipv4 unicast
  exit
 exit
 interface tengigabitethernet 0/0/7
  point-to-point
  bfd fast-detect ipv4
  hello-padding disable
  address-family ipv4 unicast
  exit
 exit
 interface loopback 1
  passive
  address-family ipv4 unicast
  exit
 exit
 exit
```

Аутентификация IS-IS

Маршрутизаторы семейства ME позволяют использовать аутентификацию в протоколе IS-IS.

Для протокола IS-IS поддерживается два вида аутентификации:

- Глобальная аутентификация уровня (*level*) — настраивается в разделе '*level*' блока

```
'router isis';
```

- Аутентификация соседства — настраивается поинтерфейсно в блоке 'router isis'.

Для использования каждого перечисленных видов необходимо указать требуемый тип командой 'authentication-type' и задать ключ командой 'authentication-key'.

Таблица 44. Настройка глобальной аутентификации уровня IS-IS.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router isis ISIS_NAME</code>	Переход в режим настройки процесса маршрутизации IS-IS с именем <i>ISIS_NAME</i> .
<code>level { level-1 level-2 }</code>	Переход в режим настройки параметров уровня 1 или уровня 2 (для обоих уровней параметры настраиваются одинаково).
<code>authentication-type { hmacsha1 hmacsha256 hmacsha384 hmacsha512 md5 none simple-password }</code>	Выбор типа аутентификации для выбранного уровня IS-IS — HMAC-SHA1, HMAC-SHA256, HMAC-SHA384, HMAC-SHA512, MD5 либо простой пароль (simple-password). Задание параметра 'none' отключает аутентификацию для уровня, что соответствует поведению по умолчанию.
<code>authentication-key { KEY_STRING encrypted KEY_ENCRYPT }</code>	Задание ключа для аутентификации в открытом (<i>KEY_STRING</i>) либо в зашифрованном (<i>KEY_ENCRYPT</i>) виде.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Таблица 45. Настройка аутентификации соседства IS-IS.

Команда	Назначение
<code>router isis ISIS_NAME</code>	Переход в режим настройки процесса маршрутизации IS-IS с именем <i>ISIS_NAME</i> .
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Переход в режим настройки параметров протокола IS-IS требуемого интерфейса.
<code>authentication-type { hmacsha1 hmacsha256 hmacsha384 hmacsha512 md5 none simple-password }</code>	Выбор типа аутентификации для соседства на текущем интерфейсе — HMAC-SHA1, HMAC-SHA256, HMAC-SHA384, HMAC-SHA512, MD5 либо простой пароль (simple-password). Задание параметра 'none' отключает аутентификацию соседства на интерфейсе, что соответствует поведению по умолчанию.
<code>authentication-key { KEY_STRING encrypted KEY_ENCRYPT }</code>	Задание ключа для аутентификации в открытом (<i>KEY_STRING</i>) либо в зашифрованном (<i>KEY_ENCRYPT</i>) виде.

Команда	Назначение
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Включение интерфейсной аутентификации IS-IS и аутентификации соседства на интерфейсе.

```
router isis test
 level level-2
   metric-style wide
   authentication-key level-password
   authentication-type hmacsha1
exit
interface tengigabitethernet 0/0/7
 authentication-key neighbor-password
 authentication-type hmac-md5
exit
exit
```

NOTE

При несовпадении ключей/типов аутентификации соседства между двумя маршрутизаторами не будет устанавливаться соседство (аутентификация распространяется на пакеты ISIS Hello).

При несовпадении ключей/типов аутентификации уровня маршрутизаторы могут установить соседство друг с другом, однако не могут передавать друг другу маршрутную информацию (аутентификация распространяется на пакеты LSP/CSNP/PSNP).

Проверка работы IS-IS и диагностические команды

show route isis

Команда выводит маршруты, имеющиеся в таблице маршрутизации, полученные из протокола IS-IS.

Пример. show route isis

```
0/ME5100:Router# show route isis
Tue Jun 12 00:44:30 2018
Codes: i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       LE1 - ISIS level1 external, LE2 - ISIS level2 external

i L2   4.4.4.4/32    via 100.100.14.0 [116/10], 00h12m42s, te 0/0/7
i L2   100.100.24.0/31 via 100.100.14.0 [116/20], 00h12m42s, te 0/0/7

Total route count: 2
```

show isis

Команда выводит общее состояние и статистику по имеющемуся процессу маршрутизации IS-IS.

Пример. show isis

```
0/ME5100:Router# show isis

IS-IS Router eltex-test
System Id: 0010.0100.1001
IS Levels: level-2
Net: 49.0001.0010.0100.1001.00
Hostname: AR1
LSP full-suppress: external
LSP refresh-interval: 900 secs
LSP max-lifetime: 1200 secs
Area-address: 49.0001
Topologies supported by IS-IS:
  IPv4 Unicast
    level-2
    Metric style (generate/accept): wide
  Redistributed ipv4 unicast:
    none bgp redistributed
    none ospf redistributed
    none static redistributed
    Connected routes redistribution is enabled via 'CONN-ISIS' rule
    Connected routes redistribution is enabled via 'CONN-ISIS-20' rule
  Redistributed ipv6 unicast:
    none bgp redistributed
    none ospf redistributed
    none static redistributed
    none connected redistributed
  Interfaces supported by IS-IS
    Tengigabitethernet 0/0/5 is up (active in configuration)
    Tengigabitethernet 0/0/6 is down (active in configuration)
    Tengigabitethernet 0/0/7 is up (active in configuration)
    Loopback 1 is up (passive in configuration)
```

show isis database

Команда выводит содержимое базы данных IS-IS для экземпляра VRF либо для глобальной таблицы маршрутизации. При указании параметра **'detailed'** будет выводиться детальное содержимое имеющихся LSP.

Пример. *show isis database.*

```
0/ME5100:Router# show isis database
```

```
IS-IS Router test
```

```
IS-IS level-2 link-state database
```

LSP ID	Sequence	Checksum	Lifetime (sec)	PDU length	Attributes
0010.0100.1001.00-00	0x11ab	0x632d	986	66	level-2
0010.0100.1001.00-01	0x11a8	0xa71b	517	57	level-2
0010.0100.1001.00-02	0x11c9	0xd0f7	492	116	level-2
0040.0400.4004.00-00	0x11ac	0x24e6	726	66	level-2
0040.0400.4004.00-01	0x119f	0x57b1	719	64	level-2
0040.0400.4004.00-02	0x11bd	0x7848	692	116	level-2

```
Total LSPs: 6
```

show isis neighbors

Команда выводит в табличном виде список активных соседей протокола IS-IS.

Пример. *show isis neighbors.*

```
0/ME5100:Router# show isis neighbors
```

```
IS-IS Router test adjacency:
```

System Id	Hostname	Interface	State	Type	SNPA
0040.0400.4004	DR1-me5000	te 0/0/7	up	level-2	
A8F9.4B8B.2031	19	true up			

show isis interfaces

Команда выводит состояние интерфейсов, участвующих в процессе маршрутизации IS-IS.

Пример. show isis interfaces.

```
0/ME5100:Router# show isis interfaces tengigabitethernet 0/0/7

IS-IS Router eltex-test interface:

Tengigabitethernet 0/0/7
  Last up: 02w05d16h ago
  BFD Fast detect: IPv4 enabled, IPv6 disabled
  Operation state: up
  Disabled creating neighborhood on this interface: false
  Circuit 3 way: enabled
  Extended circuit id: 8
  T1 timer status: stopped
  Media Type: p2p

  IPv4 Address Family: enabled
  IPv6 Address Family: disabled

  Circuit level: level-2 (Interface circuit type is level-1-2)
  Level one:
    ID: 0010.0100.1001, ID Hostname: Router, DR ID: none, Designated Hostname: none,
  Configured metric: 10
  Level two:
    ID: 0040.0400.4004, ID Hostname: DR1-me5000, DR ID: none, Designated Hostname:
  none, Configured metric: 10
```

show isis interfaces statistics

Команда выводит детальную протокольную статистику по интерфейсам, участвующим в процессе маршрутизации IS-IS.

Пример. show isis interfaces statistics.

```
0/ME5100:Router# show isis interfaces statistics

IS-IS Router test

Interface: Tengigabitethernet 0/0/7
  Level one:
    Hello IS-IS PDUs: 0 received, 0 sent
    Hello ES-IS PDUs: 0 received, 0 sent
    Hello ES PDUs: 0 received, 0 sent
    LSP: 0 received, 0 sent
    CSNP: 0 received, 0 sent
    PSNP: 0 received, 0 sent
    Unknown packet: 0 received, 0 sent
    Discarded: 0 received
    Discarded: 0 received
    Discarded: 0 received
```

```
Discarded: 0 received
Level two:
Hello IS-IS PDUs: 215280 received, 215898 sent
Hello ES-IS PDUs: 0 received, 0 sent
Hello ES PDUs: 0 received, 0 sent
LSP: 6465 received, 7563 sent
CSNP: 169554 received, 169559 sent
PSNP: 6770 received, 6438 sent
Unknown packet: 0 received, 0 sent
Discarded: 0 received
Discarded: 0 received
Discarded: 0 received
Discarded: 0 received

Interface: Loopback 1
Level one:
Hello IS-IS PDUs: 0 received, 0 sent
Hello ES-IS PDUs: 0 received, 0 sent
Hello ES PDUs: 0 received, 0 sent
LSP: 0 received, 0 sent
CSNP: 0 received, 0 sent
PSNP: 0 received, 0 sent
Unknown packet: 0 received, 0 sent
Discarded: 0 received
Discarded: 0 received
Discarded: 0 received
Discarded: 0 received

Level two:
Hello IS-IS PDUs: 0 received, 0 sent
Hello ES-IS PDUs: 0 received, 0 sent
Hello ES PDUs: 0 received, 0 sent
LSP: 0 received, 0 sent
CSNP: 0 received, 0 sent
PSNP: 0 received, 0 sent
Unknown packet: 0 received, 0 sent
Discarded: 0 received
Discarded: 0 received
Discarded: 0 received
Discarded: 0 received
```

show isis statistics

Команда выводит общую статистику по уровням IS-IS.

Пример. show isis statistics.

```
0/ME5100:Router# show isis statistics
```

```
IS-IS Router eltex-test
```

```
Level one:
```

```
Overload state: off
Corrupted lsps: 0
Authentication mismatches: 0 failures: 0
LSP db overloaded: 0 times
Manual address dropped: 0 times
Exceed max sequence number: 0 times - exceeded
Sequence number skipped: 0 times
Zero-aged copy LSP received: 0 times
Diff PDU id received: 0 times
SPF ran at level: 0 times
Partition changes: 0
Errors: 0 lsp, 0 csnp, 0 psnp
LSP: 2 count, 0 in queue
LSP: 6 fragments rebuilt, 0 retransmitted
LSP: 9051 regenerated, 0 purges
LSP initiated: 0 locally, 0 remotely
LSP initiated: 0 due SNP, 0 originated remotely (expired)
LSP initiated: 0 originated remotely (peer restart)
```

```
Level two:
```

```
Overload state: on
Corrupted lsps: 0
Authentication mismatches: 0 failures: 0
LSP db overloaded: 1 times
Manual address dropped: 0 times
Exceed max sequence number: 0 times - exceeded
Sequence number skipped: 0 times
Zero-aged copy LSP received: 0 times
Diff PDU id received: 0 times
SPF ran at level: 3976 times
Partition changes: 0
Errors: 0 lsp, 0 csnp, 0 psnp
LSP: 6 count, 0 in queue
LSP: 23 fragments rebuilt, 6 retransmitted
LSP: 13577 regenerated, 3 purges
LSP initiated: 0 locally, 3 remotely
LSP initiated: 0 due SNP, 3 originated remotely (expired)
LSP initiated: 0 originated remotely (peer restart)
```

НАСТРОЙКА ПРОТОКОЛА BGP

В данной главе описан процесс настройки протокола динамической маршрутизации BGP (Border Gateway Protocol).

Принципы конфигурирования протокола BGP

Настройка BGP-процесса

Настройка процесса динамической маршрутизации BGP производится в разделе конфигурации `'router bgp <ASN>'`. На устройстве возможно создать только один процесс маршрутизации BGP и, соответственно, задать единственную локальную автономную систему. Внутри данного конфигурационного блока настраивается BGP как для глобальной таблицы маршрутизации (Global Routing Table, GRT), так и для имеющихся на маршрутизаторе экземпляров VRF.

Внутри каждой из таблиц (глобальной таблицы либо VRF) можно конфигурировать:

- Общие параметры работы протокола BGP;
- Правила редистрибуции маршрутной информации;
- Перечень протокольных соседей BGP, доступных в данном VRF либо в GRT, и параметры этих соседей.

GRT-соседи и VRF-соседи

Для создания соседа, связность с которым производится через глобальную таблицу (GRT-соседа), требуется сконфигурировать соответствующий блок внутри раздела `'router bgp <ASN>'`.

Пример. Настройка соседа в GRT.

```
router bgp 65535
  bgp router-id 1.1.1.1
  neighbor 2.2.2.2
    address-family ipv4 unicast
    exit
  remote-as 65535
  update-source 1.1.1.1
  exit
```

Для создания соседа, связность с которым производится через имеющийся на устройстве VRF (VRF-соседа), требуется сконфигурировать соответствующий блок внутри подраздела `'vrf <VRF_NAME>'` раздела `'router bgp <ASN>'`.

Пример. Настройка соседа в экземпляре VRF.

```
router bgp 65535
  vrf l3-2
    bgp router-id 1.1.1.1
    neighbor 172.16.0.0
      address-family ipv4 unicast
      exit
      remote-as 65535
      update-source 1.1.1.1
    exit
  exit
exit
```

IMPORTANT

В текущей версии ПО **необходимо** задавать '**router-id**' как в глобальной таблице маршрутизации, так и для каждого сконфигурированного в BGP экземпляра VRF.

Адресные семейства и их идентификаторы (AFI/SAFI)

Реализация протокола BGP на маршрутизаторах серии ME поддерживает прием, передачу и обработку путей различных типов (адресных семейств).

В текущей версии ПО реализована работа со следующими адресными семействами:

- IPv4 Unicast;
- VPNv4 Unicast;
- L2VPN VPLS.

Часть настройки протокола BGP можно производить отдельно для каждого из семейств. Кроме того, для каждого из протокольных соседей поддержка конкретных AFI/SAFI включается отдельно.

IMPORTANT

По умолчанию на протокольных соседях BGP все адресные семейства отключены. Для обмена путями соответствующих AFI/SAFI **необходимо явно включить их поддержку** командой '**address-family <AFI> <SAFI>**' в разделе конфигурации BGP-соседа.

NOTE

Для VRF-соседей поддерживается только семейство '**ipv4 unicast**'. Семейства '**vpn4 unicast**' и '**l2vpn vpls**' могут быть использованы только для GRT-соседей.

Передача параметров community

По умолчанию параметры *community* и *extended community* не передаются сконфигурированным соседям (удаляются из анонсируемых путей).

Для того, чтобы сохранять данные параметры при передаче BGP-соседу, следует применять

команды 'send-community' и 'send-community-ext'.

Пример. Включение передачи параметров *community* и *extended community* для GRT-соседа с адресом 2.2.2.2.

```
router bgp 65535
 neighbor 2.2.2.2
   send-community
   send-community-ext
 exit
exit
```

Фильтрация маршрутной информации

Для управления анонсами при их отправке и получении имеются два механизма — карты маршрутов (*route-maps*) и списки префиксов (*prefix-lists*). Предварительно сконфигурированные карты маршрутов и списки префиксов можно использовать для фильтрации как получаемых от соседа, так и отправляемых ему путей.

Списки префиксов являются простыми фильтрами, в которых при совпадении с условием фильтра проверяемый префикс либо разрешается, либо запрещается. Условием для таких фильтров является только совпадение префикса (сети/маски).

Карты маршрутов являются более сложными фильтрами, которые помимо действия "разрешить/запретить" могут также модифицировать BGP-атрибуты соответствующего пути.

IMPORTANT

Карты маршрутов и списки префиксов при одновременном использовании (в направлении входа либо выхода) не имеют приоритета друг над другом, они применяются к анонсам одновременно. Таким образом, анонс будет принят (или передан), если его "разрешили" и карта маршрутов, и список префиксов.

IMPORTANT

По умолчанию принимаемые от соседа и отправляемые ему анонсы не фильтруются. Таким образом, пустая конфигурация фильтров приведет к тому, что соседу будут отправлены все имеющиеся в соответствующем адресном семействе маршруты; также будут приняты все проанонсированные соседом пути.

Базовая настройка BGP-процесса

Для базовой работоспособности BGP-процесса необходимо создать его в конфигурации, задать *router id* для устройства и сконфигурировать соседей.

Таблица 46. Базовая настройка BGP-процесса

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
<code>router bgp ASN</code>	Создание процесса маршрутизации BGP с автономной системой с номером <i>ASN</i> и переход в режим его настройки.
<code>bgp router-id A.B.C.D</code>	Назначение локального идентификатора маршрутизатора. Рекомендуется использовать для этой цели IPv4-адрес одного из loopback-интерфейсов устройства.
<code>address-family ipv4 unicast</code>	(Опционально) Переход в режим настройки адресного семейства IPv4 Unicast.
<code>aggregate-address IPv4_PREFIX [summary-only]</code>	Создание агрегирующего маршрута. Данный маршрут будет суммировать более специфичные префиксы при их наличии. При указании параметра ' <i>summary-only</i> ' все входящие специфичные префиксы будут подавлены (т.е. не будут анонсироваться соседям).
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки параметров BGP для IPv4 Unicast.
<code>dampening</code>	Включение механизма подавления мерцания маршрутов.
<code>redistribution { connected isis local ospf static } RULE_NAME</code>	Создание правила редистрибуции и переход в режим его настройки. Подробнее см. раздел "Редистрибуция маршрутной информации".
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки параметров BGP для IPv4 Unicast.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки параметров BGP. Далее можно настроить параметры других AFI/SAFI.
<code>neighbor A.B.C.D A:B:C:D::X</code>	Создание протокольного соседа (с IPv4- или IPv6-адресом) и переход в режим настройки его параметров.
<code>description "STRING"</code>	Задание текстовой строки — описания протокольного соседа.
<code>ebgp-multihop ttl MULTIHOP-TTL</code>	Данная команда указывает, что данный eBGP-сосед не является непосредственно подключенным к маршрутизатору и для работы с ним на BGP-сессии соответствующим образом следует увеличить IP TTL со стандартного значения 1 до указанного <i>MULTIHOP-TTL</i> .
<code>max-prefixes PREFIXES</code>	Устанавливает ограничение на количество получаемых от соседа префиксов.
<code>remote-as ASN</code>	Задаёт номер автономной системы BGP-соседа. Является обязательным параметром при создании соседа.
<code>send-community</code>	Включает отправку параметра <i>community</i> в отсылаемых соседу анонсах. По умолчанию параметры <i>community</i> удаляются из отправляемых анонсов.

Команда	Назначение
<code>send-community-ext</code>	Включает отправку параметра <i>extended community</i> в отсылаемых соседу анонсах. По умолчанию параметры <i>extended community</i> удаляются из отправляемых анонсов. Для корректной работы AFI L2VPN, VPNv4/VPNv6 отправку <i>extended community</i> необходимо включать.
<code>address-family { ipv4 unicast ipv6 unicast l2vpn vpls vpnv4 unicast }</code>	Включение на данном соседе указанного адресного семейства (обязательно для работы соответствующей AFI/SAFI) и переход в режим настроек данного семейства.
<code>next-hop-self</code>	При указании данной команды для всех отправляемых маршрутов в качестве параметра <i>next-hop</i> будет устанавливаться адрес данного маршрутизатора.
<code>prefix-list { in out } PREFLIST_NAME</code>	Установка фильтра префиксов для принимаемых (<i>in</i>) или отправляемых (<i>out</i>) анонсов. Соответствующий фильтр префиксов должен быть создан в конфигурации маршрутизатора.
<code>route-map { in out } ROUTEMAP_NAME</code>	Установка "карты маршрутов" для фильтрации, соответственно, принимаемых (<i>in</i>) или отправляемых (<i>out</i>) анонсов. Карта маршрутов с именем, соответствующим <i>ROUTEMAP_NAME</i> , должна быть создана в конфигурации маршрутизатора.
<code>route-reflector-client</code>	Установка текущего протокольного соседа в режим RR-клиента. Такому iBGP-соседу будут анонсироваться пути, полученные по iBGP от других маршрутизаторов сети.
<code>soft-reconfiguration inbound</code>	Включение возможности мягкой реконфигурации путем хранения всех полученных от соседа анонсов в промежуточной таблице. Параметр не рекомендуется к применению из-за дополнительного расхода ресурсов; в современных реализациях BGP необходимость данного функционала снижена благодаря существованию <i>route-refresh capability</i> .
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки параметров протокольного соседа BGP. Далее можно сконфигурировать другие адресные семейства для указанного соседа.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки параметров BGP. Далее можно создать и настроить других протокольных соседей.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

```
router bgp 65530
  address-family ipv4 unicast
    dampening
    aggregate-address 100.100.0.0/16
    exit
    aggregate-address 100.64.0.0/16
    summary-only
    exit
    redistribution connected CONN-10
    set local-preference 120
    set origin igp
    exit
  exit
  bgp router-id 4.4.4.4
  neighbor 2.2.2.2
    address-family ipv4 unicast
      route-map in Client
      route-map out FULL
    exit
    address-family l2vpn vpls
    exit
    address-family vpnv4 unicast
    exit
    remote-as 65532
    send-community
    send-community-ext
    update-source 4.4.4.4
  exit
  vrf l3-2
    address-family ipv4 unicast
      redistribution connected CONN
    exit
  exit
  bgp router-id 4.4.4.4
  neighbor 172.16.0.0
    address-family ipv4 unicast
    exit
    remote-as 65532
  exit
exit
exit
```

Фильтрация маршрутов списками префиксов (prefix-lists)

Списки префиксов применимы только для фильтрации маршрутной информации и не предназначены для фильтрации трафика.

Списки префиксов являются простыми фильтрами с действиями "запретить" (префикс не пройдет через фильтр) и "разрешить" (префикс пройдет через фильтр). Для их использования необходимо создать в конфигурации сам список префиксов, после чего назначить его соответствующему соседу.

Таблица 47. Настройка списка префиксов.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>prefix-list PREFLIST_NAME</code>	Создание списка префиксов <i>PREFLIST_NAME</i> и переход в режим его настройки.
<code>seq-num SEQ-NUM</code>	Создание элемента списка префиксов с соответствующим номером и переход в режим его настройки. Номер элемента может принимать значения 1-4294967295.
<code>prefix { A.B.C.D/N X:X:X:X::X/N }</code>	Задание префикса, сравнение с которым будет производиться данным элементом списка.
<code>action { permit deny }</code>	Действие, которое будет производиться с соответствующим префиксом, если он попал под условия данного элемента списка. По умолчанию установлено <code>action permit</code>.

Команда	Назначение
le 1..128	Указание дополнительного условия на длину префикса (<i>less or equal</i>, "префикс короче либо равен заданного значения"). В данном случае элемент фильтра становится нестрогим — в сочетании с заданным prefix он будет включать в себя все более специфичные префиксы, входящие в него и имеющие маску не длиннее заданной параметром le. Например, комбинация: <pre>seq-num 10 prefix 100.64.0.0/16 le 24 exit</pre> даст фильтр, в который попадут все префиксы, попадающие в 100.64.0.0/16 и имеющие маску от /16 до /24.
ge 1..128	Указание дополнительного условия на длину префикса (<i>greater or equal</i>, "префикс длиннее либо равен заданного значения"). В данном случае элемент фильтра становится нестрогим — в сочетании с заданным prefix он будет включать в себя все более специфичные префиксы, входящие в него и имеющие маску не короче заданной параметром ge. Комбинация: <pre>seq-num 10 prefix 100.64.0.0/16 ge 20 exit</pre> даст фильтр, в который попадут все префиксы, попадающие в 100.64.0.0/16 и имеющие маску от /20 до /32.

Команда	Назначение
<code>exit</code>	Выход из режима настройки элемента списка фильтра префиксов. Далее можно создать следующие требуемые элементы списка.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации
<code>router bgp ASN</code>	Переход в режим настройки процесса BGP.
<code>neighbor A.B.C.D A:B:C:D::X</code>	Переход в режим настройки параметров BGP-соседа.
<code>address-family { ipv4 unicast ipv6 unicast vpnv4 unicast }</code>	Переход в режим настроек тех AFI/SAFI, для которых требуется применить фильтр префиксов.
<code>prefix-list { in out } PREFLIST_NAME</code>	Установка фильтра префиксов для принимаемых (<i>in</i>) или отправляемых (<i>out</i>) анонсов.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка и назначение на соседа фильтра префиксов, который будет пропускать только маршруты, входящие в 109.171.0.0/17 с длиной маски от /20 до /24, а также единственный маршрут 82.200.0.0/17:

```
prefix-list PREF-LIST-EXAMPLE
  seq-num 10
    prefix 109.171.0.0/17
    ge 20
    le 24
  exit
  seq-num 20
    prefix 82.200.0.0/17
  exit
exit

router bgp 65535
  neighbor 100.64.28.1
    address-family ipv4 unicast
      prefix-list in PREF-LIST-EXAMPLE
    exit
  exit
exit
```

IMPORTANT

По умолчанию каждый элемент списка префиксов имеет правило "permit". По умолчанию каждый список префиксов имеет неявное запрещающее правило в конце, то есть прохождение всех префиксов запрещается.

В случае, если BGP-сосед поддерживает функционал Route Refresh, не требуется сброс сессии (либо soft-реконфигурация) при изменении маршрутных политик; эти политики будут заново применены автоматически. Проверить возможности соседа можно командой '**show bgp neighbor**':

```
0/ME5100:Router# show bgp neighbors 100.64.28.1 | i Capabilities
```

```
Capabilities sent: mp-ipv4-unicast route-refresh route-refresh-cisco four-
octet-as enhanced-route-refresh
```

```
Capabilities received: mp-ipv4-unicast route-refresh graceful-restart four-
octet-as enhanced-route-refresh
```

```
Capabilities negotiated: mp-ipv4-unicast route-refresh four-octet-as enhanced-
route-refresh
```

```
0/ME5100:Router#
```

Фильтрация маршрутов посредством route-map

Для осуществления одновременной фильтрации и модификации принимаемых/отправляемых анонсов используются карты маршрутов (*route-maps*).

Правила работы карт маршрутов:

1. Карты состоят из нумерованных элементов (seq-num).
2. Каждый элемент может содержать условия соответствия (**match**).
3. Каждый элемент может содержать правила модификации анонса (**set**).
4. Каждый элемент должен содержать правило "разрешить" или "запретить" (**action**).
5. Фильтруемые анонсы проходят последовательно все элементы route-map, от меньшего seq-num к большему, до первого срабатывания условия соответствия **match**. При срабатывании условия соответствия к анонсу применяются сконфигурированные модификации **set** и выдается пометка "разрешить" (**permit**) или "запретить" (**deny**) в соответствии с настройкой элемента. Дальнейшая обработка анонса после этого прекращается.
6. По умолчанию в конце каждой карты маршрутов установлено неявное запрещающее правило. Таким образом, пустая route-map запретит **все** пропущенные через неё маршруты.

Общие правила настройки карт маршрутов

Таблица 48. Создание route-map.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>route-map ROUTEMAP_NAME</code>	Создание карты маршрутов с именем <i>ROUTEMAP_NAME</i> и переход в режим ее настройки.
<code>seq-num SEQ-NUM</code>	Создание элемента карты маршрутов с соответствующим номером и переход в режим его настройки. Номер элемента может принимать значения 1-4294967295.
<code>set { comm-list .. community .. ext-comm-list .. extcommunity .. local-preference .. med .. nexthop .. prepend .. remove .. weight .. }</code>	Назначение правила модификации анонса. Перечень параметров зависит от типа правила модификации, см. в следующих разделах. Для каждого элемента карты можно назначить несколько разнотипных правил модификации, несколько однотипных правил назначить невозможно (например, для одного элемента можно задать правила <code>set community</code> и <code>set remove</code>, но нельзя назначить несколько правил <code>set community</code>).
<code>match { as-path .. comm-list .. ext-comm-list .. prefix-list .. }</code>	Назначение условия соответствия анонса. Перечень параметров зависит от типа условия соответствия, см. в следующих разделах. Для каждого элемента карты можно назначить несколько разнотипных условий соответствия, несколько однотипных условий назначить невозможно (например, для одного элемента можно задать условия <code>match prefix-list</code> и <code>match as-path</code>, но нельзя задать несколько условий <code>match prefix-list</code>). При необходимости фильтрации анонсов с различными однотипными условиями <code>match</code> требуется создавать отдельные элементы карты маршрутов, по одному на каждое условие.
<code>action { permit deny }</code>	Действие, которое будет производиться с анонсом, если он попал под условия данного элемента списка.
<code>exit</code>	Выход из режима настройки элемента карты маршрутов. Далее можно создать следующие требуемые элементы списка.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации

Команда	Назначение
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка `route-map` с двумя элементами.

```
route-map EXAMPLE-RM
  seq-num 10
    match as-path ^65054(_[0-9]+)*_21127$
    set local-preference 80
  exit
  seq-num 20
    match prefix-list destination EXAMPLE-PRFLIST
    match as-path ^65054(_[0-9]+)*_197728$
    set remove as-path 3216
    set local-preference 150
  exit
exit
```

Правила модификации анонсов

Правила модификации анонсов задаются внутри элементов карты маршрутов посредством команды `'set'`. Виды правил модификации приведены в таблице.

Таблица 49. Виды правил модификации анонсов `'set'`.

Команда	Назначение
<code>comm-list { add delete } COMMLIST_NAME</code>	Добавить или удалить из анонса набор community, заданный соответствующим правилом <code>ip-community COMMLIST_NAME</code> .
<code>community remove-all</code>	Удалить все community из анонса.
<code>community remove-all-and-set value { 0-4294967295 0-65535:0-65535 accept-own accept-own-nexthop blackhole gshut internet llgr-stale local-as no- advertise no-export no-llgr nopeer route-filter-translated- v4 route-filter-translated-v6 route-filter-v4 route-filter-v6 }</code>	Удалить все community из анонса и добавить одну новую.

Команда	Назначение
<code>community set-specific value { 0-4294967295 0-65535:0-65535 accept-own accept-own-nexthop blackhole gshut internet llgr-stale local-as no-advertise no-export no-llgr nopeer route-filter-translated-v4 route-filter-translated-v6 route-filter-v4 route-filter-v6 }</code>	Добавить к анонсу одну новую community.
<code>ext-comm-list { add delete } EXTCOMMLIST_NAME</code>	Добавить или удалить из анонса набор extended community, заданный соответствующим правилом <code>ip-extcommunity EXTCOMMLIST_NAME</code> .
<code>extcommunity remove-all</code>	Удалить все extended community из анонса.
<code>extcommunity remove-all-and-set { rt soo } value { AS:Nr(0-65535:0-4294967295, 0-4294967295:0-65535) IPv4:Nr(0-65535) }</code>	Удалить все extcommunity из анонса и установить указанную RT- или SOO-extcommunity.
<code>extcommunity set-specific { rt soo } value { AS:Nr(0-65535:0-4294967295, 0-4294967295:0-65535) IPv4:Nr(0-65535) }</code>	Добавить указанную RT- или SOO-extcommunity.
<code>local-preference LOCALPREF</code>	Установить соответствующее значение параметра BGP Local Preference.
<code>med value MED</code>	Установить соответствующее значение параметра BGP MED.
<code>nexthop IPv4_ADDR IPv6_ADDR</code>	Установить соответствующее значение BGP Nexthop
<code>prepend as-path ASN</code> <code>prepend times N</code>	Установить препенды на параметр AS-PATH, состоящие из номера автономной системы ASN, повторенные N раз.
<code>remove as-path ASN</code>	Удалить из AS-PATH данного анонса указанные номера автономных систем ASN.
<code>remove private-as</code>	Удалить из AS-PATH данного анонса все приватные номера автономных систем (RFC6996).
<code>weight value WEIGHT</code>	Установить параметр weight.

Условия соответствия анонсов

Условия соответствия анонсов задаются внутри элементов карты маршрутов при помощи команды '**match**'. Виды условий соответствия приведены в таблице.

Таблица 50. Виды условий соответствия анонсов '**set**'.

Команда	Назначение
as-path <i>AS_REGEXP</i>	Проверка AS-PATH анонса на соответствие приведенному регулярному выражению <i>AS_REGEXP</i> . Допустимая длина регулярного выражения — до 300 символов.
comm-list name <i>COMMLIST_NAME</i>	Проверка перечня community в анонсе на соответствие заданному community-фильтру (фильтр должен быть создан командой " ip-community <i>COMMLIST_NAME</i> ")
ext-comm-list name <i>EXTCOMMLIST_NAME</i>	Проверка перечня расширенных community в анонсе на соответствие заданному extcommunity-фильтру (фильтр должен быть создан командой " ip-extcommunity <i>EXTCOMMLIST_NAME</i> ")
prefix-list destination <i>PREFLIST_NAME</i>	Проверка префикса анонса на соответствие указанному фильтру префиксов. Фильтр префиксов должен быть сконфигурирован отдельно командой " prefix-list <i>PREFLIST_NAME</i> ".
prefix-list nexthop <i>PREFLIST_NAME</i>	Проверка параметра BGP nexthop анонса на соответствие указанному фильтру префиксов. Фильтр префиксов должен быть сконфигурирован отдельно командой " prefix-list <i>PREFLIST_NAME</i> ".
prefix-list source <i>PREFLIST_NAME</i>	Проверка адреса BGP-спикера, от которого получен анонс, на соответствие указанному фильтру префиксов. Фильтр префиксов должен быть сконфигурирован отдельно командой " prefix-list <i>PREFLIST_NAME</i> ".

Internal BGP и External BGP

Согласно спецификациям протокола, BGP-сессии делятся на два типа — внутренние BGP-сессии (*Internal BGP, iBGP*) и внешние BGP-сессии (*External BGP, eBGP*).

- Внутренняя BGP-сессия — это сессия между BGP-спикерами одной автономной системы;
- Внешняя BGP-сессия — это сессия между BGP-спикерами разных автономных систем.

Маршрутизаторы серии ME определяют тип сессии автоматически, сопоставляя номер

своей автономной системы с номером автономной системы соседа.

Основные отличительные особенности iBGP-сессий:

1. При анонсировании пути по такой сессии не изменяется параметр BGP nexthop;
2. Анонсы, полученные по одной iBGP-сессии, BGP-спикер объявляет только eBGP-соседям, но не другим iBGP-соседям.

Для управления данным поведением существуют команды-директивы **'next-hop-self'** и **'route-reflector-client'**. Первая команда принудительно задает в объявляемых анонсах свой IP-адрес в качестве параметра BGP nexthop. Вторая команда включает передачу соответствующему iBGP-соседу анонсов, полученных от других iBGP-соседей.

Пример. Использование команд 'next-hop-self' и 'route-reflector-client'.

```
router bgp 65535
  neighbor 2.2.2.2
    address-family ipv4 unicast
      next-hop-self
      route-map in STANDART-CLIENT
      prefix-list out ANY
    exit
  remote-as 65535
  route-reflector-client
exit
```

Административная дистанция протокола BGP

Административная дистанция — это параметр, определяющий приоритет всех маршрутов, получаемых из соответствующего источника. Если один и тот же маршрут система получает из разных источников (например, из протокола динамической маршрутизации и из статически прописанного маршрута), то будет выбираться маршрут из источника с меньшей административной дистанцией. В указанном примере по умолчанию будет выбран статический маршрут.

Значения административной дистанции по умолчанию приведены в таблице (при принятии решения меньшее значение является лучшим):

Таблица 51. Значения административной дистанции.

Протокол/источник	Административная дистанция	Приоритет
Присоединенные (connected) маршруты	0	1
Статические (static) маршруты	1	2
External BGP	20	3
OSPF	110	4

Протокол/источник	Административная дистанция	Приоритет
IS-IS Level-1	115	5
IS-IS Level-2	116	6
Internal BGP	120	7

Значения административной дистанции можно изменить.

Таблица 52. Настройка административной дистанции для протокола BGP.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router admin-distance</code>	Переход в режим настройки раздела административной дистанции протоколов.
<code>bgp external 0..255</code>	Задание значения административной дистанции для маршрутов eBGP.
<code>bgp internal 0..255</code>	Задание значения административной дистанции для маршрутов iBGP.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Изменение административной дистанции для eBGP.

```
router admin-distance
  bgp external 112
exit
```

NOTE

Значения административной дистанции, заданные по умолчанию, являются оптимальными. Не следует изменять их без явной необходимости.

НАСТРОЙКА MPLS-КОММУТАЦИИ И ПРОТОКОЛА LDP

В данной главе рассматриваются принципы настройки инфраструктуры MPLS (Multiprotocol Label Switching) и протокола LDP.

Необходимые шаги

Для подготовки инфраструктуры MPLS в качестве транспорта для L2VPN- и L3VPN-сервисов требуется произвести следующие действия:

1. Определить интерфейсы, которые будут использоваться для соединения с соседними MPLS-маршрутизаторами;
2. Настроить на устройстве и на соответствующих интерфейсах требуемый протокол IGP (OSPF либо IS-IS);
3. Настроить на устройстве и на соответствующих интерфейсах протокол LDP для распространения транспортных MPLS-меток.

Конечным результатом настройки является наличие транспортных меток в таблице *mpls ldp forwarding*:

Пример. Вывод `'show mpls ldp forwarding'`:

```
0/ME5100:Router# show mpls ldp forwarding
```

Codes:

R = Remote LFA FRR backup

Prefix	Label(s) out	Outgoing Interface	Next Hop	flags
2.2.2.2/32	ImpNull	te 0/0/5	100.100.12.1	
4.4.4.4/32	ImpNull	te 0/0/7	100.100.14.0	

```
0/ME5100:Router#
```

Предварительная настройка IGP

Настройка протоколов внутреннего шлюза IGP (IS-IS и OSPF) описана в соответствующих разделах данного руководства. В общем случае требуется провести базовую конфигурацию и включение IGP на интерфейсах к соседним маршрутизаторам.

Помимо этого, необходимо выбрать на устройстве loopback-интерфейс в глобальной таблице маршрутизации, адрес которого будет использоваться в качестве router-id для протоколов IGP и LDP, и также включить его в процесс маршрутизации IGP (желательно в пассивном режиме).

```
interface tengigabitethernet 0/0/5
  mtu 9192
  description "to AR2(2.2.2.2) te 0/0/5"
  ipv4 address 100.100.12.0/31
exit

interface tengigabitethernet 0/0/7
  mtu 9192
  description "to DR1(4.4.4.4) te 0/1/7"
  ipv4 address 100.100.14.1/31
exit

interface loopback 1
  ipv4 address 1.1.1.1/32
  description "Main loopback"
exit

router isis eltex-test
  is-level level-2
  net 49.0001.0010.0100.1001.00
  host-name Router
  level level-2
  metric-style wide
exit
interface tengigabitethernet 0/0/5
  point-to-point
  hello-padding adaptive
  ldp-igp-synchronization
  address-family ipv4 unicast
  exit
exit
interface tengigabitethernet 0/0/7
  point-to-point
  hello-padding adaptive
  address-family ipv4 unicast
  exit
exit
interface loopback 1
  passive
  address-family ipv4 unicast
  exit
exit
exit
```

В процессе настройки протокола LDP необходимо проверить наличие в таблице маршрутизации всех путей, для которых предполагается выделение транспортных меток. Транспортные метки будут выделены только для тех путей, которые имеют корректные маршруты в IGP и для которых получены соответствующие LDP Label Mapping.

Настройка протокола LDP

Для запуска и настройки протокола LDP необходимо:

1. Задать router-id для LDP (рекомендуется выбрать "основной" loopback-интерфейс и в качестве Router ID взять его адрес, команда '`mpls ldp router-id`');)
2. Включить на интерфейсах в сторону соседей процесс автообнаружения LDP (командами '`mpls ldp discovery interface`');)
3. Включить на интерфейсах в сторону соседей процесс MPLS-коммутации (командами '`mpls forwarding interface`');)
4. Включить в протокол LDP соответствующие loopback-интерфейсы устройства (командами '`mpls forwarding interface`').

IMPORTANT

Маршрутизаторы серии ME анонсируют соседям по LDP только свои loopback-интерфейсы, включенные в LDP командой '`mpls forwarding interface`'. В случае, если дизайн сети предполагает анонс в LDP также и адресов сетей обычных интерфейсов, требуется отдельная настройка редистрибуции connected-сетей командой '`mpls ldp address-family ipv4 unicast redistribution connected`'.

Таблица 53. Базовая настройка LDP.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>mpls</code>	Переход в режим настройки параметров и протоколов MPLS.
<code>ldp</code>	Переход в режим настройки протокола LDP.
<code>discovery interface { tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Добавление соответствующего интерфейса (либо сабинтерфейса) в процесс автообнаружения LDP и переход в режим настройки параметров LDP для данного интерфейса.
<code>bfd fast-detect</code>	(опционально) Включение протокола BFD для обнаруженных соседей на данном интерфейсе.
<code>shutdown</code>	(опционально) Деактивация LDP discovery на интерфейсе.
<code>exit</code>	Возврат в режим настройки протокола LDP.
<code>router-id IPv4_ADDR</code>	Задание Router ID для процесса LDP.

Команда	Назначение
<code>penultimate-hop-popping disable</code>	(опционально) Отключение механизма MPLS PHP (снятия транспортной метки на предпоследнем маршруте). IMPORTANT Для применения данной настройки потребуется вручную переустановить LDP-сессии с соседями.
<code>transport-address IPv4_ADDR</code>	(опционально) Задание транспортного адреса для протокола LDP. Рекомендуется явно задавать данный адрес.
<code>neighbor IPv4_ADDR</code>	Создание в конфигурации targeted-сессии с указанным соседом и переход в режим настройки этой сессии. NOTE Создание targeted-сессий требуется только в случае использования L2VPN с LDP-сигнализацией, см.соответствующий раздел Руководства.
<code>hello-holdtime SECONDS</code> <code>holdtime-interval SECONDS</code>	(Опционально) Настройка соответствующих таймеров на targeted-сессии.
<code>bfd fast-detect</code>	(Опционально) Включение на данной targeted-сессии протокола BFD.
<code>shutdown</code>	(Опционально) Административное отключение данной targeted-сессии.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Таблица 54. Включение коммутации MPLS на интерфейсах.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>mpls</code>	Переход в режим настройки параметров и протоколов MPLS.

Команда	Назначение
<code>forwarding</code>	Переход в режим настройки параметров MPLS-коммутации на устройстве.
<code>interface { loopback tengigabitethernet bundle-ether } num</code>	Включение MPLS-коммутации на данном интерфейсе либо сабинтерфейсе. Обязательно включение в данный список также тех loopback-интерфейсов, которые планируется анонсировать соседям по LDP.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка MPLS LDP на двух интерфейсах.

```
mpls
  ldp
    router-id 1.1.1.1
    transport-address 1.1.1.1
    neighbor 2.2.2.2
      bfd fast-detect
    exit
    neighbor 4.4.4.4
      bfd fast-detect
    exit
    discovery interface tengigabitethernet 0/0/5
    exit
    discovery interface tengigabitethernet 0/0/7
    exit
  exit
  forwarding
    interface tengigabitethernet 0/0/5
    interface tengigabitethernet 0/0/7
    interface loopback 1
  exit
exit
```

LDP-IGP синхронизация

Для сетей, использующих LDP, имеется вспомогательный механизм, помогающий избежать ошибочного направления трафика в неработоспособное соединение (*blackhole*). Данный механизм называется синхронизацией LDP-IGP и предназначен для использования на тех соединениях, где должны одновременно работать LDP и протоколы IGP.

Механизм и принципы его работы описаны в RFC5443 ("*LDP IGP Synchronization*").

Суть работы данного механизма заключается в том, что при отсутствии активных LDP-соседств на том интерфейсе, где они быть должны, протокол IGP (IS-IS или OSPF) автоматически увеличивает стоимость данного интерфейса с целью максимально надежно

исключить его из путей прохождения трафика.

Этот механизм позволяет исключить ситуации, когда из-за ошибки в конфигурации или сбоях в работе систем трафик будет направляться в соединения, на которых продолжает работать IGP, но перестал работать LDP.

Включение данного механизма производится поинтерфейсно в конфигурационных блоках протоколов IS-IS или OSPF командой '**ldp-igp-synchronization**'.

Пример. Включение LDP-IGP синхронизации на интерфейсе протокола IS-IS:

```
router isis eltex-test
 interface tengigabitethernet 0/0/5
   ldp-igp-synchronization
 exit
exit
```

Пример. Включение LDP-IGP синхронизации на интерфейсе протокола OSPFv2:

```
router ospfv2 test
 area 0.0.0.0
   interface bundle-ether 7.400
     ldp-igp-synchronization
   exit
 exit
exit
```

Включение в LDP дополнительных интерфейсов (редистрибуция)

По умолчанию протокол LDP формирует label mappings только для адресов loopback-интерфейсов системы.

В случае, если дизайн сети предполагает анонс в LDP также и адресов сетей обычных интерфейсов (а также маршрутов, полученных от BGP), требуется отдельная настройка редистрибуции connected-сетей командой '**mpls ldp address-family ipv4 unicast redistribution connected**'.

Таблица 55. Редистрибуция в LDP.

Команда	Назначение
configure	Переход в режим глобальной конфигурации.
mpls	Переход в режим настройки параметров и протоколов MPLS.
ldp	Переход в режим настройки протокола LDP.

Команда	Назначение
<code>address-family ipv4 unicast redistribution { connected bgp } RULE_NAME</code>	Создание правила редистрибуции с именем <i>RULE_NAME</i> из указанного источника (bgp/connected) и переход в режим настройки этого правила.
<code>match prefix IPv4PREFIX/MASK</code>	(опционально) Указание фильтра, используемого для данного правила. При указании такого фильтра правило будет действовать только на маршруты, строго совпадающие с заданным <i>IPv4PREFIX/MASK</i> .
<code>priority RULE_PRIORITY</code>	Установить приоритет данного правила редистрибуции. Правила редистрибуции выполняются по очереди от низкого значения приоритета к высокому и срабатывают по первому вхождению. Таким образом, маршрут, попавший, например, в первое правило, будет передан в LDP согласно настроек этого правила и не будет обрабатываться последующими правилами.
<code>redistribute disable</code>	Запретить редистрибуцию маршрутов, попавших в текущее правило. При выполнении данной команды текущее правило становится запрещающим.
<code>exit</code>	Выход из режима настройки правила редистрибуции. Далее можно настроить следующие правила — для того же самого источника, либо для других источников редистрибуции.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка редистрибуции, которая позволит LDP объявлять метки для connected-сетей всех интерфейсов, за исключением 100.100.12.0/31.

```
mpls
  ldp
    address-family ipv4 unicast redistribution connected LDP-CONN10
      priority 10
      redistribute disable
      match prefix 100.100.12.0/31
    exit
    address-family ipv4 unicast redistribution connected LDP-CONN20
      priority 20
    exit
  exit
exit
```

Проверка работы протокола LDP и диагностические команды

show mpls ldp bindings

Команда выводит локальные ('**local**') и удаленные ('**remote**') FEC/метки. Доступны фильтры по меткам, соседям или префиксу FEC.

Пример. show mpls ldp bindings remote

```
0/ME5100:Router# show mpls ldp bindings remote

2.2.2.2/32
  local binding: 2.2.2.2:0, label 3
  State: mapping-established, type: prefix
  Interface: Tengigabitethernet 0/0/5
2.2.2.2/32
  local binding: 4.4.4.4:0, label 821
  State: mapping-liberally-retained, type: prefix
  Interface:
2.2.2.255/32
  local binding: 2.2.2.2:0, label 3
  State: mapping-liberally-retained, type: prefix
  Interface:
4.4.4.4/32
  local binding: 2.2.2.2:0, label 426
  State: mapping-liberally-retained, type: prefix
  Interface:
4.4.4.4/32
  local binding: 4.4.4.4:0, label 3
  State: mapping-established, type: prefix
  Interface: Tengigabitethernet 0/0/7
0/ME5100:Router#
```

show mpls ldp forwarding

Команда выводит таблицу активных LSP. Доступны фильтры по nexthop и по префиксу назначения.

Пример. show mpls ldp forwarding

```
0/ME5100:Router1# show mpls ldp forwarding

Codes:
  R = Remote LFA FRR backup

Prefix          Label(s) out  Outgoing Interface  Next Hop          flags
-----
2.2.2.2/32      437          te 0/0/5            100.100.12.1
4.4.4.4/32      ImpNull      te 0/0/7            100.100.14.0
0/ME5100:Router1#
```

show mpls ldp igp sync

Вывод состояния LDP-IGP синхронизации на интерфейсах.

Пример. show mpls ldp igp sync.

```
0/ME5100:Router1# show mpls ldp igp sync
```

```
Thu Jan 24 16:35:03 2019
```

LDP-ISIS sync

Interface	LDP state	Metric
te 0/0/5	up	normal
te 0/0/6	down	maximum

LDP-OSPF sync

```
0/ME5100:Router1#
```

show mpls ldp neighbors

Вывод перечня, состояния и статистики по LDP-соседям системы.

Пример. show mpls ldp neighbors.

```
0/ME5100:Router# show mpls ldp neighbors
```

```
Peer LDP Identifier: 2.2.2.2:0
```

```
Current state: operational, role: passive
```

```
TCP connection: 2.2.2.2
```

```
Label distribution method: downstream-unsolicited
```

```
Loop Dection for Path Vectors limits: 0
```

```
Last state change: 01h18m37s ago
```

```
Discontinuity time: 01h18m52s ago
```

```
LDP 1 Protocol is using
```

```
The negotiated KeepAlive time: 7 secs
```

```
Configured hold time: 40 secs
```

```
The peer's advertised keepalive hold time: 40 secs
```

```
Currently keepalive hold use: 40 secs
```

```
Peer reconnect time: 0 secs, recovery time: 0 secs
```

```
Maximum allowable length for LDP PDUs: 4096 octets
```

```
Graceful Restart support: peer is false, local is false
```

```
Stats:
```

```
0 unknown message count, 0 unknown tlv count
```

```
Neighbors in current session:
```

```
Peer address index: 2, next hop address: 2.2.2.255
```

```
Peer address index: 1, next hop address: 2.2.2.2
```

```
Peer address index: 4, next hop address: 100.100.24.1
```

```
Peer address index: 3, next hop address: 100.100.12.1
```

```
Peer LDP Identifier: 4.4.4.4:0
```

```
Current state: operational, role: passive
```

```
TCP connection: 4.4.4.4
```

```
Label distribution method: downstream-unsolicited
```

```
Loop Dection for Path Vectors limits: 0
```

```
Last state change: 01h18m35s ago
```

```
Discontinuity time: 01h18m51s ago
```

```
LDP 1 Protocol is using
```

```
The negotiated KeepAlive time: 7 secs
```

```
Configured hold time: 40 secs
```

```
The peer's advertised keepalive hold time: 40 secs
```

```
Currently keepalive hold use: 40 secs
```

```
Peer reconnect time: 0 secs, recovery time: 0 secs
```

```
Maximum allowable length for LDP PDUs: 4096 octets
```

```
Graceful Restart support: peer is false, local is false
```

```
Stats:
```

```
0 unknown message count, 0 unknown tlv count
```

```
Neighbors in current session:
```

```
Peer address index: 2, next hop address: 100.100.14.0
```

```
Peer address index: 3, next hop address: 100.100.24.0
```

```
Peer address index: 1, next hop address: 4.4.4.4
```

show mpls ldp parameters

Вывод информации об имеющихся соседях и задействованных в LDP интерфейсах системы.

Пример. show mpls ldp parameters.

```
0/ME5100:Router# show mpls ldp parameters
```

LDP Parameters:

Router ID: 1.1.1.1

Transport address: 1.1.1.1

Graceful Restart:

Status: disabled

Reconnect Timeout: 200 sec, Forwarding State Holdtime: 200 sec

Neighbors:

Peer address: 2.2.2.2

BFD status: enabled

Holdtime interval: 40 sec

Hello interval: 0 sec

Peer address: 4.4.4.4

BFD status: enabled

Holdtime interval: 40 sec

Hello interval: 0 sec

Interfaces:

Interface Tengigabitethernet 0/0/5

BFD status: disabled

Holdtime interval: 40 sec

Hello interval: 15 sec

Interface Tengigabitethernet 0/0/6

BFD status: disabled

Holdtime interval: 40 sec

Hello interval: 15 sec

Interface Tengigabitethernet 0/0/7

BFD status: disabled

Holdtime interval: 40 sec

Hello interval: 15 sec

НАСТРОЙКА MPLS L3VPN

В данной главе рассматриваются принципы организации и настройки виртуальных частных сетей третьего уровня (Layer 3 VPN, L3VPN), использующих в качестве транспорта технологию MPLS.

Под сервисом L3VPN здесь и далее подразумевается обособленное пространство маршрутизации (с использованием протоколов семейства IP). Такое пространство имеет собственную таблицу маршрутизации, таблицу ARP/ND и отдельный список L3-интерфейсов, включенных в него. Сервис L3VPN позволяет узлам, подключенным к его интерфейсам, передавать IP-трафик между (и только между) собой.

Необходимые шаги

Для обеспечения работы сервиса MPLS L3VPN требуется выполнить следующие действия:

1. Настроить инфраструктуру распространения транспортных меток (см. главу "Настройка MPLS-коммутации и протокола LDP"), то есть обеспечить связность с другими устройствами сети;
2. Создать и настроить на маршрутизаторе экземпляр VRF, включить в этот экземпляр требуемые интерфейсы;
3. Обеспечить передачу маршрутной информации данного экземпляра VRF к другим устройствам сети при помощи протокола MP-BGP с использованием адресного семейства VPNv4 unicast.

Конечным результатом настройки является появление связности между узлами, подключенными к VRF на различных маршрутизаторах сети (то есть объединение VRF на разных маршрутизаторах через MPLS-транспорт). При этом должна быть обеспечена передача сервисных MPLS-меток для сервиса L3VPN посредством MP-BGP и передача транспортных меток для достижения nexthop-адресов полученных BGP-маршрутов.

Создание экземпляров VRF и технология VRF Lite

Для работы сервиса L3VPN необходимо создать в конфигурации устройства экземпляр VRF и включить в него требуемые интерфейсы.

В случае, если VRF применяется только на одном маршрутизаторе, технология имеет название VRF Lite ("облегченный" VRF).

Таблица 56. Создание и настройка экземпляра VRF.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
<code>vrf VRF_NAME</code>	Создание в конфигурации устройства экземпляра VRF с именем <i>VRF_NAME</i> и переход в режим настройки этого экземпляра.
<code>rd RD</code>	Задание Route Distinguisher для данного экземпляра VRF. Параметр является обязательным при создании VRF. Допустимые формы задания: • ASN:Nr — со значениями [0..65535]:[0..4294967295], [0..4294967295]:[0..65535]; • IPv4:Nr — со значениями A.B.C.D:[0..65535]; здесь в качестве IPv4-адреса рекомендуется применять адрес основного loopback-интерфейса маршрутизатора.
<code>maximum prefix MAX_ROUTES</code>	(опционально) Установка ограничения количества маршрутов внутри экземпляра VRF.
<code>import route-target RT_COMMUNITY_VALUE</code>	(опционально) Установка перечня значений route-target extended community, VPNv4 BGP-пути с которыми будут устанавливаться в таблицу маршрутизации экземпляра VRF (см. ниже раздел "Route-target и Route Distinguisher"). Формат задания <i>RT_COMMUNITY_VALUE</i> аналогичен формату параметра <i>RD</i> .
<code>export route-target RT_COMMUNITY_VALUE</code>	(опционально) Установка перечня значений route-target extended community, с которыми маршруты из данного экземпляра VRF будут анонсироваться в VPNv4 BGP (см. ниже раздел "Route-target и Route Distinguisher"). Формат задания <i>RT_COMMUNITY_VALUE</i> аналогичен формату параметра <i>RD</i> .
<code>description STRING</code>	(опционально) Задание строкового описания экземпляра VRF.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

NOTE

После создания и настройки экземпляра VRF можно добавлять в него интерфейсы.

Пример. Настройка экземпляра VRF с двумя интерфейсами в нём. Настройка производится на устройстве Router1.

```
vrf example
  description "Example L3VPN service"
  rd 1.1.1.1:100
  import route-target 65535:100
  export route-target 65535:100
exit

interface tengigabitethernet 0/0/17.1100
  vrf example
  description "CE interface 1 on Router1"
  ipv4 address 100.100.1.1/24
  encapsulation outer-vid 1100
exit
interface tengigabitethernet 0/0/17.1200
  vrf example
  description "CE interface 2 on Router1"
  ipv4 address 100.100.2.1/24
  encapsulation outer-vid 1200
exit
```

Пример. Диагностика созданного экземпляра — общая информация, таблица маршрутов и ARP-таблица.

```
0/ME5100:Router1# show vrf example
```

VRF	RD	Interface
example	1.1.1.1:100	te 0/0/17.1100
example	1.1.1.1:100	te 0/0/17.1200

```
0/ME5100:Router1# show route vrf example
```

Codes: C - connected, S - static, O - OSPF, B - BGP, L - local
IA - OSPF inter area, EA - OSPF intra area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2,
LE1 - IS-IS level1 external, LE2 - IS-IS level2 external
BI - BGP internal, BE - BGP external, BV - BGP vpn

C	100.100.1.0/24	is directly connected, 00h01m12s, te 0/0/17.1100
L	100.100.1.1/32	is directly connected, 00h01m12s, te 0/0/17.1100
C	100.100.2.0/24	is directly connected, 00h01m12s, te 0/0/17.1200
L	100.100.2.1/32	is directly connected, 00h01m12s, te 0/0/17.1200

Total route count: 4

```
0/ME5100:Router1# show arp vrf example
```

ARP aging time is 240 minutes

IP address	Age	Hardware address	State	Interface
100.100.1.1	00:00:00	a8:f9:4b:8b:bb:b1	Interface	te 0/0/17.1100
100.100.2.1	00:00:00	a8:f9:4b:8b:bb:b1	Interface	te 0/0/17.1200

```
0/ME5100:Router1#
```

В качестве иллюстрации для дальнейшей настройки приведем также пример создания такого же экземпляра VRF на другом маршрутизаторе.

Пример. Настройка экземпляра VRF с одним интерфейсом. Настройка производится на устройстве Router2.

```
interface tengigabitethernet 0/0/17.1300
  vrf example
  description "CE interface 1 on Router2"
  ipv4 address 100.100.3.1/24
  encapsulation outer-vid 1300
exit
vrf example
  description "Example L3VPN service"
  rd 2.2.2.2:100
  import route-target 65535:100
  export route-target 65535:100
exit
```

Пример. Маршруты в экземпляре VRF на Router2.

```
0/ME5100:Router2# show route vrf example
Tue Jan 29 13:35:25 2019
Codes: C - connected, S - static, O - OSPF, B - BGP, L - local
       IA - OSPF inter area, EA - OSPF intra area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2,
       LE1 - IS-IS level1 external, LE2 - IS-IS level2 external
       BI - BGP internal, BE - BGP external, BV - BGP vpn

C       100.100.3.0/24      is directly connected, 00h01m21s, te 0/0/17.1300
L       100.100.3.1/32     is directly connected, 00h01m21s, te 0/0/17.1300

Total route count: 2
```

Настройка MP-BGP

Для передачи маршрутной информации L3VPN на другие устройства сети необходимо использовать протокол MP-BGP. Информация о маршрутах L3VPN будет объявляться BGP-соседям по сессиям с адресным семейством VPNv4 unicast.

Таким образом, на устройстве должен быть предварительно запущен и сконфигурирован процесс маршрутизации BGP, после чего можно добавлять необходимых соседей.

Таблица 57. Настройка BGP-соседа для передачи маршрутов L3VPN.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
<code>router bgp ASN</code>	Переход в режим настройки процесса маршрутизации.
<code>neighbor A.B.C.D</code>	Создание протокольного соседа в глобальной таблице маршрутизации и переход в режим настройки его параметров. IMPORTANT Передача маршрутной информации L3VPN возможна только соседям в глобальной таблице маршрутизации.
<code>description "STRING"</code>	(опционально) Задание текстовой строки — описания протокольного соседа.
<code>remote-as ASN</code>	Задаёт номер автономной системы BGP-соседа. L3VPN-сессии поддерживаются только для iBGP-соседей.
<code>send-community</code>	Включает отправку параметра <i>community</i> в отсылаемых соседу анонсах. По умолчанию параметры <i>community</i> удаляются из отправляемых анонсов. Для корректной работы L3VPN отправку <i>extended community</i> рекомендуется включать.
<code>send-community-ext</code>	Включает отправку параметра <i>extended community</i> в отсылаемых соседу анонсах. По умолчанию параметры <i>extended community</i> удаляются из отправляемых анонсов. Для корректной работы L3VPN отправку <i>extended community</i> необходимо включать .
<code>address-family vpnv4 unicast</code>	Включение на данном соседе адресного семейства VPNv4 unicast (обязательно для работы L3VPN/IPv4) и переход в режим настроек данного семейства. Внутри семейства при необходимости можно провести соответствующую настройку политик маршрутизации для передачи/приема анонсов от текущего BGP-соседа.
<code>exit</code>	Возврат в режим настроек BGP-соседа.
<code>update-source IPv4_ADDR</code>	Задание IPv4-адреса, с которого будет производиться взаимодействие с соседом. Данный параметр рекомендуется всегда указывать для iBGP-сессий.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка MP-BGP сессии между Router1 и Router2, конфигурация Router1:

```
router bgp 65535
  bgp router-id 1.1.1.1
  neighbor 2.2.2.2
    address-family vpnv4 unicast
  exit
  remote-as 65535
  send-community
  send-community-ext
  update-source 1.1.1.1
exit
```

Пример. Настройка MP-BGP сессии между Router1 и Router2, конфигурация Router2:

```
router bgp 65535
  bgp router-id 2.2.2.2
  neighbor 1.1.1.1
    address-family vpnv4 unicast
  exit
  remote-as 65535
  send-community
  send-community-ext
  update-source 2.2.2.2
exit
```

Пример. Контроль установления BGP-сессии с соответствующими AFI/SAFI:

```
0/ME5100:Router1# show bgp vpnv4 unicast summary
```

```
BGP router identifier 1.1.1.1, local AS number 12389
```

```
Graceful Restart is disabled
```

```
BGP table state: active
```

```
BGP scan interval: 120 secs
```

Neighbor St/PfxRcd	AS	MsgRcvd	MsgSent	Up/Down
2.2.2.2	12389	54452	54462	04d22h20m 1

```
0/ME5100:Router2# show bgp vpnv4 unicast summary
```

```
BGP router identifier 2.2.2.2, local AS number 12389
```

```
Graceful Restart is disabled
```

```
BGP table state: active
```

```
BGP scan interval: 120 secs
```

Neighbor St/PfxRcd	AS	MsgRcvd	MsgSent	Up/Down
1.1.1.1	12389	54469	54469	04d22h23m 2

Пример. Просмотр полученных по VPNv4 unicast BGP-анонсов:

```
0/ME5100:Router1# show bgp vpnv4 unicast neighbors 2.2.2.2 routes
```

BGP router identifier 1.1.1.1, local AS number 12389

Graceful Restart is disabled

BGP table state: active

BGP scan interval: 120 secs

Status codes: d damped, h history, > best, S stale, * active, u untracked, i internal

Origin codes: i igp, e egp, ? incomplete

Received bgp routes from neighbor: 2.2.2.2

	Route Distinguisher LocPrf Weight Path	IP Prefix	Next hop	Metric	Label	
u>i	2.2.2.2:100	100.100.3.0/24	2.2.2.2	0	34	100
0	?					

Total paths: 1

```
0/ME5100:Router2# show bgp vpnv4 unicast neighbors 1.1.1.1 routes
```

BGP router identifier 2.2.2.2, local AS number 12389

Graceful Restart is disabled

BGP table state: active

BGP scan interval: 120 secs

Status codes: d damped, h history, > best, S stale, * active, u untracked, i internal

Origin codes: i igp, e egp, ? incomplete

Received bgp routes from neighbor: 1.1.1.1

	Route Distinguisher LocPrf Weight Path	IP Prefix	Next hop	Metric	Label	
u>i	1.1.1.1:100	100.100.1.0/24	1.1.1.1	0	67	100
0	?					
u>i	1.1.1.1:100	100.100.2.0/24	1.1.1.1	0	67	100
0	?					

Total paths: 2

Пример. Просмотр маршрутов, установленных в таблицу маршрутизации экземпляра VRF — Router1.

```
0/ME5100:Router1# show route vrf example
```

Codes: C - connected, S - static, O - OSPF, B - BGP, L - local

IA - OSPF inter area, EA - OSPF intra area

N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2

E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2

i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2,

LE1 - IS-IS level1 external, LE2 - IS-IS level2 external

BI - BGP internal, BE - BGP external, BV - BGP vpn

```
C      100.100.1.0/24      is directly connected, 01h54m07s, te 0/0/17.1100
L      100.100.1.1/32      is directly connected, 01h54m07s, te 0/0/17.1100
C      100.100.2.0/24      is directly connected, 01h54m07s, te 0/0/17.1200
L      100.100.2.1/32      is directly connected, 01h54m07s, te 0/0/17.1200
B BV   100.100.3.0/24      via 2.2.2.2 [200/0], 01h09m21s
```

Total route count: 5

Пример. Просмотр маршрутов, установленных в таблицу маршрутизации экземпляра VRF — Router2.

```
0/ME5100:Router2# show route vrf example
```

Codes: C - connected, S - static, O - OSPF, B - BGP, L - local

IA - OSPF inter area, EA - OSPF intra area

N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2

E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2

i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2,

LE1 - IS-IS level1 external, LE2 - IS-IS level2 external

BI - BGP internal, BE - BGP external, BV - BGP vpn

```
B BV   100.100.1.0/24      via 1.1.1.1 [200/0], 01h11m03s
B BV   100.100.2.0/24      via 1.1.1.1 [200/0], 01h11m03s
C      100.100.3.0/24      is directly connected, 01h11m03s, te 0/0/17.1300
L      100.100.3.1/32      is directly connected, 01h11m03s, te 0/0/17.1300
```

Total route count: 4

Установка BGP-путей в качестве маршрутов экземпляра VRF

Различие между параметрами RT и RD

При корректной конфигурации полученные по BGP анонсы имеют параметры *Route Distinguisher (RD)* и *Route-Target (RT)*. Оба эти параметра имеют одинаковый формат, однако выполняют разные задачи.

- *RD* является частью информации MP-REACH NLRI и служит для изоляции различных плоскостей форвардинга (например, разных VRF) друг от друга.
- *RT* является расширенным community и используется конечными маршрутизаторами при импорте/экспорте маршрутов из/в VRF.

Параметр *RD* помогает разделить анонсы при передаче через транзитные BGP-спикеры к конечному маршрутизатору. Например, если в одном и том же сервисе L3VPN (т.е. в одном VRF) на промежуточный BGP-спикер придут два одинаковых маршрута с одинаковыми *RD*, то этот спикер проведет выбор лучшего среди них и анонсирует далее в сеть только лучший путь. Однако если эти маршруты будут иметь различные *RD*, то выбор лучшего среди них будет проводиться только конечными маршрутизаторами, которые на основании настроенных политик импорта *RT* проведут установку этих BGP-путей в качестве маршрутов внутри соответствующих VRF.

Дизайн услуг, при котором решение о лучшем пути принимается на конечном устройстве, является зачастую более предпочтительным, хотя и может привести к повышенному потреблению ресурсов транзитных BGP-спикеров.

Установка маршрутов внутри соответствующих VRF

В примерах ранее была приведена настройка, позволяющая получить по VPNv4-сессии анонсы маршрутов разных *RD*. В случае, если VRF на маршрутизаторах был настроен с одинаковыми политиками import/export, то эти анонсы будут установлены в таблицу маршрутизации соответствующих VRF.

Пример. Таблица маршрутизации VRF на маршрутизаторе Router1:

```
0/ME5100:Router1# show route vrf example
```

Codes: C - connected, S - static, O - OSPF, B - BGP, L - local
IA - OSPF inter area, EA - OSPF intra area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2,
LE1 - IS-IS level1 external, LE2 - IS-IS level2 external
BI - BGP internal, BE - BGP external, BV - BGP vpn

```
C      100.100.1.0/24      is directly connected, 02h38m30s, te 0/0/17.1100
L      100.100.1.1/32      is directly connected, 02h38m30s, te 0/0/17.1100
C      100.100.2.0/24      is directly connected, 02h38m30s, te 0/0/17.1200
L      100.100.2.1/32      is directly connected, 02h38m30s, te 0/0/17.1200
B BV   100.100.3.0/24      via 2.2.2.2 [200/0], 01h53m44s
```

Total route count: 5

```
0/ME5100:Router1#
```

Пример. Таблица маршрутизации VRF на маршрутизаторе Router2:

```
0/ME5100:Router2# show route vrf example
```

Codes: C - connected, S - static, O - OSPF, B - BGP, L - local
IA - OSPF inter area, EA - OSPF intra area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2,
LE1 - IS-IS level1 external, LE2 - IS-IS level2 external
BI - BGP internal, BE - BGP external, BV - BGP vpn

```
B BV   100.100.1.0/24      via 1.1.1.1 [200/0], 01h54m58s
B BV   100.100.2.0/24      via 1.1.1.1 [200/0], 01h54m58s
C      100.100.3.0/24      is directly connected, 01h54m58s, te 0/0/17.1300
L      100.100.3.1/32      is directly connected, 01h54m58s, te 0/0/17.1300
```

Total route count: 4

```
0/ME5100:Router2#
```

Таким образом, в данном примере маршруты были успешно установлены в таблицу маршрутизации VRF example. Обязательным условием для этого также является наличие транспортной метки до nexthop-адреса соответствующего маршрута:

Проверка наличия транспортных меток до nexthop на Router1:

```
0/ME5100:Router1# show mpls ldp forwarding | include 2.2.2.2  
  
2.2.2.2/32          ImpNull          te 0/0/5          100.100.12.1  
0/ME5100:Router1#
```

Проверка наличия транспортных меток до nexthop на Router2:

```
0/ME5100:Router2# show mpls ldp forwarding | include 1.1.1.1  
  
1.1.1.1/32          ImpNull          te 0/0/5          100.100.12.0  
0/ME5100:Router2#
```

Процесс BGP для экземпляра VRF и редистрибуция маршрутов

Процесс BGP для VRF

На маршрутизаторах семейства ME существует понятие BGP-процесса в экземпляре VRF. Это понятие включает в себя отдельную структуру в работающей операционной системе устройства, занимающую некоторые ресурсы и выполняющую определенные действия.

Действия, которые позволяет производить BGP-процесс в экземпляре VRF:

1. Установка BGP-соседств внутри экземпляра VRF. Данная возможность относится именно к соседствам внутри VRF (т.н. сессии PE-CE), но не к L3VPN-соседствам в глобальной таблице маршрутизации.
2. Гибкая настройка редистрибуции маршрутной информации из VRF в AFI VPNv4 unicast.

Запуск BGP-процесса для экземпляра VRF производится автоматически при создании конфигурационного блока '**vrf VRF_NAME**' в разделе настройки '**router bgp**'.

В примере ниже для VRF **example** отдельного BGP-процесса не запущено, а для VRF **l3-1** такой процесс запущен; кроме этого, внутри VRF '**l3-1**' сконфигурирован BGP-сосед с адресом 172.16.0.1 и редистрибуция статических и присоединенных маршрутов.

```

vrf example
  description "Example L3VPN service"
  rd 2.2.2.2:100
  import route-target 65535:100
  export route-target 65535:100
exit

vrf l3-1
  rd 65535:1
  import route-target 65535:1
  export route-target 65535:1
exit

router bgp 65535
  bgp router-id 2.2.2.2
  neighbor 1.1.1.1
    address-family ipv4 unicast
    exit
    address-family vpnv4 unicast
    exit
  remote-as 12389
  send-community
  send-community-ext
  route-reflector-client
  update-source 2.2.2.2
exit
vrf l3-1
  address-family ipv4 unicast
    redistribution static STAT
    exit
    redistribution connected CONN
    exit
  exit
  bgp router-id 2.2.2.2
  neighbor 172.16.0.1
    address-family ipv4 unicast
    exit
    remote-as 65530
  exit
exit
exit

```

IMPORTANT

В случае, если для экземпляра VRF не требуется установления BGP-соседств и настройки редистрибуции маршрутов, для экономии ресурсов маршрутизатора **не рекомендуется** запускать BGP-процессы в VRF.

Создание отдельных процессов на больших конфигурациях (сотни VRF) может привести к чрезмерному потреблению ресурсов маршрутизатора.

NOTE

Когда процесс маршрутизации BGP не запущен внутри VRF, BGP-таблица в соответствующем экземпляре также отсутствует (вывод команд '`show bgp vrf VRF_NAME`' будет пустым). Однако в таблице маршрутизации могут присутствовать маршруты с пометкой "BGP" в том случае, если их источником является AFI VPNv4 unicast.

Автоматическая редистрибуция

По умолчанию на маршрутизаторах семейства ME работает автоматическая редистрибуция присоединенных (connected-) маршрутов в AFI VPNv4 unicast и автоматическое анонсирование таких путей VPNv4-соседям. Процесс автоматический редистрибуции неотключаем.

Автоматическая редистрибуция не требует запуска отдельного BGP-процесса для соответствующего экземпляра VRF.

Возможность назначения дополнительных атрибутов BGP на автоматически анонсируемые маршруты отсутствует. Для назначения атрибутов необходимо создавать блок '`vrf VRF_NAME`' в разделе '`router bgp`' и настраивать там процесс редистрибуции соответствующих сетей с назначением нужных атрибутов.

Редистрибуция адресов loopback-интерфейсов

Отдельным случаем является задача анонсирования адресов loopback-интерфейсов, относящихся к VRF.

Данные адреса, являясь не присоединенными, а локальными, не подпадают под автоматическую редистрибуцию. В случае, если необходимо анонсировать их соседним BGP-маршрутизаторам в VPNv4 unicast, необходимо настраивать редистрибуцию вручную.

Пример настройки редистрибуции адресов loopback-интерфейсов.

```
interface loopback 7991
  ipv4 address 3.1.3.1/32
  vrf l3-1
exit

router bgp 12389
  vrf l3-1
    address-family ipv4 unicast
      redistribution local LOCAL
      match prefix 3.1.3.1/32
    exit
  exit
exit
exit
```

НАСТРОЙКА MPLS L2VPN

В данной главе рассматриваются принципы организации и настройки виртуальных частных сетей второго уровня (Layer 2 VPN, L2VPN), использующих в качестве транспорта технологию MPLS.

Сервисы L2VPN позволяют осуществить локальную коммутацию на уровне Ethernet как между несколькими интерфейсами одного устройства, так и между несколькими устройствами, соединенными MPLS-транспортом.

Составные элементы L2VPN

Интерфейс локальной коммутации (*Attachment circuit, AC*) — интерфейс либо сабинтерфейс устройства, находящийся в режиме L2-коммутации, включенный в состав бридж-домена либо кросс-коннекта и позволяющий производить сквозную коммутацию Ethernet-кадров. Любой интерфейс устройства без назначенных IP-адресов находится в режиме L2-коммутации. Интерфейс с назначенными на нем IP-адресами невозможно включить в L2VPN в качестве AC.

IMPORTANT

При приеме и передаче Ethernet-кадров через AC по умолчанию **не осуществляется** никакой модификации заголовков кадров. В первую очередь, интерфейсы локальной коммутации не производят снятия VLAN-тегов с трафика и добавления таких тегов. Если требуется произвести операции над тегами (снятие, добавление либо замену), то для этого необходимо явно сконфигурировать данную операцию на интерфейсе командой `'rewrite'`. Таким образом, трафик, попавший в бридж-домен либо кросс-коннект через интерфейс AC, по умолчанию будет коммутироваться с сохранением всех тегов.

Классификаторы, заданные на сабинтерфейсах командой `'encapsulation'`, отвечают только за отнесение входящего в родительский интерфейс трафика к данному сабинтерфейсу. Трафик, выходящий из сабинтерфейса согласно имеющейся конфигурации L2VPN-сервиса, не проверяется на предмет соответствия тегов классификатору сабинтерфейса.

Бридж-домен, как один из основных элементов L2VPN, позволяет объединить в общую L2-среду один или несколько интерфейсов локальной коммутации (AC), а также элементы сервисов EoMPLS (Ethernet over MPLS) — псевдопровода (*Pseudowire, PW*) и виртуальные экземпляры коммутации (*Virtual Forwarding Instance, VFI*).

Кросс-коннект (*point-to-point element, p2p*) также является элементом L2VPN и позволяет объединить в общую среду строго один интерфейс локальной коммутации (AC) и один псевдопровод (PW).

Выбор используемого для L2VPN-сервиса механизма (бридж-домена либо кросс-коннекта) зависит от задачи, которую требуется выполнить.

Настройка бридж-доменов

Для организации L2VPN-сервиса с использованием бридж-домена необходимо сконфигурировать на устройстве сам бридж-домен, создать требуемые AC, PW и/или VFI и включить все нужные элементы в данный бридж-домен.

Между элементами бридж-домена будет производиться коммутация Ethernet-кадров.

Правила коммутации трафика в бридж-домене

Между элементами бридж-домена осуществляется коммутация трафика на основании перечисленных правил:

1. Для каждого бридж-домена автоматически создается таблица MAC-адресов по аналогии с Ethernet-коммутаторами. Ethernet-кадры коммутируются на основании анализа MAC-адреса получателя (DST MAC).
2. Кадры с известным DST MAC будут отправляться в соответствующие AC/PW.
3. Кадры с неизвестным DST MAC, broadcast- и multicast-кадры (т.н. BUM-трафик, "Broadcast, Unknown unicast и Multicast") будут отправляться во все элементы бридж-домена, за исключением того элемента (AC либо PW), с которого вошли в бридж-домен.
4. При коммутации учитываются DST MAC в кадрах, но не учитываются VLAN-теги, имеющиеся на кадрах — таким образом, коммутация внутри бридж-домена не является "VLAN-aware".

Псевдопровода (pseudowires)

Псевдопровод — логический элемент, объединяющий экземпляры L2VPN между двумя устройствами, объединенными MPLS-транспортом и позволяющий передавать Ethernet-кадры поверх MPLS (технология носит название *Ethernet over MPLS*, *EoMPLS*). Аналогично сервисам L3VPN, для обеспечения работы псевдопроводов L2VPN необходимо наличие и работоспособность MPLS-связности между устройствами (должны быть выделены транспортные метки MPLS для достижения адреса соседнего устройства).

Для каждого псевдопровода сервиса L2VPN выделяется также сервисная MPLS-метка (назначается посредством протокола LDP для статических псевдопроводов либо средствами протокола MP-BGP для L2VPN с автообнаружением соседей).

Псевдопровода для L2VPN-сервисов создаются и настраиваются внутри конфигурационных блоков бридж-доменов и кросс-коннектов.

В глобальной конфигурации устройства при этом **необходимо** создать профиль псевдопровода ('`pw-class`') и сконфигурировать targeted-сессию LDP до адреса устройства, с которым создается псевдопровод (targeted-сессии не требуются при использовании BGP autodiscovery/signalling).

Таблица 58. Настройка профиля псевдопровода.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>l2vpn pw-class CLASS_NAME</code>	Создание в конфигурации устройства профиля псевдопровода и переход в режим задания его параметров.
<code>encapsulation mpls signaling-type { manual pseudowire-id-fec-signaling }</code>	Задание метода сигнализации для псевдопроводов, использующих данный профиль. Для использования классической сигнализации LDP следует использовать параметр <code>'pseudowire-id-fec-signaling'</code>. При использовании метода <code>'manual'</code> сервисные метки задаются вручную в конфигурации каждого псевдопровода. Данный параметр является обязательным.
<code>encapsulation mpls mtu MTU_SIZE</code>	(опционально) Задание значения MTU, которое будет использоваться при сигнализации псевдопроводов. Данный параметр влияет только на процесс сигнализации и не ограничивает размер передаваемых пакетов.
<code>encapsulation mpls control-word { preferred non-preferred }</code>	(опционально) Задаёт значение параметра control word (предпочитаемый "preferred" либо не предпочитаемый "non-preferred") для процесса сигнализации псевдопровода.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример настройки профиля псевдопровода.

```
l2vpn pw-class example-class
  encapsulation mpls control-word preferred
  encapsulation mpls signaling-type pseudowire-id-fec-signaling
exit
```

Таблица 59. Настройка targeted LDP-сессии (обязательно для псевдопроводов с LDP-сигнализацией).

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
<code>mpls ldp neighbor IPv4_ADDR</code>	Создание targeted LDP-сессии до устройства с указанным адресом. Адрес, указанный при создании сессии, должен совпадать с адресом, используемым при создании самого псевдопровода внутри соответствующего элемента L2VPN. Для успешной установки targeted-сессии должны быть предварительно установлены транспортные LSP до указанного адреса.
<code>bfd fast-detect</code>	(опционально) Включение механизма BFD для соответствующей targeted LDP-сессии.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример настройки targeted LDP-сессии.

```
mpls ldp neighbor 2.2.2.2
  bfd fast-detect
exit
```

После выполнения данных настроек можно производить создание и конфигурирование псевдопроводов внутри соответствующих L2VPN-сервисов.

Создание бридж-домена

Таблица 60. Создание и настройка бридж-домена.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>l2vpn bridge-domain BD_NAME</code>	Создание в конфигурации устройства бридж-домена и переход в режим его настройки.
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num num.subif_id</code>	Включение указанного интерфейса либо сабинтерфейса в состав бридж-домена в качестве интерфейса локальной коммутации (AC).

Команда	Назначение
<code>pw IPv4_PEER PW_ID</code>	Создание внутри бридж-домена псевдопровода до указанного устройства и переход в режим настройки этого псевдопровода. Параметр <i>PW_ID</i> (также применяется термин <i>VC ID</i> , <i>Virtual circuit ID</i>) служит для идентификации псевдопровода на устройствах, он используется в процессе сигнализации и назначения сервисных меток и должен быть одинаковым для одного и того же PW на обоих устройствах.
<code>pw-class CLASS_NAME</code>	Привязка ранее созданного в конфигурации профиля к данному псевдопроводу. Привязка профиля к псевдопроводу является обязательной.
<code>mpls static label local LOCAL_LABEL_VALUE</code> <code>mpls static label remote REMOTE_LABEL_VALUE</code>	(опционально) Задание локальной и удаленной сервисной MPLS-метки для данного псевдопровода. Параметры используются в случае, когда профиль псевдопровода предполагает использование ручного назначения сервисных меток (' <i>manual</i> ').
<code>backup</code>	(опционально) Переход в режим настройки запасного (backup) псевдопровода.
<code>pw IPv4_PEER PW_ID</code>	Создание запасного (backup) псевдопровода до указанного устройства и переход в режим настройки этого псевдопровода. Запасной псевдопровод будет использоваться в случае отказа основного.
<code>pw-class CLASS_NAME</code>	Привязка ранее созданного в конфигурации профиля к данному псевдопроводу.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации backup PW.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации основного PW.
<code>ignore encapsulation-mismatch</code> <code>ignore mtu-mismatch</code>	Установка режима игнорирования несоответствия параметров инкапсуляции (типа псевдопровода) либо значения MTU при сигнализации псевдопровода.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации бридж-домена.

Команда	Назначение
<code>transport-mode { ethernet vlan }</code>	Установка транспортного режима для всех псевдопроводов данного бридж-домена (type4/"port" и type5/"tagged" соответственно, согласно спецификации EoMPLS). Транспортный режим задается для целей сигнализации и не влияет на обработку передаваемого по псевдопроводу трафика.
<code>mtu MTU_SIZE</code>	Устанавливает размер MTU в байтах для всего бридж-домена. Настройка служит для целей сигнализации.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Создание бридж-домена с тремя АС и двумя псевдопроводами (из них один — с запасным псевдопроводом)

```
l2vpn bridge-domain example-bd
  pw 2.2.2.2 400500
    pw-class example-class
    backup
      pw 4.4.4.4 400500
      pw-class example-class
    exit
  exit
exit
pw 3.3.3.3 400501
  pw-class example-class
exit
interface tengigabitethernet 0/0/15
interface tengigabitethernet 0/0/1.400500
interface tengigabitethernet 0/0/17.5
exit
```

В приведенном примере бридж-домен позволит осуществлять коммутацию трафика между АС *tengigabitethernet 0/0/15*, *tengigabitethernet 0/0/1.400500*, *tengigabitethernet 0/0/17.5* и двумя псевдопроводами до соседей с адресами 2.2.2.2 и 3.3.3.3. Псевдопровод до соседа 2.2.2.2 также имеет резервный PW до соседа 4.4.4.4.

Виртуальные экземпляры коммутации и разделенный горизонт для псевдопроводов

Как было указано ранее, коммутация пакетов в бридж-домене может производиться между всеми элементами, включенными в бридж-домен, то есть в направлениях АС-АС, АС-PW и PW-PW.

Однако, коммутация трафика между разными псевдопроводами одного бридж-домена может быть нежелательной в ряде случаев (в частности, при построении полносвязных топологий VPLS — в таких случаях коммутация пакетов между PW приведет к закольцовке трафика).

Для решения данной задачи используется принцип "разделенного горизонта" (*split horizon*), когда псевдопровода собираются в специальную группу (*split horizon group*), благодаря чему запрещается коммутация трафика между ними, однако остается возможность коммутации между псевдопроводом группы и интерфейсами (AC) бридж-домена.

В конфигурации устройства такие группы называются виртуальными экземплярами коммутации (*VFI, Virtual Forwarding Instance*). В каждый экземпляр можно включить произвольное количество псевдопроводов.

Таблица 61. Создание и настройка экземпляра VFI внутри бридж-домена.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>l2vpn bridge-domain BD_NAME</code>	Переход в режим настройки бридж-домена.
<code>vfi VFI_NAME</code>	Создание внутри бридж-домена экземпляра VFI и переход в режим его настройки.
<code>pw IPv4_PEER PW_ID</code>	Создание внутри экземпляра VFI псевдопровода до указанного устройства и переход в режим настройки этого псевдопровода. Дальнейшая конфигурация псевдопровода (включая backup) аналогична настройке PW непосредственно в бридж-домене.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Бридж-домен с тремя интерфейсами и одним экземпляром VFI.

```
l2vpn bridge-domain example-bd
  vfi VFI-A
    pw 10.10.10.214 300
      pw-class example-class
    exit
    pw 10.10.10.220 312
      pw-class example-class
    exit
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/15
  interface tengigabitethernet 0/0/1.400500
  interface tengigabitethernet 0/0/17.5
exit
```

NOTE

В бридж-домене может быть не более одного экземпляра VFI.

Настройка кросс-коннектов

Для организации L2VPN-сервиса с использованием кросс-коннекта необходимо создать на устройстве необходимый AC, элемент конфигурации P2P, включить в данный элемент конфигурации соответствующий AC и сконфигурировать там же псевдопровод.

Между AC и PW, включенными в кросс-коннект, будет производиться коммутация Ethernet-кадров.

Основные принципы работы кросс-коннекта аналогичны принципам работы бридж-домена, отличие заключается только в количестве возможных элементов (в кросс-коннекте можно объединять только один PW и один AC), а также в отсутствии процесса изучения MAC-адресов в кросс-коннекте.

Таблица 62. Создание и настройка кросс-коннекта.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>l2vpn xconnect-group</code> <code>XCONNECT_GROUP_NAME</code>	Создание в конфигурации устройства именованной группы кросс-коннектов и переход в режим конфигурации этой группы.
<code>p2p P2P_NAME</code>	Создание кросс-коннекта внутри соответствующей группы и переход в режим настройки этого кросс-коннекта.

Команда	Назначение
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num num.subif_id</code>	Включение указанного интерфейса либо сабинтерфейса в состав кросс-коннекта в качестве интерфейса локальной коммутации (AC).
<code>pw IPv4_PEER PW_ID</code>	Создание внутри кросс-коннекта псевдопровода до указанного устройства и переход в режим настройки этого псевдопровода. Параметр <code>PW_ID</code> (также применяется термин <code>VC ID</code> , <code>Virtual circuit ID</code>) служит для идентификации псевдопровода на устройствах, он используется в процессе сигнализации и назначения сервисных меток и должен быть одинаковым для одного и того же PW на обоих устройствах.
<code>pw-class CLASS_NAME</code>	Привязка ранее созданного в конфигурации профиля к данному псевдопроводу. Привязка профиля к псевдопроводу является обязательной.
<code>mpls static label local LOCAL_LABEL_VALUE</code> <code>mpls static label remote REMOTE_LABEL_VALUE</code>	(опционально) Задание локальной и удаленной сервисной MPLS-метки для данного псевдопровода. Параметры используются в случае, когда профиль псевдопровода предполагает использование ручного назначения сервисных меток (' <code>manual</code> ').
<code>backup</code>	(опционально) Переход в режим настройки запасного (backup) псевдопровода.
<code>pw IPv4_PEER PW_ID</code>	Создание запасного (backup) псевдопровода до указанного устройства и переход в режим настройки этого псевдопровода. Запасной псевдопровод будет использоваться в случае отказа основного.
<code>pw-class CLASS_NAME</code>	Привязка ранее созданного в конфигурации профиля к данному псевдопроводу.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации backup PW.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации основного PW.
<code>ignore encapsulation-mismatch</code> <code>ignore mtu-mismatch</code>	Установка режима игнорирования несоответствия параметров инкапсуляции (типа псевдопровода) либо значения MTU при сигнализации псевдопровода.

Команда	Назначение
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации кросс-коннекта.
<code>transport-mode { ethernet vlan }</code>	Установка транспортного режима псевдопровода в данном кросс-коннекта (type4/"port" и type5/"tagged" соответственно, согласно спецификации EoMPLS). Транспортный режим задается для целей сигнализации и не влияет на обработку передаваемого по псевдопроводу трафика.
<code>mtu MTU_SIZE</code>	Устанавливает размер MTU в байтах для данного кросс-коннекта. Настройка служит для целей сигнализации.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка кросс-коннекта.

```
l2vpn xconnect-group EXAMPLE-GROUP
  p2p PW-CUSTOMER-1
    transport-mode vlan
    pw 2.2.2.2 4012
      pw-class example-class
        backup
          pw 4.4.4.4 4018
            pw-class example-class
          exit
        exit
      exit
    exit
  interface tengigabitethernet 0/0/9.2001
  exit
exit
```

НАСТРОЙКА MPLS TRAFFIC ENGINEERING

В данной главе рассматриваются принципы организации и настройки функционала Traffic Engineering.

Для начала определим некоторые термины, которые будут использованы в описании процедур конфигурации:

- **LSP** — Label Switched Path. Однонаправленный путь, по которому коммутируются пакеты;
- **ТЕ-туннель** — виртуальный однонаправленный интерфейс, который имеет один или несколько LSP;
- **IGP** — семейство протоколов динамической маршрутизации на базе принципов Link-state;
- **LSR** — Labeled Switching Router. Маршрутизатор, коммутирующий по меткам;
- **Ingress LSR** — он же Head-End Router. Маршрутизатор, с которого стартует LSP;
- **Egress LSR** — он же Tail-End Router. Маршрутизатор, на котором terminates LSP;
- **RSVP** — протокол, используемый функционалом MPLS TE для распространения меток и сигнализации LSP;
- **CSPF** — расширенный алгоритм выбора лучшего пути. Умеет, как и OSPF, строить кратчайшие пути на основе топологической базы данных, но при этом учитывать ограничения, накладываемые требованиями к ТЕ-туннелям.

Необходимые шаги для настройки MPLS TE

На маршрутизаторах Eltex серии ME для обеспечения работы функционала MPLS Traffic Engineering требуется выполнить следующие действия:

1. Настроить инфраструктуру распространения транспортных меток и служебных RSVP сообщений, то есть обеспечить IP-связность с другими устройствами сети;
2. Активировать расширения Traffic Engineering для используемого протокола IGP;
3. Активировать протокол RSVP на интерфейсах маршрутизаторов для приема и отправки служебных сообщений;
4. Настроить MPLS TE-туннель;
5. Активировать механизм CSPF.

Конечным результатом настройки является работоспособный ТЕ-туннель, который является транспортом для L2/L3VPN-сервисов.

Настройка инфраструктуры распространения транспортных меток

В первую очередь, для распространения меток необходимо обеспечить IP-связность между loopback-интерфейсами маршрутизаторов, чтобы протокол RSVP мог отправлять и получать служебные сообщения. Для этого необходимо активировать протокол IP на интерфейсах LSR-а и активировать работу IGP протокола (ISIS или OSPFv2) для обмена маршрутной информацией. После того, как в сети появилась IP-связность между loopback-интерфейсами LSR-ов, можно считать, что инфраструктура для распространения меток создана.

Включение коммутации MPLS-пакетов на интерфейсах

Таблица 63. Включение MPLS коммутации на интерфейсах LSR.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>mpls</code>	Переход в режим конфигурации протокола mpls.
<code>forwarding</code>	Переход в режим конфигурации MPLS forwarding.
<code>interface <type> <unit>/<dev>/<port>.<sub></code>	Включение на интерфейсе функционала коммутации labeled IP пакетов.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Включение коммутации MPLS-пакетов на интерфейсах

```
mpls
 forwarding
   interface loopback 1
   interface tengigabitethernet 0/0/17.353
   interface tengigabitethernet 0/0/18.200
   interface tengigabitethernet 0/0/20
 exit
exit
```

NOTE

В данном примере видно, что в конфигурации присутствует интерфейс loopback 1, при этом пакеты через данный интерфейс не передаются. Однако, команда 'mpls forwarding interface loopback N' выполняет еще одну важную функцию. На маршрутизаторах серии ME метки генерируются только для тех connected-префиксов, интерфейсы которых добавлены в раздел 'mpls forwarding'. Если необходимо, чтобы Egress LSP получали соответствующие MPLS метки, нужно добавлять loopback интерфейс с IP-адресом, равным LSR-ID в раздел 'mpls forwarding'.

Активация поддержки TE в IGP протоколе

Наличия IP-связности между loopback-интерфейсами недостаточно для работы функционала Traffic Engineering. Необходимо, чтобы протокол IGP распространил дополнительную информацию об интерфейсах маршрутизаторов (например: max-resv-band, available-resv-band, admin-group, te-metric). Эта дополнительная информация позволит маршрутизаторам сети рассчитать LSP с учетом ограничений, накладываемых на LSP конфигурацией TE-туннеля.

Таблица 64. Активация поддержки Traffic Engineering в протоколе OSPF.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router ospfv2 NAME</code>	Создание в конфигурации OSPFv2 процесса с именем NAME и переход в режим его настройки.
<code>te-router-id A.B.C.D</code>	В режиме конфигурации процесса OSPFv2 необходимо указать IPv4-адрес, используемый в качестве LSR-id.
<code>area A.B.C.D</code>	Создание в конфигурации OSPFv2 процесса области с номером A.B.C.D. Параметр является обязательным при создании области. Допустимые формы задания: • A.B.C.D — со значениями [0..255] в каждом октете; • Number — со значением [0..4294967295];
<code>interface <type> <unit>/<dev>/<port>.<sub></code>	Переход в режим конфигурации параметров OSPF интерфейса.
<code>te-support</code>	Активирует поддержку функционала MPLS TE на OSPF-интерфейсе. После активации интерфейс будет способен обрабатывать т.н. Opaque LSA, в которых и передается информация, необходимая для топологической базы данных (TEDB).

Команда	Назначение
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

NOTE

Таким образом, для активации функционала MPLS TE в протоколе OSPF необходимо указать параметр 'te-router-id' и включить 'te-support' на тех интерфейсах, через которые будет идти обмен OSPF LSA.

Пример. Активация MPLS TE в протоколе OSPFv2.

```
router ospfv2 BackBone_Region1
  area 0.0.0.0
    interface loopback 1
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/17.353
      te-support
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/18.200
      te-support
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/20.350
      te-support
    exit
  exit
  te-router-id 3.3.3.3
exit
```

Таблица 65. Активация поддержки Traffic Engineering в протоколе ISIS.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router isis NAME</code>	Создание в конфигурации ISIS процесса с именем NAME и переход в режим его настройки.
<code>te-router-id A.B.C.D</code>	Команда определяет параметр 'te-router-id' для процесса ISIS.

Команда	Назначение
<code>ipv4-te-level level-N</code>	Команда определяет какой тип 'level-1' или 'level-2' используется при работе функционала Traffic Engineering. Допустимые формы задания: • level-1 — ISIS маршрутизатор является level-1 устройством; • level-2 — ISIS маршрутизатор является level-2 устройством;
<code>interface <type> <unit>/<dev>/<port>.<sub></code>	Переход в режим конфигурации параметров ISIS интерфейса.
<code>address-family ipv4 unicast</code>	Команда активирует протокол ISIS в режиме Integrated. Допустимые формы задания: • ipv4 unicast — ISIS работает на интерфейсе для маршрутизации IPv4 пакетов; • ipv6 unicast — ISIS работает на инетрфейсе для маршрутизации IPv6 пакетов.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

NOTE

Таким образом, для активации функционала MPLS TE в протоколе ISIS необходимо указать параметр 'ipv4-te-level' и 'te-router-id'.

Пример. Активация MPLS TE в протоколе ISIS.

```
router isis BackBone_Region1
  interface loopback 1
    address-family ipv4 unicast
    exit
    passive
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/17.353
    address-family ipv4 unicast
    exit
    level level-2
    metric 5
  exit
exit
host-name Router1
ipv4-te-level level-2
is-level level-2
net 49.0000.0100.0001.9004.00
te-router-id 10.0.19.4
exit
```

Активация протокола RSVP на интерфейсах

Для работы функционала Traffic Engineering необходима также работа протокола RSVP во всем IGP-домене. Для этого на каждом маршрутизаторе в IGP-домене необходимо включить протокол RSVP (как на интерфейсах, участвующих в форвардинге MPLS трафика, так и на loopback-интерфейсе, являющимся LSR ID маршрутизатора).

Таблица 66. Активация поддержки Traffic Engineering в протоколе ISIS.

Команда	Назначение
configure	Переход в режим глобальной конфигурации.
mpls	Переход в режим конфигурации протокола mpls
rsvp	Глобальное включение протокола RSVP и переход в режим его конфигурации.
interface <type> <unit>/<dev>/<port>.<sub>	Включение протокола RSVP на интерфейсе и переход в режим конфигурации параметров протокола RSVP.
maximum-reservable-bandwidth BANDW	(Опционально) Определение одного из возможных атрибутов интерфейса - max-resv-band, который будет распространен по топологическим базам (TEDB) всех маршрутизаторов IGP домена с включенными расширениями для MPLS TE.

Команда	Назначение
<code>hellos hello-interval <i>MILLISEC</i></code>	(Опционально) Включение функции <code>rsvp-hello</code> на интерфейсе N - интервал отправки в миллисекундах .
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Включение протокола RSVP.

```
mpls
 rsvp
  interface loopback 1
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/17.353
   hellos hello-interval 2000
   maximum-reservable-bandwidth 200000
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/18.200
   hellos hello-interval 2000
   maximum-reservable-bandwidth 102400
  exit
exit
```

Настройка MPLS TE туннеля

После подготовки инфраструктуры, активации протокольных расширений IGP для поддержки MPLS TE и развертывания RSVP на маршрутизаторах IGP-домена можно приступить к настройке TE-туннелей.

Таблица 67. Для конфигурации TE-туннеля необходимо:.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>mpls</code>	Переход в режим конфигурации протокола mpls.
<code>rsvp</code>	Глобальное включение протокола RSVP и переход в режим его конфигурации.
<code>tunnel <i>Name</i></code>	Создание туннеля с именем <i>Name</i> и переход в режим его конфигурации.

Команда	Назначение
<code>bandwidth BW</code>	(Опционально) Команда выполняется в режиме конфигурации туннеля и определяет требование резервирования полосы пропускания для LSP-туннеля. По сути это ограничение, которое учитывает протокол CSPF при расчёте кратчайшего расстояния от source к destination.
<code>source A.B.C.D</code>	Команда указывает IPv4-адрес, принадлежащий одному из loopback-интерфейсов Ingress LSR-а. Рекомендовано использовать Source IPv4, равный LSR-ID Ingress LSR.
<code>destination A.B.C.D</code>	Команда указывает IPv4-адрес, принадлежащий одному из loopback-интерфейсов Egress LSR-а. Рекомендовано использовать Destination IPv4, равный LSR-ID Egress LSR.
<code>tunnel-lsp Name</code>	Команда указывает имя RSVP LSP, которое будет использоваться при построении RSVP LSP и переключает в режим его конфигурации.
<code>path-computation { dynamic explicit }</code>	Команда определяет способ вычисления пути прохождения RSVP LSP. Допустимые формы задания: • dynamic — RSVP LSP строится с помощью протокола CSPF от source до destination с учетом наложенных конфигурацией TE туннеля ограничений (bandwidth/explicit-path/affinity); • explicit — RSVP LSP строится вручную, т.е. пользователь обязан сам прописать все hop-ы в конфигурации explicit-path в режиме strict.
<code>explicit-path-name Name</code>	(Опционально) Команда выполняется в режиме конфигурации tunnel-lsp и накладывает ограничение на возможный путь прохождения LSP. Это один из видов ограничений, который учитывает протокол CSPF в своей работе. Данная команда может комбинироваться с <code>path-computation dynamic</code> .
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Настройка MPLS TE туннеля с именем "44".

```
mpls
  rsvp
    interface tengigabitethernet 0/0/17.353
      hellos hello-interval 2000
      maximum-reservable-bandwidth 200000
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/18.200
      hellos hello-interval 2000
      maximum-reservable-bandwidth 102400
    exit
    explicit-path not_over_ne5k
      explicit-route-object 0
      ip-prefix 192.168.54.26/32
    exit
  exit
  tunnel 44
    bandwidth 1000
    destination 10.0.19.1
    source 10.0.19.4
    tunnel-lsp my-lsp1
      explicit-path-name not_over_ne5k
      path-computation dynamic
    exit
  exit
exit
exit
```

Конфигурация TE-туннеля в примере выше определяет, что при расчете RSVP LSP накладываются следующие ограничения:

- проходить RSVP LSP должен только через те интерфейсы, в которых есть возможность зарезервировать 1Mbps;
- RSVP LSP должен проходить через интерфейс с IP-адресом 192.168.54.26.

Настройка ограничений для RSVP TE туннеля

Одной из ключевых возможностей функционала MPLS TE является возможность установки различных ограничений и условий для TE-туннелей. При конфигурировании TE-туннеля у пользователя есть возможность указать определенные ограничения в зависимости от потребностей в передаче сервисного трафика — например, передавать трафик только через те интерфейсы, на которых есть возможность зарезервировать полосу пропускания в N Mbps; или/и запрет на передачу трафика через интерфейс с IP адресом A.B.C.D; или/и разрешено прохождение трафика через интерфейсы, которые принадлежат региону 'T' или региону 'N', но запрещена передача через интерфейсы, которые включены в радиорелейную транмиссию. И т.д., можно придумать огромное кол-во ограничений (главное чтобы они были описаны в документации на сеть).

Как работают ограничения:

1. Каждый LSR должен иметь топологическую базу сети, в которой должна присутствовать дополнительная информация по сравнению с традиционной LSDB;
2. Для того, чтобы выполнялся первый пункт, необходимо прописать дополнительные атрибуты интерфейсам (max-resv-band/link attribute/te metric) на интерфейсах LSR в IGP домене;
3. Для того, чтобы выполнялся первый пункт, также необходимо, чтобы дополнительные атрибуты распространились по топологическим базам данных (TEDB) всех LSR в IGP домене — для этого нужно включить поддержку MPLS TE в протоколе IGP;
4. После того, как все LSR получили идентичную топологическую базу о сети, в дело вступает алгоритм CSPF (Constraint Shortest Path First). Он вычисляет кратчайший путь от Ingress LSR до Egress LSR, который удовлетворяет набору ограничений, прописанных в настройках TE туннеля. Если такой путь вычислить удалось, то результатом работы CSPF будет список узлов, через которые необходимо проложить RSVP LSP для TE-туннеля. Этот список называется Explicit Route Object (ERO);
5. На основании ERO протокол RSVP начнет попытки установить RSVP LSP.

Настройка ограничений: резервирование полосы пропускания для RSVP LSP.

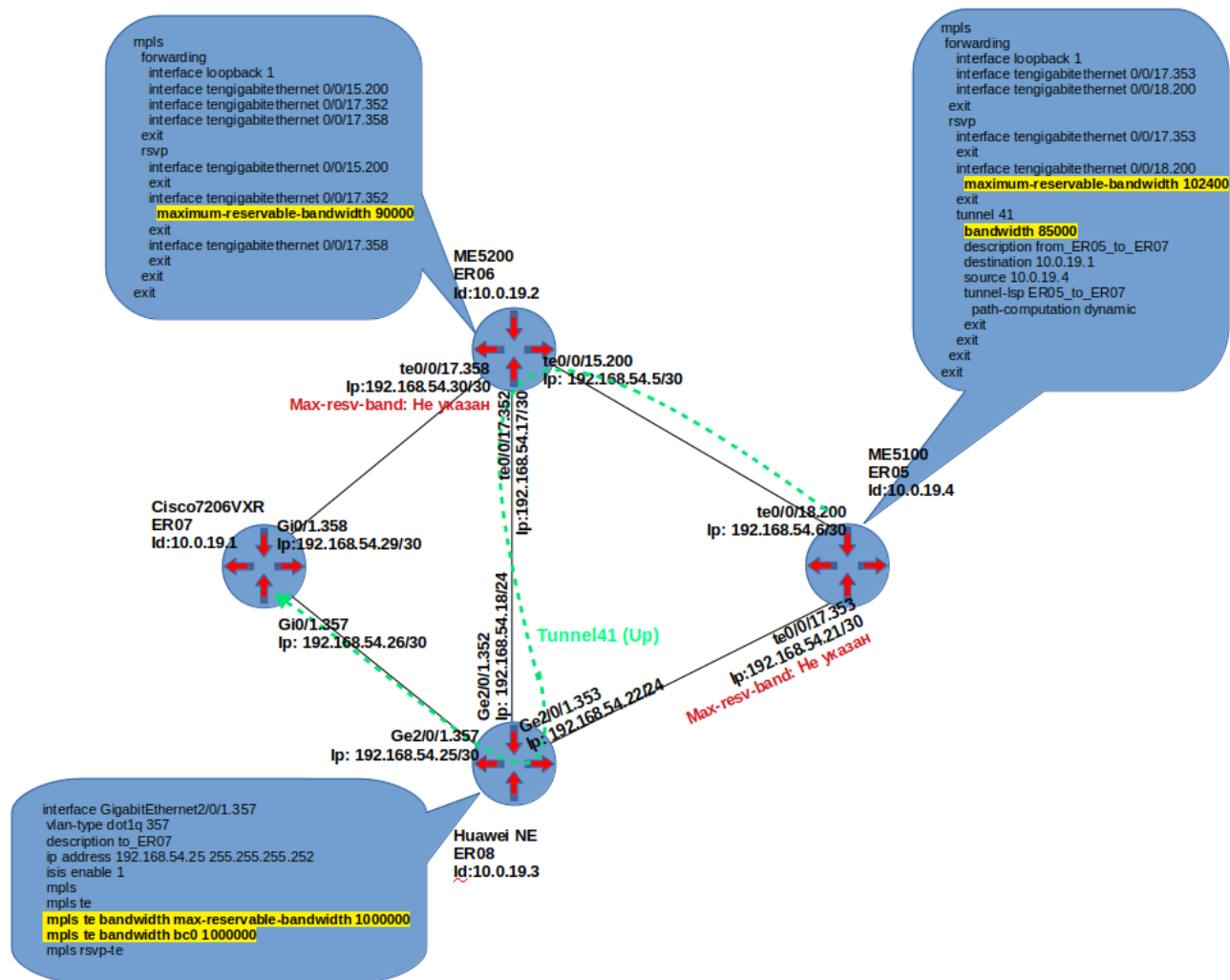


Figure 1. Пример 1: Конфигурация TE-туннеля с требованием резервирования полосы пропускания 85 Mbps.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>rsvp</code>	Переход в режим настройки протокола RSVP.
<code>interface te0/0/17.353</code>	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/17.353.
	IMPORTANT Обратите внимание, что атрибут max-resv-band не указан на исходящем интерфейсе te0/0/17.353.
<code>interface te0/0/18.200</code>	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/18.200.
<code>maximum-reservable-bandwidth 100000</code>	В режиме конфигурации RSVP параметров интерфейса te0/0/18.200 задана максимально возможная для резервирования полоса пропускания - 100Mbps.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации RSVP протокола.

Команда	Назначение
<code>tunnel 41</code>	Создание MPLS TE туннеля с именем 41 и переход в режим его конфигурации.
<code>bandwidth 85000</code>	Требование резервирования полосы пропускания 85 Mbps на исходящих интерфейсах в IGP домене для LSP TE-туннеля.
<code>description from_ER05_to_ER07</code>	Текстовое описание TE-туннеля. Команда не имеет функционального значения, но помогает в анализе конфигурации.
<code>destination 10.0.19.1</code>	Определение IPv4 адреса Egress-LSR-a. Т.е. маршрутизатора где будет терминироваться TE-туннель.
<code>source 10.0.19.4</code>	Определение IPv4 адреса с Ingress LSR-a. Т.е. интерфейса с которого будет стартовать TE-туннель.
<code>tunnel-lsp ER05_to_ER07</code>	Указание имени RSVP LSP TE-туннеля (оно сигнализируется протоколом RSVP) и переход в режим его конфигурации.
<code>path-computation dynamic</code>	Протокол CSPF будет участвовать в расчёте пути.
<code>exit</code>	Возврат в режим настроек TE-туннеля.
<code>exit</code>	Возврат в режим настроек протокола RSVP.
<code>root</code>	Выход в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Обратите внимание на то, как прошел LSP TE-туннеля 41. Если считать, что все линки имеют одинаковую TE метрику, то кратчайшими путями будут:

- ER05 → ER06 → ER07
- ER05 → ER08 → ER07

NOTE

Ответ на вопрос, почему RSVP LSP прошел не самым оптимальным путем - ER05 → ER06 → ER08 → ER07, заключается в том, что в конфигурации исходящих интерфейсов Te0/0/17.353 и Te0/0/17.358 не указан атрибут max-resv-band, а значит, они не могут резервировать полосу пропускания, как того требует конфигурация TE-туннеля 41. Соответственно, алгоритм CSPF рассчитал единственно возможный путь, который удовлетворяет ограничению, накладываемому TE-туннелем 41. На рисунке можно найти и другие интерфейсы, которые не имеют в своей конфигурации атрибута max-resv-band, но для TE-туннеля 41 их конфигурация не имеет значения т.к. они являются входящими, а не исходящими интерфейсами по отношению к его LSP.

Настройка ограничений: explicit path

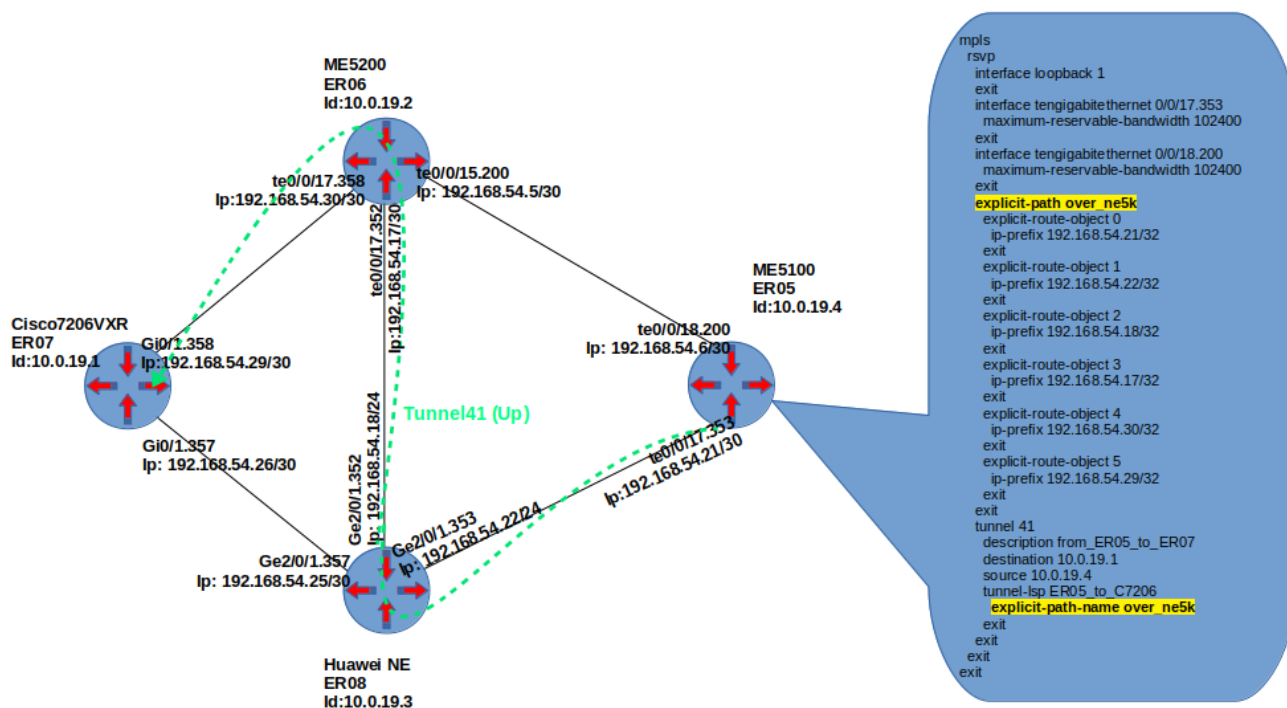


Figure 2. Пример2. Конфигурация TE-туннеля с ограничением в виде explicit path.

В данном примере рассмотрим другой тип ограничений - explicit-path. Предположим, что необходимо явно указать все хопы, через которые должен пройти RSVP LSP. Для этого в примере создается explicit-path 'over_ne5k', в котором указаны все промежуточные ip-интерфейсы, через которые должен пройти LSP. В режиме конфигурации tunnel-lsp TE-туннеля 41 удалена команда 'path-computation dynamic', тем самым активирован режим по умолчанию — 'path-computation explicit'.

На практике указывать все hop-ы в конфигурации explicit-path избыточно и негибко, поэтому обычно указывают только определённые точки, через которые должен пройти LSP, снабжая их атрибутом 'loose' вместо 'strict', а в конфигурации tunnel-lsp TE-туннеля указывают 'path-computation dynamic'.

Пример конфигурации, прокладывающий RSVP LSP тем же путем, но в режиме 'path-computation dynamic':

```
mpls
  rsvp
    interface loopback 1
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/17.353
      maximum-reservable-bandwidth 102400
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/18.200
      maximum-reservable-bandwidth 102400
    exit
    explicit-path over_ne5k
      explicit-route-object 0
        ip-prefix 192.168.54.21/32
      exit
      explicit-route-object 1
        ip-prefix 192.168.54.17/32
        loose
      exit
    exit
  exit
  tunnel 41
    description from_ER05_to_ER07
    destination 10.0.19.1
    source 10.0.19.4
    tunnel-lsp ER05_to_ER07
      explicit-path-name over_ne5k
      path-computation dynamic
    exit
  exit
exit
exit
```

Посмотреть, через какие hop-ы построился RSVP LSP, можно командой:

```
0/ME5100:ER05# show mpls rsvp tunnels-lsp tunnel 41
Tue Sep 17 09:39:31 2019
  Tunnel: 41, id: 1
    LSP name: ER05_to_C7206, signaled-name: 41@ER05_to_C7206, id: 0, Source:
10.0.19.4, Destination: 10.0.19.1
    State: up, Resource status: primary, Protection role: working
    Direction: ingress, Node protect: disabled, Bandwidth protection requirement:
disabled
    Carrying the normal traffic after protection switching: no
    Protected by a fast reroute: none
    Downstream repaired: yes
    Path recording is desired
    SE Style is desired
```

```

LSP rerouting is none
OAM MEP entities are not desired
OAM MIP entities are not desired
  Upstream information:
    Previous hop: 224.0.0.0
  Downstream information:
    Next hop: 192.168.54.5
    Signaling interface: Tengigabitethernet0/0/18.200
    Neighbor: 192.168.54.5
    Label: 17, type: mpls-label
Incoming explicit route hops:
  Index identifying a particular hop: 1, excluded: no
    Explicit route hop prefix: 192.168.54.6/32 <<<<<< 1
  Index identifying a particular hop: 2, excluded: no
    Explicit route hop prefix: 192.168.54.5/32 <<<<<< 2
  Index identifying a particular hop: 3, excluded: no
    Explicit route hop prefix: 192.168.54.30/32 <<<<<< 3
  Index identifying a particular hop: 4, excluded: no
    Explicit route hop prefix: 192.168.54.29/32 <<<<<< 4
Outgoing explicit route hops:
  Index identifying a particular hop: 0, excluded: no
    Explicit route hop prefix: 192.168.54.5/32
  Index identifying a particular hop: 1, excluded: no
    Explicit route hop prefix: 192.168.54.30/32
  Index identifying a particular hop: 2, excluded: no
    Explicit route hop prefix: 192.168.54.29/32
RSVP incoming recorded route object information:
  Index identifying a particular hop: 0
    The address of this recorded route hop: 192.168.54.5, IP prefix flag: none
  Index identifying a particular hop: 1
    Label 17, Type mpls-label
    Is a reverse direction label, Flags: globallabel
  Index identifying a particular hop: 2
    The address of this recorded route hop: 10.0.19.1, IP prefix flag: node-id
  Index identifying a particular hop: 3
    Label 3, Type mpls-label
    Is a reverse direction label, Flags: globallabel
  Index identifying a particular hop: 4
    The address of this recorded route hop: 192.168.54.29, IP prefix flag:
none
  Index identifying a particular hop: 5
    Label 3, Type mpls-label
    Is a reverse direction label, Flags: globallabel
RSVP outgoing recorded route object information:
  Index identifying a particular hop: 0
    The address of this recorded route hop: 192.168.54.5, IP prefix flag: none
  Index identifying a particular hop: 1
    Label 17, Type mpls-label
    Is a reverse direction label, Flags: globallabel
  Index identifying a particular hop: 2
    The address of this recorded route hop: 10.0.19.1, IP prefix flag: node-id

```

```
Index identifying a particular hop: 3
Label 3, Type mpls-label
Is a reverse direction label, Flags: globallabel
Index identifying a particular hop: 4
The address of this recorded route hop: 192.168.54.29, IP prefix flag:
none
Index identifying a particular hop: 5
Label 3, Type mpls-label
Is a reverse direction label, Flags: globallabel
```

Способы перенаправления сервисного трафика в TE-туннель.

После того, как LSP TE-туннеля успешно построен протоколом RSVP, сервисный трафик в него автоматически передаваться не будет. Для того, чтобы перенаправить трафик в RSVP LSP, необходимо выполнить дополнительные действия.

Рассмотрим различные варианты:

- **IGP shortcut** — это способ представить TE-туннель, как интерфейс с включенным IGP-протоколом и назначенной метрикой, при этом информация о данном интерфейсе не анонсируется в IGP домен; следовательно, другие маршрутизаторы не знают о его существовании и не могут переправить трафик через TE-туннель;
- **Static route** — этот способ позволяет, используя статическую маршрутизацию, перенаправить трафик из GRT в TE-туннель.
- **L3VPN Forwarding** — для того, чтобы RSVP LSP рассматривался маршрутизатором как возможный интерфейс для доставки трафика к nexthop'у маршрута в VRF, необходимо выполнить команду 'l3vpn' в режиме конфигурации протокола RSVP;
- **L2VPN switching** — для того, чтобы сервисный трафик из xconnect или bridge-domain мог быть передан через RSVP LSP, необходимо в конфигурации PW L2VPN-сервиса указать команду 'transport rsvp tunnel Name'.

Рассмотрим эти способы более детально.

Пример конфигурации форвардинга трафика из GRT через TE-туннель методом IGP shortcut

На маршрутизаторах серии ME использование метода IGP shortcut позволяет перенаправить в TE-туннель трафик из GRT, но не затрагивает трафик из L2- или L3VPN-сервисов.

Задача: Необходимо обеспечить IP связность между CE1 и CE2 в GRT

Топология:

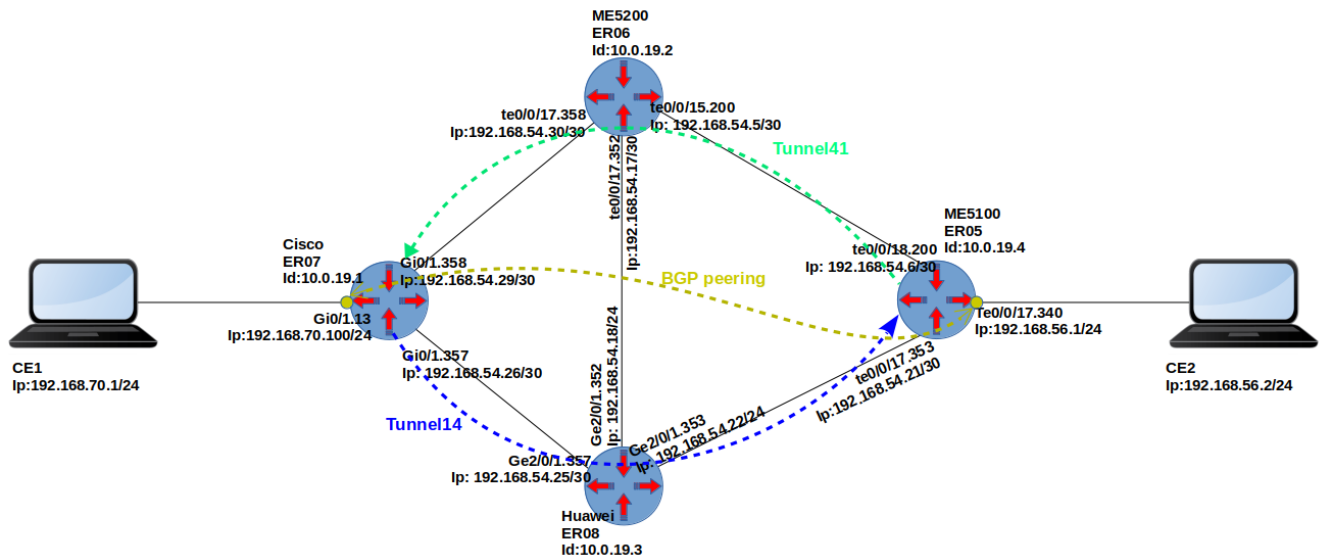


Figure 3. Пример3. Передача трафика из GRT через TE-туннель

На промежуточных Р-маршрутизаторах (ER06 и ER08) нет маршрутной информации о сетях 192.168.70.0/24 и 192.168.56.0/24. Информация о них распространяется по протоколу BGP между PE-маршрутизаторами, следовательно, для обеспечения связности PE-рутеры должны инкапсулировать этот трафик в TE-туннели, построенные между ними.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>mpls</code>	Переход в режим конфигурации функционала MPLS.
<code>rsvp</code>	Переход в режим настройки протокола RSVP.
<code>interface te0/0/17.353</code>	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/17.353.
<code>interface te0/0/18.200</code>	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/18.200.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации RSVP протокола.
<code>tunnel 41</code>	Создаем TE-туннель с именем 41 и переходим в режим его конфигурации.
<code>description from ER05 to ER07</code>	Текстовое описание TE-туннеля для облегчения понимания конфигурации.
<code>destination 10.0.19.1</code>	Команда указывает на LSR-ID Egress маршрутизатора. В нашем примере это ER07.
<code>igp-shortcut metric-type absolute</code>	Команда включает функционал igp-shortcut и определяет тип метрики — absolute.

Команда	Назначение
<code>igp-shortcut metric-value 1</code>	Команда определяет значение IGP метрики для ТЕ-туннеля, равной '1'.
<code>source 10.0.19.4</code>	Команда устанавливает LSR-ID Ingress-маршрутизатора в качестве источника ТЕ-туннеля.
<code>tunnel-lsp ER05_to_C7206</code>	Создаем RSVP LSP с сигнальным именем 'ER05_to_C7206' и переходим в режим его конфигурирования.
<code>explicit-path-name Region-T-N</code>	Команда накладывает ограничение на построение LSP, он должен проходить через hop-ы, указанные в конфигурации explicit-path 'Region-T-N'.
<code>path-computation dynamic</code>	Команда с помощью параметра 'dynamic' определяет использовать алгоритм CSPF для расчёта пути LSP.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

IMPORTANT

После того, как ТЕ-туннель сконфигурирован способом, описанным выше, он все еще не может быть использован для доставки трафика до узла 10.0.19.1, даже если его метрика равна 1, а у альтернативного IGP маршрута метрика 25. **Из-за архитектурных особенностей маршрутизаторов серии ME необходимо включить функционал ЕСМР через команду режима глобальной конфигурации 'router equal-cost'.**

Пример. Детальная конфигурация протокола RSVP для форвардинга трафика из GRT через TE-туннель 41:

```
rsvp
  interface loopback 1
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/17.353
    maximum-reservable-bandwidth 102400
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/18.200
    maximum-reservable-bandwidth 200000
  exit
  explicit-path Region-T-N
    explicit-route-object 1
      ip-prefix 192.168.54.17/32
      loose
    exit
  exit
exit
tunnel 41
  description from_ER05_to_ER07
  destination 10.0.19.1
  igp-shortcut metric-type absolute
  igp-shortcut metric-value 1
  source 10.0.19.4
  tunnel-lsp ER05_to_C7206
  explicit-path-name Region-T-N
    path-computation dynamic
  exit
exit
exit
exit

router equal-cost
```

Пример форвардинга GRT трафика через TE-туннель с помощью статического маршрута

На маршрутизаторах серии ME использование данного метода позволяет перенаправлять трафик из GRT, но не затрагивает трафик L2- или L3VPN-сервисов.

Задача: Необходимо обеспечить IP связность между CE1 и CE2 в GRT

Топология:

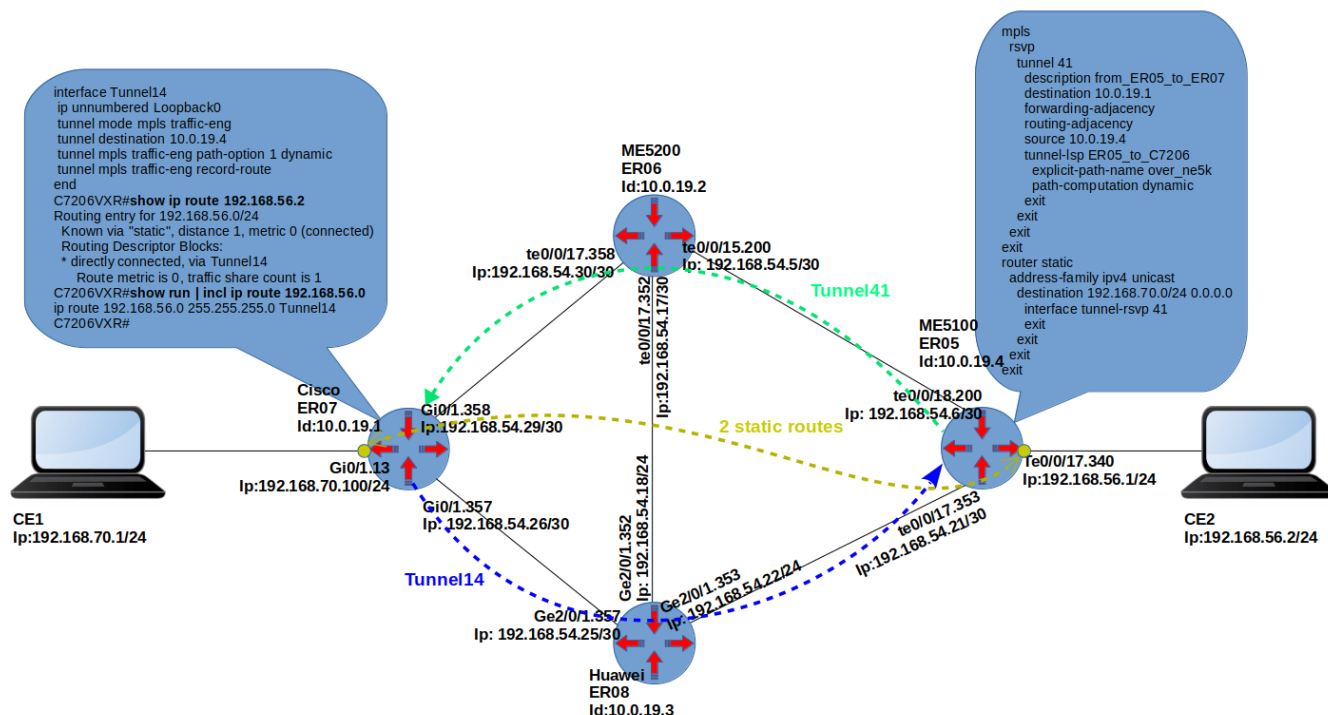


Figure 4. Пример4. Передача трафика из GRT через TE-туннель с помощью статического маршрута

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>rsvp</code>	Переход в режим настройки протокола RSVP.
<code>tunnel 41</code>	Создаем TE-туннель с именем 41 и переходим в режим его конфигурации.
<code>description from_ER05_to_ER07</code>	Текстовое описание TE-туннеля для облегчения понимания конфигурации.
<code>destination 10.0.19.1</code>	Команда указывает на LSR-ID Egress маршрутизатора. В нашем примере это ER07.
<code>forwarding-adjacency</code>	Команда устанавливает атрибут возможности передачи сервисного трафика через RSVP LSP TE-туннеля. IMPORTANT Данная команда обязательна для активации возможности передачи трафика через TE-туннель. Без неё форвардинг сервисного трафика невозможен через TE-туннель.

Команда	Назначение
<code>routing-adjacency</code>	Команда устанавливает признак TE-туннеля как интерфейса, через который можно получать маршрутную информацию. IMPORTANT Данная команда обязательна для активации возможности передачи трафика через TE-туннели. Без неё статический маршрут, использующий TE-туннель как исходящий интерфейс, не будет установлен в таблицу маршрутизации.
<code>source 10.0.19.4</code>	Команда указывает LSR-ID Ingress маршрутизатора в качестве источника TE-туннеля.
<code>tunnel-lsp ER05_to_C7206</code>	Создаем RSVP LSP с сигнальным именем 'ER05_to_C7206' и переходим в режим его конфигурирования.
<code>explicit-path-name over_ne5k</code>	Команда накладывает ограничение в виде использования explicit-path с именем 'over_ne5k'.
<code>path-computation dynamic</code>	Команда с помощью параметра 'dynamic' включает использование алгоритма CSPF для расчёта пути LSP.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример конфигурации статического маршрута через TE-туннель

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router static</code>	Переходим в режим конфигурации статических маршрутов.
<code>address-family ipv4 unicast</code>	Определяем тип address-family и переходим в режим конфигурации дополнительных параметров.

Команда	Назначение
<code>destination 192.168.70.0/24 0.0.0.0</code>	Команда указывает сеть назначения для маршрута IMPORTANT Адрес шлюза необходимо указать равным 0.0.0.0 в случае использования TE-туннеля как исходящего интерфейса.
<code>interface tunnel-rsvp 41</code>	Команда определяет использование TE-туннеля как исходящего интерфейса в статическом маршруте.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Детальная конфигурация протокола RSVP для форвардинга трафика из GRT через TE-туннель 41:

```
mpls
  rsvp
    interface loopback 1
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/17.353
      maximum-reservable-bandwidth 500000
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/18.200
      maximum-reservable-bandwidth 500000
    exit
    explicit-path over_ne5k
      explicit-route-object 1
      ip-prefix 192.168.54.25/32
      loose
    exit
  exit
  tunnel 41
    description from_ER05_to_ER07
    destination 10.0.19.1
    forwarding-adjacency
    routing-adjacency
    source 10.0.19.4
    tunnel-lsp ER05_to_C7206
      explicit-path-name over_ne5k
      path-computation dynamic
    exit
  exit
exit
router static
  address-family ipv4 unicast
    destination 192.168.70.0/24 0.0.0.0
    interface tunnel-rsvp 41
    exit
  exit
exit
exit
```

Пример. Таблица маршрутизации

Cisco 7206 (ER07)	Eltex ME5100 (ER05)
C7206VXR#show ip route 192.168.56.2 Routing entry for 192.168.56.0/24 Known via "static", distance 1, metric 0 (connected) Routing Descriptor Blocks: * directly connected, via Tunnel14 Route metric is 0, traffic share count is 1	0/ME5100:ER05# show route 192.168.70.1 Routing entry for 192.168.70.0/24 Last update: N/A Routing Descriptor Blocks 192.168.54.22, via tu41@ER05_to_C7206 Known via static, distance 1, metric 1 type static, protection none, route-type remote Entries: 1

Пример. Обмен ICMP пакетами

```

C7206VXR#traceroute 192.168.56.2 source 192.168.70.100
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.56.2
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 192.168.54.25 [MPLS: Label 4225 Exp 0] 4 msec 0 msec 0 msec
 2 192.168.54.21 0 msec 0 msec 0 msec
 3 192.168.56.2 4 msec 0 msec 4 msec
C7206VXR#

0/ME5100:ER05# traceroute 192.168.70.1 source 192.168.56.1
Mon Oct 7 16:45:52 2019
Traceroute to 192.168.70.1 (192.168.70.1), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.70.1 (192.168.70.1) 0.323 ms 0.312 ms 0.304 ms
0/ME5100:ER05#

```

Пример конфигурации форвардинга L3VPN-трафика через TE-туннель

На маршрутизаторах серии ME использование данного метода позволяет перенаправить трафик L3VPN-сервисов в TE-туннель.

Задача: Необходимо обеспечить IP-связность между CE1 и CE2 в VRF 'TEST1'

Топология:

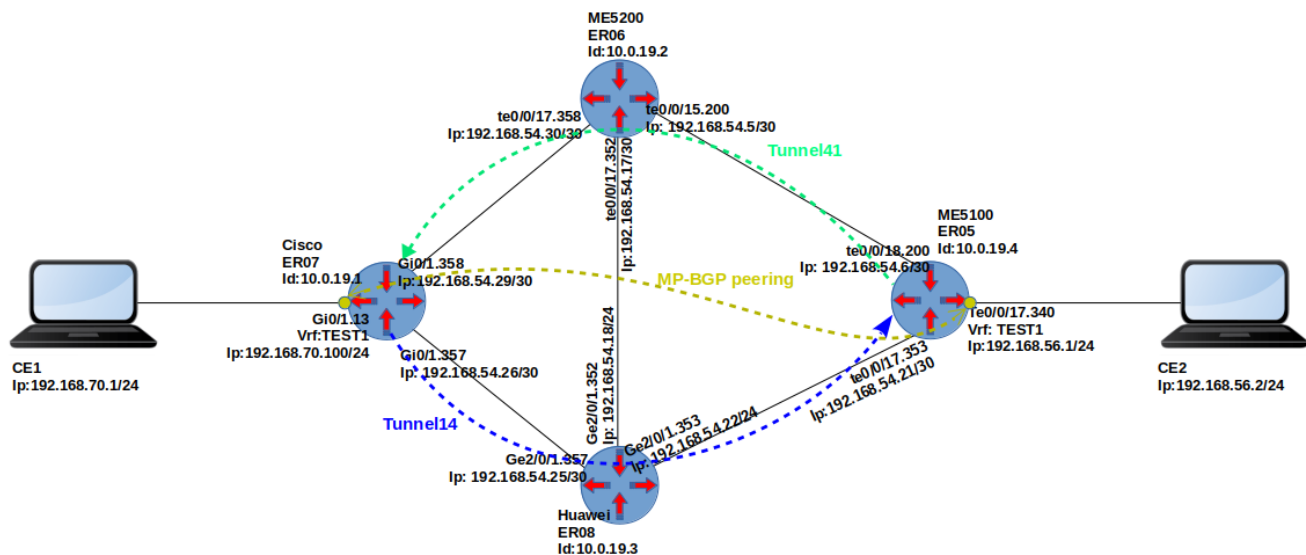


Figure 5. Пример3. Передача сервисного трафика из VRF TEST1 через TE-туннель.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>rsvp</code>	Переход в режим настройки протокола RSVP.
<code>interface te0/0/17.353</code>	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/17.353.
<code>interface te0/0/18.200</code>	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/18.200.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации RSVP протокола.
<code>l3vpn</code>	Включение режима передачи L3VPN трафика через TE-туннели. IMPORTANT Данная команда обязательна для активации возможности передачи трафика через TE-туннели. Команда работает для трафика всех VRF, созданных на данном маршрутизаторе. При наличии RSVP LSP до конкретного nexthop'a, L3VPN маршрут с таким nexthop'ом будет использовать LSP для отправки сервисного трафика.
<code>tunnel 41</code>	Создаем TE-туннель с именем 41 и переходим в режим его конфигурации.

Команда	Назначение
description from ER05 to ER07	Текстовое описание ТЕ-туннеля для облегчения понимания конфигурации.
destination 10.0.19.1	Команда указывает на LSR-ID Egress маршрутизатора. В нашем примере это ER07.
forwarding-adjacency	Команда устанавливает атрибут возможности передачи сервисного трафика через RSVP LSP ТЕ-туннеля. IMPORTANT Данная команда обязательна для активации возможности передачи трафика через ТЕ-туннели. Без неё BGP vpnv4 маршруты, изученные от удалённых PE-маршрутизаторов, не будут установлены в таблицу маршрутизации VRF, т.к. работоспособного транспортного LSP до next-hop-ов, изученных маршрутов не будет (несмотря на то, что ТЕ-туннель в состоянии UP).
routing-adjacency	Команда устанавливает признак ТЕ-туннеля как интерфейса, через который можно получать маршрутную информацию. IMPORTANT Данная команда обязательна для активации возможности передачи трафика через ТЕ-туннели. Без неё BGP vpnv4 маршруты, изученные от удалённых PE-маршрутизаторов, не будут установлены в таблицу маршрутизации VRF, т.к. работоспособного транспортного LSP до next-hop-ов, изученных маршрутов не будет (несмотря на то, что ТЕ-туннель в состоянии UP).
source 10.0.19.4	Команда устанавливает LSR-ID Ingress-маршрутизатора в качестве источника ТЕ-туннеля.
tunnel-lsp ER05_to_C7206	Создаем RSVP LSP с сигнальным именем 'ER05_to_C7206' и переходим в режим его конфигурирования.

Команда	Назначение
<code>explicit-path-name Region-T-N</code>	Команда накладывает ограничение на построение LSP — он должен проходить через hop-ы, указанные в конфигурации <code>explicit-path 'Region-T-N'</code> .
<code>path-computation dynamic</code>	Команда с помощью параметра <code>'dynamic'</code> включает использование алгоритма CSPF для расчёта пути LSP.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Детальная конфигурация протокола RSVP для форвардинга трафика из VRF 'Test1' через TE-туннель:

```

mpls
  rsvp
    interface loopback 1
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/17.353
      maximum-reservable-bandwidth 102400
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/18.200
      maximum-reservable-bandwidth 102400
    exit
    explicit-path Region-T-N
      explicit-route-object 0
      ip-prefix 192.168.54.17/32
      loose
    exit
  exit
  l3vpn
  tunnel 41
    description from_ER05_to_ER07
    destination 10.0.19.1
    forwarding-adjacency
    routing-adjacency
    source 10.0.19.83
    tunnel-lsp ER05_to_C7206
      explicit-path-name Region-T-N
      path-computation dynamic
    exit
  exit
exit
exit

```

Пример. Просмотр таблицы маршрутизации VRF 'TEST1':

```
0/ME5100:ER05# show route vrf TEST1
Tue Sep 17 18:07:07 2019
Codes: C - connected, S - static, O - OSPF, B - BGP, L - local
       IA - OSPF inter area, EA - OSPF intra area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2,
       LE1 - IS-IS level1 external, LE2 - IS-IS level2 external
       BI - BGP internal, BE - BGP external, BV - BGP vpn

C      192.168.56.0/24      is directly connected, 23h59m34s, te0/0/17.340
L      192.168.56.1/32     is directly connected, 23h59m34s, te0/0/17.340
B BV   192.168.70.0/24     via 10.0.19.1 [200/0], 01h00m54s

Total route count: 3
0/ME5100:ER05# show l3forwarding vrf TEST1
Tue Sep 17 18:08:31 2019
Prefix                                     Nexthop
Outgoing label      Interface
-----
192.168.56.1/32     te0/0/17.340      receive
--/--
192.168.56.0/24     te0/0/17.340      attached
--/--
192.168.70.0/24     te0/0/18.200      192.168.54.5/32
39/39
0/ME5100:ER05# ping 192.168.70.1 source 192.168.56.1 vrf TEST1
Tue Sep 17 18:09:58 2019

Sending 4, 56-byte ICMP Echos to 192.168.70.1,
request send interval is 0.100 seconds,
response wait timeout is 2.000 seconds:
!!!!

Success rate is 100 percent (4/4), round-trip min/avg/max = 0.282/0.303/0.314 ms
0/ME5100:ER05#
```

Пример настройки коммутации трафика через L2VPN

На маршрутизаторах серии ME использование данного метода позволяет перенаправить трафик L2VPN-сервисов в TE-туннель.

Задача: Необходимо обеспечить IP связность между CE1 и CE2 через VPLS сервис 'BD-TEST'
Топология:

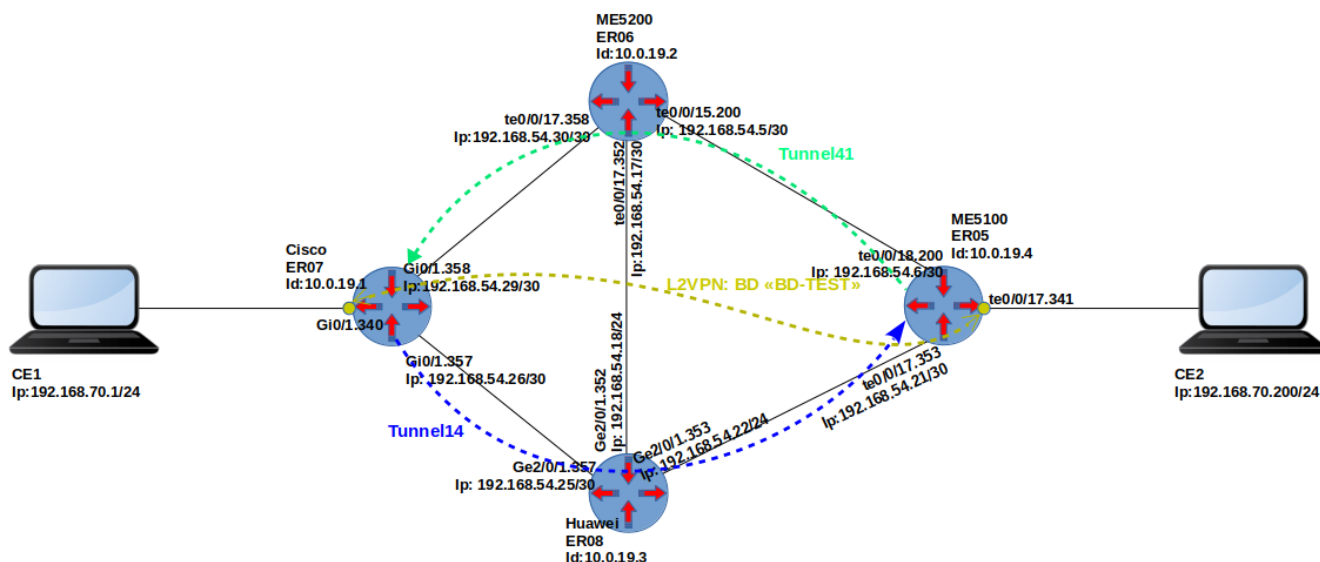


Figure 6. Пример5. Передача сервисного трафика через L2VPN и TE-туннель.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>l2vpn pw-class pwclass01</code>	Создаем pw-class с именем 'pwclass01' и переходим в режим его конфигурирования.
<code>encapsulation mpls signaling-type pseudowire-id-fec-signaling</code>	Указываем набор параметров, необходимых для сигнализации PW.
<code>root</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>l2vpn bridge-domain BD-TEST</code>	Создаём VPLS сервис с именем 'BD-TEST' и переходим в режим его конфигурирования.
<code>interface te0/0/17.341</code>	Указываем интерфейс как AC-интерфейс в VPLS сервисе.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации VPLS <i>BD-TEST</i> .
<code>pw 10.0.19.1 123</code>	Создаем VC интерфейс для обмена метками с ER07 и организации PW-канала для передачи сервисного трафика, а также переходим в режим его конфигурирования.
<code>pw-class pwclass01</code>	Указываем использовать при построении PW параметры из 'pwclass01', который мы создали ранее.
<code>transport rsvp tunnel 41</code>	Указываем использовать TE-туннель 41 в качестве транспортного для этого бридж домена (VPLS).

Команда	Назначение
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.
<code>root</code>	Возрат в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
<code>mpls</code>	Переход в режим конфигурации функционала MPLS.
<code>ldp</code>	Переход в режим конфигурации протокола LDP.
<code>neighbor 10.0.19.1</code>	Создаем remote LDP соседа '10.0.19.1' (ER07) и переходим в режим его конфигурации.
<code>exit</code>	Выходим из режима конфигурации LDP соседа.
<code>transport-address 10.0.19.4</code>	Указываем в качестве source IP для установления LDP соседств собственный LSR-ID.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.
<code>root</code>	Возрат в режим Global Config

Создаем TE-туннель с именем 41

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>rsvp</code>	Переход в режим настройки протокола RSVP.
<code>interface te0/0/17.353</code>	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/17.353.
<code>interface te0/0/18.200</code>	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/18.200.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации RSVP протокола.
<code>tunnel 41</code>	Создаем TE-туннель с именем 41 и переходим в режим его конфигурации.
<code>description from ER05 to ER07</code>	Текстовое описание TE-туннеля для облегчения понимания конфигурации.

Команда	Назначение
<code>destination 10.0.19.1</code>	Команда указывает на LSR-ID Egress маршрутизатора. В нашем примере это ER07.
<code>forwarding-adjacency</code>	Команда устанавливает атрибут возможности передачи сервисного трафика через RSVP LSP TE-туннеля. IMPORTANT Данная команда обязательна для включения возможности передачи трафика через TE-туннели. Обратите внимание, что команда 'routing-adjacency' в данном сценарии не нужна.
<code>source 10.0.19.4</code>	Команда устанавливает LSR-ID Ingress-маршрутизатора в качестве источника TE-туннеля.
<code>tunnel-lsp ER05_to_C7206</code>	Создаем RSVP LSP с сигнальным именем 'ER05_to_C7206' и переходим в режим его конфигурирования.
<code>explicit-path-name Region-T-N</code>	Команда накладывает ограничение на построение LSP, он должен проходить через hop-ы, указанные в конфигурации explicit-path 'Region-T-N' (см раздел передача L3VPN трафика).
<code>path-computation dynamic</code>	Команда с помощью параметра 'dynamic' включает использование алгоритма CSPF для расчёта пути LSP.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.
<code>root</code>	Возрат в режим Global Config

Последний момент — конфигурация AC-интерфейса в L2VPN-сервисе.

Команда	Назначение
<code>interface tengigabitethernet 0/0/17.341</code>	Создание сабинтерфейса и переход в режим его конфигурации
<code>encapsulation outer-vid 341</code>	Указываем внешний (он же единственный в данном примере) vlan-тэг с ID=341.
<code>rewrite egress tag push outer-vid 341</code>	Команда добавляет vlan-тэг с ID 341 к исходящим фреймам саб-интерфейса.

Команда	Назначение
<code>rewrite ingress tag pop one</code>	Команда удаляет внешний vlan-тэг у всех входящих на саб-интерфейс ethernet-фреймов.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.
<code>root</code>	Возрат в режим Global Config

IMPORTANT

Зачем нужны команды push и pop? Это необходимо делать сразу по 2-м причинам. Во-первых, ER07 в тесте это маршрутизатор Cisco, который по умолчанию удаляет VLAN-тэг у ethernet-фрейма, прежде чем отправить его через PW. Маршрутизаторы серии ME при этом не производят никаких преобразований с ethernet-фреймами, пришедшими с AC или VC каналов (кадры уходят с тем же тегами, с какими пришли). Во-вторых, VLAN-ID у AC-интерфейсов, если посмотреть внимательно, разные (340 со стороны ER07, 341 со стороны ER05). В этом случае, даже если PW поднять между маршрутизаторами ELTEX ME, push и pop операции с тэгами необходимы.

Пример.Необходимая конфигурация на маршрутизаторе ER05 в описанном сценарии:

```

interface tengigabitethernet 0/0/17.341
  encapsulation outer-vid 341
  rewrite egress tag push outer-vid 341
  rewrite ingress tag pop one
exit
mpls
  ldp
    neighbor 10.0.19.1
    exit
    transport-address 10.0.19.4
  exit
  rsvp
    interface loopback 1
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/17.353
      maximum-reservable-bandwidth 102400
    exit
    interface tengigabitethernet 0/0/18.200
      maximum-reservable-bandwidth 102400
    exit
    explicit-path Region-T-N
      explicit-route-object 0
      ip-prefix 192.168.54.17/32
      loose
    exit
  exit
tunnel 41
  description from_ER05_to_ER07
  destination 10.0.19.1
  forwarding-adjacency
  source 10.0.19.4
  tunnel-lsp ER05_to_C7206
    explicit-path-name Region-T-N
    path-computation dynamic
  exit
exit
exit
exit
exit

```

Пример. Просмотр статуса VPLS сервиса

```

0/ME5100:ER05# show l2vpn bridge-domain bd-name BD-TEST
Thu Sep 19 09:17:47 2019
MM -- mtu mismatch           Up -- up           GUp -- going up
CM -- control-word mismatch  Dn -- down        GDn -- going down
OL -- no outgoing label      ST -- standby     Lld -- lower layer down
BK -- backup connection      Fl -- failed       Drm -- dormant
SP -- static pseudowire

```

Bridge domain: BD-TEST, state: up

MAC learning: enabled

Local switching: enabled

Flooding Multicast: all

Unknown unicast: enabled

MAC aging time: 300 s, MAC limit: 4000, Action: all, MTU: 1500

Oper-status: up

ACs: 1 (1 up)

PWs: 1 (1 up)

List of ACs:

AC: Tengigabitethernet 0/0/17.341

AC binding status: up, Interface oper state: up

List of PWs:

PW: Neighbor 10.0.19.1, pw-id 123, admin Up, oper Up

Status codes:

PW class: pwclass01, type: ethernet, signaling: pseudowire-id-fec-signaling

PSN type: mpls, encapsulation: MPLS, control word: control-word-not-present

Redundancy state active

Vpn index: 1, type: ls

Created: 2019-09-18 10:01:02, last state change: 14h55m19s ago

	Local	Remote
Label	59	121
Group ID	0	0
MTU	1500	1500
Forwarding	true	true
Customer-facing (ingress) rcv fault	false	false
Customer-facing (egress) send fault	false	false
Local PSN-facing (ingress) rcv fault	false	false
Local PSN-facing (egress) send fault	false	false
Switchover	false	false

Interface description string rcv: none

Remote capabilities:

VC status can be signaled: true

VCCV ID can be signaled : true

Remote node capability:

Manually set PW: false

Protocol has not yet finished cap. determination: false

Signaling the pseudowire: true

Sending the pseudowire: false

List of VFIs:

List of Autodiscovery PWs:

0/ME5100:ER05#

Пример. Просмотр изученных MAC адресов в VPLS сервисе

```
0/ME5100:ER05# show l2vpn mac-table bridge-domain BD-TEST
```

```
Thu Sep 19 09:18:48 2019
```

MAC address	Type	Learned from	LC/location
-------------	------	--------------	-------------

Bridge-domain name

a8:f9:4b:30:92:00	Dynamic	pw 10.0.19.1 123	0/0
-------------------	---------	------------------	-----

BD-TEST

a8:f9:4b:fd:00:40	Dynamic	te0/0/17.341	0/0
-------------------	---------	--------------	-----

BD-TEST

Total objects for this criteria: 2

```
0/ME5100:ER05#
```

МНОГОАДРЕСНАЯ РАССЫЛКА ТРАФИКА (MULTICAST)

В главе рассматриваются протоколы, позволяющие Устройству принимать, обрабатывать и пропускать multicast-трафик, а также схемы применения. Устройство поддерживает протоколы IGMP, PIM и MSDP.

Адресные листы для multicast-протоколов

Адресные листы подобны access-листам; используются для указания действия по отношению к каждому элементу списка, созданного на основе определенного признака и порядкового номера элемента в списке. Признаки, на основе которых формируются эти списки, привязаны к определённым командам multicast-протоколов. Для списка `address-list` признаком является пересечение подсети с адресом группы. Для списка `group-list` признаком является пересечение подсети с адресом группы или в подсети с адресом запрашиваемого источника.

Настройка `address-list`

Таблица 68. Порядок настройки `address-list`

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>multicast address-list WORD</code>	Создание списка адресов с именем WORD и переход в режим его настройки.
<code>seq-num 1</code>	Создание элемента в списке и переход в режим его настройки. Для списка обязательно наличие хотя бы одного элемента.
<code>match address PREFIX</code>	Указание префикса, для которого применяется данное правило. Отсутствие префикса в элементе означает совпадение по любому адресу.
<code>action permit deny</code>	Указание типа действия: отклонить или подтвердить. По умолчанию: <code>permit</code> .
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>multicast address-list</code> .
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример настройки `address-list`

```

multicast address-list no-239
  seq-num 1
    match address 224.0.0.0/4
  exit
  seq-num 2
    match address 239.0.0.0/16
    action deny
  exit
exit

```

Проверка применённых списков адресов:

show multicast address-list

Вывод сконфигурированных списков адресов. Пример:

```

0/ME5100:Router# show multicast address-list
address-list cde
  1 permit 232.0.0.0/8
  2 permit 239.0.0.0/8

address-list test
  1 permit 232.1.1.1/32

```

Настройка group-list

Таблица 69. Порядок настройки group-list

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>multicast address-list WORD</code>	Создание списка адресов с именем WORD и переход в режим его настройки.
<code>seq-num 1</code>	Создание элемента в списке и переход в режим его настройки. Для списка обязательно наличие хотя бы одного элемента.
<code>match group PREFIX/MASK ADDRLIST</code>	Указание префикса группы, для которого применяется данное правило. Отсутствие префикса в элементе означает совпадение по любому адресу. Разрешено указание имени address-list в качестве признака.
<code>match source PREFIX/MASK ADDRLIST</code>	Указание префикса источника, для которого применяется данное правило. Отсутствие префикса в элементе означает совпадение по любому адресу. Разрешено указание имени address-list в качестве признака.
<code>action permit deny</code>	Указание типа действия: отклонить или подтвердить. По умолчанию: <code>permit</code> .

<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>multicast group-list</code> .
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример настройки group-list

```

multicast group-list s101
  seq-num 1
    match group 225.54.205.0/24
    match source 46.61.193.86/32
  exit
  seq-num 2
    match group 224.54.0.0/4
    match source 46.61.193.0/24
    action deny
  exit
exit

```

Проверка применённых списков адресов:

`show multicast group-list`

Вывод сконфигурированных списков групп. Пример:

```

0/ME5100:Router# show multicast group-list
group-list cde
  1 permit group cde

group-list s101
  1 permit source 46.61.193.101/32
  2 deny source 46.61.193.102/32

```

Протокол IGMP

Протокол служит для составления соответствия интерфейсов-получателей multicast-трафика ("подписчиков") и групп (или группа-источник), на которые интерфейс подписан. Информация, при наличии надлежаще настроенного PIM-процесса, переносится в PIM-топологию в виде (S,G) или (*,G)-записей. Настройка протокола выполняется в секции `router igmp`. Реализация протоколов выполнена в соответствии с RFC 2236 и RFC 3376.

Существует ряд функциональных особенностей:

- Нет поддержки проксирования IGMP-запросов, и работы на L2-интерфейсах для реализации IGMP snooping.
- Реализован функционал IGMP Querier: поддержан обмен сообщениями между несколькими Querier в широковещательном сегменте и обмен сообщениями с получателями трафика. Работа в нескольких режимах одновременно (v2-v3) не

поддержана.

Порядок настройки IGMP

1. Выполнить предварительную настройку;
2. При необходимости, изменить протокольные настройки на интерфейсах, выставленные по умолчанию;
3. При необходимости, добавить обработку ssm.

Предварительная настройка IGMP

Работа IGMP возможна только на L3-интерфейсах. Таким образом, на интерфейсах, выбранных для работы в качестве IGMP-Querier, необходимо задать ip-адрес:

```
interface tengigabitethernet 0/0/7.10
  description "Multicast receivers 1"
  ipv4 address 192.168.10.1/24
exit
interface tengigabitethernet 0/0/7.400
  description "Multicast receivers 2"
  ipv4 address 192.168.100.1/24
exit
```

Настройка протокола IGMP

Таблица 70. Порядок настройки IGMP

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router igmp</code>	Создание IGMP процесса и переход в режим его настройки.
<code>vrf WORD</code>	(Опционально) Запуск IGMP-процесса в указанном VRF и переход в режим настройки этого процесса. Нижеследующие команды применимы для процесса внутри global table и внутри специфичного vrf.
<code>ssm addresses NAME</code>	(Опционально) Переопределение списка адресов NAME, считающегося SSM-диапазоном.
<code>ssm mapping source SRCADDR</code>	(Опционально) Перейти в режим настройки диапазона групп, для которого будет добавлен адреса источника SRCADDR.
<code>address-list GROUPADDR</code>	(Опционально) Указание диапазона групп, для которого будет добавлен адреса источника SRCADDR
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>router igmp</code> .

<code>interface TYPE NUM</code>	Включение Querier на соответствующем (саб)интерфейсе в процесс и переход в режим настройки параметров LDP для данного интерфейса.
<code>version NUM</code>	(Опционально) Указание, с какой версией выполнять отправку сообщений QUERY и обрабатывать сообщения REPORT.
<code>filter groups NAME</code>	(Опционально) Применение списка фильтрации <i>NAME</i> .
<code>groups-limit NUM</code>	(Опционально) Установка максимального количества уникальных адресов групп из всех IGMP-записей, по исчерпанию которых новые записи создаваться не будут. По умолчанию: 0, не задано.
<code>sources-limit NUM</code>	(Опционально) Установка максимального количества уникальных адресов источников из всех IGMP-записей, по исчерпанию которых, новые записи создаваться не будут. По умолчанию: 0, не задано.
<code>immediate-leave</code>	(Опционально) Удаление IGMP-записи с интерфейса при получении сообщения LEAVE без отправки GROUP SPECIFIC QUERY.
<code>last-member-query-interval SEC</code>	(Опционально) Установка таймера времени ожидания на GROUP SPECIFIC QUERY, по истечению которого будет удалена IGMP-запись.
<code>query-interval SEC</code>	(Опционально) Установка значения таймера после отправки сообщения GENERAL QUERY. По умолчанию: 125 секунд.
<code>query-response-interval SEC</code>	(Опционально) Установка значения таймера отправляемого в сообщениях GENERAL QUERY. Влияет на время, случайным образом, но в пределах которого подписчики должны отправить REPORT. И влияет на максимальный таймаут неответа на сообщения GENERAL QUERY, после которого IGMP-запись будет удалена. По умолчанию: 10 секунд.
<code>robustness NUM</code>	(Опционально) Установка значения множителя отправок сообщений GENERAL QUERY и GROUP SPECIFIC QUERY. Влияет на максимальный таймаут неответа на сообщения GENERAL QUERY, после которого IGMP-запись будет удалена. По умолчанию: 2.
<code>promiscuous disable</code>	(Опционально) Отключение обработки сообщений REPORT от подписчиков с адресов, не принадлежащих сети Querier.
<code>static-group GROUPADDR</code>	(Опционально) Создание статической IGMP-записи с указанием адреса группы и переход в режим её настройки.
<code>static-source SRCADDR</code>	(Опционально) Указание адреса источника для статической IGMP-записи.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>router igmp interface</code> .

<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>router igmp</code> .
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример настройки IGMP

```
router igmp
  ssm addresses ssm-addresses
  ssm mapping source 46.61.194.55
    address-list k1
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/7.10
    version 2
    immediate-leave
    robustness 3
  exit
  interface tengigabitethernet 0/0/7.400
    version 2
    filter groups s101
    static-group 225.54.205.140
    exit
    static-group 232.1.1.1
      static-source 77.77.77.77
    exit
  exit
exit
```

Проверка работоспособности протокола IGMP

show igmp groups

Вывод текущих групп, обработанных Querier или заданных статически. Пример:

```
0/ME5100:Router# show igmp groups
IGMP Connected Group Membership
```

Group Address Reporter	Interface	Uptime	Expires	Last
-----	-----	-----	-----	
225.54.205.135	te 0/0/7	00h00m42s	00h04m19s	
192.168.10.100				
225.54.205.140	te 0/0/7	02h38m01s	never	0.0.0.0
225.54.205.140	te 0/0/7.400	02h38m01s	never	0.0.0.0
232.1.1.1	te 0/0/7.400	02h38m01s	never	0.0.0.0

show igmp interfaces

Вывод использующихся настроек версии, таймеров Querier и статистика принятых сообщений. Пример:

```
0/ME5100:Router# show igmp interfaces
Tengigabitethernet 0/0/7.10 IGMP status is up
IGMP is enabled on interface
Promiscuous mode enabled
Current IGMP version is 2
IGMP query interval is 125 seconds
IGMP querier timeout is 0 seconds
IGMP max query response time is 10 seconds
Last member query response interval is 1 seconds
IGMP activity: 0 joins, 2 leaves
IGMP querying router is 192.168.123.100 (this system)
```

show igmp sources

Вывод текущих групп с запрошенным источником, обработанных Querier или заданных статически. Пример:

```
0/ME5100:Router# show igmp sources
```

Group Address codes	Source Address	Interface	Origin
232.1.1.1	77.77.77.77	te 0/0/7.400	static

show igmp ssm map

Вывод таблицы соответствия адресов SSM-диапазона и применяемого к нему адреса источника. Пример:

```
0/ME5100:Router# show igmp ssm map
```

Source Address	Address list
46.61.193.101	cde

show igmp summary

Вывод обобщенной информации о группах на каждом включенном IGMP-интерфейсе. Пример:

```
0/ME5100:Router# show igmp summary
```

```
IGMP summary
```

```
No. of Group x Interfaces: 4
```

```
Enabled Interfaces: 3
```

```
Disabled Interfaces: 1
```

Interface	Grp No	Max Grp No	Robustness
te 0/0/3	0	0	2
te 0/0/7	2	1000	2
te 0/0/7.10	0	0	3
te 0/0/7.400	2	0	2

show igmp traffic

Вывод статистики по IGMP-сообщениям. Пример:

```
0/ME5100:Router# show igmp traffic
```

```
IGMP Traffic Counter
```

```
Number of queries Received and Processed:
```

```
Queries: 0
```

```
Reports: 33
```

```
Leaves: 11
```

```
Total: 44
```

```
Number of queries Filtered:
```

```
Protocol Version failed: 0
```

```
Query version failed: 45
```

```
Limit failed: 0
```

```
Group source failed: 0
```

```
Link local failed: 82
```

```
Other reason failed: 0
```

```
Total failed: 127
```

```
Number of queries Bad:
```

```
Checksum: 0
```

```
Router alert: 0
```

```
SSM range: 0
```

```
Other reason: 0
```

```
Total: 0
```

```
Total number of queries sent: 44
```

Протокол PIM

Протокол служит для маршрутизации multicast, использует таблицу маршрутизации unicast на устройстве. Протокол предполагает установку соседств через выбранные интерфейсы и формирование топологии через проверку RPF, построение деревьев и формирование (*,G) и

(S,G) записей. Реализация протоколов выполнена в соответствии с RFC 4601, RFC 3973 и RFC 3956.

Существует ряд функциональных особенностей:

- Устройство поддерживает только Sparse mode (SM) и может работать в режиме ASM и SSM;
- В текущей версии на устройстве поддержана настройка протокола BSR;
- Поддерживается Anycast-RP для повышения отказоустойчивости.

Порядок настройки PIM

1. Выполнить предварительную настройку;
2. Указать диапазоны обрабатываемых групп и режим их работы;
3. При наличии интерфейсов для построения соседств применить их в конфигурацию PIM;
4. При наличии IGMP-интерфейсов применить их в конфигурацию PIM в режиме passive;
5. При наличии интерфейса с мультикаст-потоками применить их в конфигурацию PIM в режиме passive;
6. При необходимости изменить протокольные настройки на интерфейсах, выставленные по умолчанию;
7. При необходимости изменить прочие протокольные настройки, выставленные по умолчанию.

Предварительная настройка PIM

Работа PIM основывается на таблице маршрутизации unicast и используется для RPF и построения деревьев. Таким образом, должны быть созданы ip-интерфейсы, на которых будут впоследствии включены PIM-соседства, и те, на которые придёт поток multicast. В последнем случае для создания (S,G) записей в топологии, подсеть интерфейса должна охватывать адреса источников multicast.

Пример настройки интерфейсов для организации соседств и определения потока multicast

```
interface tengigabitethernet 0/0/9
  description "Neighborhood with me5100_17_134 te 0/0/9"
  ipv4 address 100.26.134.134/24
exit
interface tengigabitethernet 0/0/1.30
  description "Obtain multicast with address 46.61.193.86"
  ipv4 address 46.61.193.134/24
  encapsulation outer-vid 30
exit
```

Настройка протокола PIM

Таблица 71. Порядок настройки PIM

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router pim</code>	Создание IGMP процесса и переход в режим его настройки.
<code>vrf WORD</code>	(Опционально) Запуск PIM-процесса в указанном VRF и переход в режим настройки этого процесса. Нижеследующие команды применимы для процесса внутри global table и внутри специфичного vrf.
<code>address-family ipv4 ipv6 interface TYPE NUM</code>	Добавление интерфейса для обработки протоколом на устройстве и переход в режим его настройки.
<code>assert-override-interval SEC</code>	(Опционально) Задание интервала до следующей попытки отправки сообщения Assert, от последнего принятого сообщения Assert, если процесс на интерфейсе проиграл данные выборы.
<code>bsr-border</code>	(Опционально) Задание границы работы BSR. При наличии опции интерфейс перестанет отправлять и обрабатывать сообщения Bootstrap. По умолчанию интерфейс принимает и обрабатывает BSR-сообщения.
<code>dr-priority NUM</code>	(Опционально) Задание приоритета для выбора Designated router. При равных DR в домене выбирается хост со старшим адресом. По умолчанию: 1.
<code>hello-interval SEC</code>	(Опционально) Задание интервала между отправками сообщений PIM Hello с выбранного интерфейса. По умолчанию: 30 секунд.
<code>join-prune-interval SEC</code>	(Опционально) Задание интервала между отправками сообщений PIM Join/Prune с выбранного интерфейса согласно своей топологии. По умолчанию: 60 секунд.
<code>join-prune-holdtime SEC</code>	(Опционально) Задание времени удержания записей PIM Join/Prune в своей топологии. Обнуляется при получении Join/Prune на соответствующую запись. По умолчанию: 210 секунд.
<code>sg-state-limit NUM</code>	(Опционально) Задание максимального количества записей (S,G) обрабатываемых на указанном интерфейсе. По умолчанию: 0, лимита нет.
<code>star-g-state-limit NUM</code>	(Опционально) Задание максимального количества групп, для которых создаются записи (*,G, I) на указанном интерфейсе. По умолчанию: 5 секунд.
<code>triggered-hello-interval SEC</code>	(Опционально) Задание максимального значения интервала от старта процесса на интерфейсе до первой отправки PIM Hello, выбирается случайным образом от 0 до указанного значения. По умолчанию: 30 секунд.
<code>passive-interface</code>	(Опционально) Отключение создания соседства на данном интерфейсе.

<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>router pim</code> .
<code>keep-alive SEC</code>	(Опционально) Задание времени удержания записей (S,G) при отсутствии сообщений (S,G)Join. По умолчанию: 210 секунд.
<code>register probe-time SEC</code>	(Опционально) Задание времени ожидания сообщения Register-Stop после отправки Null-Register. По истечению стартуует инкапсуляция multicast-трафика в сторону RP. По умолчанию: 5 секунд.
<code>register suppression-time SEC</code>	(Опционально) Задание максимального интервала от получения сообщения Register-Stop до прекращения инкапсуляции multicast-трафика в сторону RP. Выбирается случайным образом от 0 до указанного значения. По умолчанию: 60 секунд.
<code>trap interface state change</code>	(Опционально) Включение отправки SNMP-трапов при изменении статуса PIM-интерфейса.
<code>address-family ipv4 ipv6 static-rp PREFIX/MASK</code>	(Опционально) Создание диапазона групп для обработки протоколом на устройстве и переход в режим её настройки.
<code>pim-mode asm ssm</code>	Выбор режима работы PIM для настраиваемого диапазона групп. По умолчанию: ASM.
<code>rp-address ADDR</code>	Задание адреса Rendezvous Point для настраиваемого диапазона групп, если выбран режим ASM.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>router pim</code> .
<code>address-family ipv4 ipv6 anycast-rp ANYCAST-ADDR RP-ADDR</code>	(Опционально) Задание соответствия адреса RP и общего ip-адреса.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>router pim</code> .
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример настройки PIM

```

router pim
  address-family ipv4 static-rp 225.54.0.0/16
    rp-address 10.0.0.134
  exit
  address-family ipv4 interface tengigabitethernet 0/0/9
  exit
  address-family ipv4 interface tengigabitethernet 0/0/1.30
    passive-interface
  exit
exit

```

Проверка работоспособности протокола PIM

show pim topology

Вывод текущих PIM-записей с их типами, состояниями, nexthop, rpf и списком исходящих интерфейсов. Например, вывод топологии для локального получателя с построенным SPT-деревом:

```
0/ME5100:Router# show pim topology
IP PIM Multicast Topology Table
Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Mode, Protocol, Uptime, Info
Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

(46.61.193.86, 225.54.205.135) SPT, asm, Up: 00h00m29s
JP: joined (00h00m30s), RPF: Tengigabitethernet 0/0/12.10, nexthop:
110.26.134.134, protocol: isis, prefix: 46.61.193.0/24
No interfaces in immediate olist

(46.61.193.86, 225.54.205.135) RPT not-prune, Up: 00h00m00s
No interfaces in immediate olist

(*, 225.54.205.135) asm, Up: 00h00m29s, RP: 10.0.0.134 is not local (config)
JP: joined (00h00m30s), RPF: Tengigabitethernet 0/0/12.10, nexthop:
110.26.134.134, protocol: isis, prefix: 10.0.0.134/32
te0/0/7 asm, Up: 00h00m29s is local
```

Пример вывода топологии для устройства, принимающего 2 multicast-группы:

```
0/ME5100:Router# show pim topology
IP PIM Multicast Topology Table
Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Mode, Protocol, Uptime, Info
Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

(46.61.193.86, 225.54.205.135) SPT, asm, Up: 04h20m23s
JP: joined (never), RPF: Tengigabitethernet 0/0/1.30, nexthop: 46.61.193.86,
protocol: local, prefix: 46.61.193.0/24
No interfaces in immediate olist

(46.61.193.86, 225.54.205.136) SPT, asm, Up: 04h20m23s
JP: joined (never), RPF: Tengigabitethernet 0/0/1.30, nexthop: 46.61.193.86,
protocol: local, prefix: 46.61.193.0/24
te0/0/9.10 asm, Up: 00h00m47s is not local
```

show pim interfaces

Вывод сконфигурированных pim-интерфейсов: их состояний, количества соседств и выбранный DR в домене.

```
0/ME5100:Router# show pim interfaces
IPv4
```

Address Suppress DR	Interface	Status	Nbr Count	Hello Intvl	DR pri
-----	-----	-----	-----	-----	-----
100.111.134.134/24 true local	te0/0/10	up	1	30	1
100.26.134.134/24 true local	te0/0/9	up	1	30	1
101.26.134.134/24 true local	te0/0/1.1133	up	1	30	1
46.61.193.134/24 true local	te0/0/1.30	up	0	30	1
110.26.134.134/24 true local	te0/0/9.10	up	1	30	1

show pim summary

Вывод обобщенной информации о записях различного типа.

```
0/ME5100:Router# show pim summary
PIM IPv4 State Counters
```

	Current	Maximum	Warning-
threshold			
Groups (*,G)	3	0	0
Groups (S,G)	2	0	0
Groups (*,G,I)	3	0	0
Groups (S,G,I)	1	0	0
Null Register messages received:	0		
Number diff source addr known:	2		
Number diff Rendezvous Point:	4		

show pim group-map

Вывод таблицы соответствия диапазонов multicast-групп, назначенной RP и способа задания соответствия.

```
0/ME5100:Router# show pim group-map
IP PIM Group Mapping Table
(* indicates group mappings being used)
Group Range          Proto Client RP address
-----
239.0.0.0/8*         asm   config 10.0.0.26
239.1.128.0/24*      asm   config 10.0.0.26
225.54.205.0/24*     asm   config 10.0.0.134
232.1.1.1/32         ssm   config 0.0.0.0
225.0.0.0/8*         asm   bsr     10.0.0.3
232.0.0.0/8*         ssm   config 0.0.0.0
239.1.200.0/21*      asm   config 10.0.0.111
ff3e::/32*           ssm   config ::
```

show pim traffic

Вывод статистики по сообщениям PIM Register различного вида.

```
0/ME5100:Router# show pim traffic
PIM Traffic Counters
```

	IPv4	IPv6
Register msg sent:	587	0
Register msg rcv:	587	0
Register msg err:	0	0
Register-Stop msg sent:	587	0
Register-Stop msg rcv:	587	0
Register-Stop msg err:	0	0
PIM unsupported msg rcv:	0	0
PIM unknown type msg rcv:	0	0
PIM unknown version msg rcv:	0	0
PIM bad checksum version msg rcv:	0	0
PIM bad length version msg rcv:	0	0

Протокол MSDP

Протокол служит для обмена информацией об имеющихся записях (S,G,RP) между соседями, находящимися в разных PIM-доменах. Устройство создаёт TCP-сессии с настроенными и доступными пирами, импортирует локальные (S,G)-записи из топологии PIM, производит рассылку согласно правилам фильтрации и MESH-модели, импортирует записи из чужих Source-Active-сообщений и устанавливает их в локальную PIM-топологию. Реализация протоколов выполнена в соответствии с RFC 3618.

Порядок настройки MSDP

1. Обеспечить доступность адресов пиров согласно в таблице маршрутизации unicast;
2. Указать connect-source, сконфигурировать соседей и распределить их согласно MESH-

модели сети;

3. При необходимости изменить прочие протокольные настройки, выставленные по умолчанию.

Предварительная настройка MSDP

Работа MSDP основывается на таблице маршрутизации unicast, используется для RPF и построения деревьев. В случае, если устройство выступает в роли получателя multicast, протокол используется для импорта записей (S,G) из топологии PIM.

Пример настройки интерфейсов для организации соседств и определения потока multicast

```
router pim
  address-family ipv4 static-rp 225.54.0.0/16
    rp-address 10.0.0.134
  exit
  address-family ipv4 interface tengigabitethernet 0/0/1.30
    passive-interface
  exit
```

Пример вывода о доступности маршрута соседа и локальных (S,G) записей.

```
0/ME5100:Router# show route 10.0.0.26
Routing entry for 10.0.0.26/32
  Last update: N/A
  Routing Descriptor Blocks
    100.26.134.26, via te 0/0/9
    Known via isis, distance 116, metric 20
    type isis-level2-internal, protection N/A, route-type remote
0/ME5100:Router# show pim topology
IP PIM Multicast Topology Table
Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Mode, Protocol, Uptime, Info
Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info

(46.61.193.86, 225.54.205.135) SPT, asm, Up: 06h15m17s
  JP: joined (never), RPF: Tengigabitethernet 0/0/1.30, nexthop: 46.61.193.86,
  protocol: local, prefix: 46.61.193.0/24
  No interfaces in immediate olist

(46.61.193.86, 225.54.205.136) SPT, asm, Up: 06h15m17s
  JP: joined (never), RPF: Tengigabitethernet 0/0/1.30, nexthop: 46.61.193.86,
  protocol: local, prefix: 46.61.193.0/24
  No interfaces in immediate olist
```

Настройка протокола MSDP

Таблица 72. Порядок настройки MSDP

Команда	Назначение
---------	------------

<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router msdp</code>	Создание MSDP процесса и переход в режим его настройки.
<code>vrf WORD</code>	(Опционально) Запуск IGMP-процесса в указанном VRF и переход в режим настройки этого процесса. Нижеследующие команды применимы для процесса внутри global table и внутри специфичного vrf.
<code>connect-source ADDR</code>	Указать адрес, с которого будет строиться сессия (в сторону старшего адреса) или который будет ожидать сообщений (от младшего адреса).
<code>originator-ip ADDR</code>	(Опционально) Указать адрес, который будет указываться в качестве RP в сообщениях Source-Active. По умолчанию равняется connect-source.
<code>keepalive SEC</code>	(Опционально) Интервал отправки сообщений TCP Keepalive. По умолчанию: 60 секунд.
<code>holdtime SEC</code>	(Опционально) Время жизни сессий с поднятыми пирами. По умолчанию: 75 секунд.
<code>cache-sa-holdtime SEC</code>	(Опционально) Время жизни записи в кэше Source-Active. По умолчанию: 150 секунд.
<code>peer ADDR</code>	Создание пира и вход в режим его конфигурации.
<code>connect-source ADDR</code>	(Опционально) Указать адрес, с которого будет строиться сессия (в сторону старшего адреса) или который будет ожидать сообщений (от младшего адреса) для конкретного пира.
<code>mesh-group NUM</code>	(Опционально) Указать индекс MESH-группы, в рамках которой не будут рассылаться сообщения SA.
<code>description STRING</code>	(Опционально) Задать описание пира.
<code>shutdown</code>	(Опционально) Отключить создание сессии с указанным пиром.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>router msdp</code> .
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Таблица 73. Порядок настройки листов фильтрации MSDP

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>router msdp</code>	Переход в режим настройки MSDP.
<code>peer ADDR</code>	Переход в режим конфигурации пира.
<code>sa-filter in NUM</code>	Создание фильтра на записи из входящих SA-сообщений.
<code>group-address IPv4(A.B.C.D)/WCARD(A.B.C.D) any</code>	Задание wildcard-записи для матчинга адреса группы.

<code>source-address</code> <code>IPv4(A.B.C.D)/WCARD(A.B.C.D) any</code>	Задание wildcard-записи для матчинга адреса источника.
<code>rp-address</code> <code>IPv4(A.B.C.D)/WCARD(A.B.C.D) any</code>	Задание wildcard-записи для матчинга адреса RP.
<code>action permit deny</code>	Действие для созданного фильтра: <code>permit</code> — разрешить, <code>deny</code> — отклонить. По умолчанию: разрешить.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурации <code>router msdp peer</code> .
<code>sa-filter out NUM</code>	Создание фильтра для (S,G,RP) записей при формировании исходящего SA-сообщения. Правила создания фильтра аналогичны вышеописанным.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример настройки MSDP

```
router msdp
 connect-source 10.0.0.134
 keepalive 60
 originator-ip 10.0.0.144
 peer 10.0.0.111
   sa-filter out 1
     source-address any
     group-address any
     rp-address 10.0.0.134/0.0.0.0
   exit
 mesh-group 1000
exit
peer 10.0.0.26
  mesh-group 1000
exit
```

Проверка работоспособности протокола MSDP

show msdp source-active

Выводит таблицу соответствия (S,G,RP) и место происхождения. Пример локальных source-active:

```
0/ME5100:Router# show msdp source-active
```

Group Address	Source address	Peer address	Originator	Uptime
225.54.205.135	46.61.193.86	local	10.0.0.144	07h38m04s
225.54.205.136	46.61.193.86	local	10.0.0.144	07h38m04s

Пример source-active принятых от соседа:

```
0/ME5100:Router# show msdp source-active
```

Group Address	Source address	Peer address	Originator	Uptime
225.54.205.135	46.61.193.86	10.0.0.134	10.0.0.144	00h13m12s
225.54.205.136	46.61.193.86	10.0.0.134	10.0.0.144	00h13m12s

Пример PIM-топологии, содержащей импортированные SA:

```
0/ME5100:Router# show pim topology
```

```
IP PIM Multicast Topology Table
```

```
Entry state: (*S,G)[RPT/SPT] Mode, Protocol, Uptime, Info
```

```
Interface state: Name, Uptime, Fwd, Info
```

```
(46.61.193.86, 225.54.205.135) asm, Up: 00h11m23s
```

```
JP: not-joined (never), RPF: Tengigabitethernet 0/0/12, nexthop: 100.26.134.134,  
protocol: isis, prefix: 46.61.193.0/24
```

```
No interfaces in immediate olist
```

```
(46.61.193.86, 225.54.205.136) asm, Up: 00h11m23s
```

```
JP: not-joined (never), RPF: Tengigabitethernet 0/0/12, nexthop: 100.26.134.134,  
protocol: isis, prefix: 46.61.193.0/24
```

```
No interfaces in immediate olist
```

show msdp peers

Выводит таблицу настроенных пиров, адресов, состояния и статистики. Пример:

```
0/ME5100:Router# show msdp peers
```

Peer Address	Local address	State	Uptime/Downtime	Active SA Count	TLV
sent/recvd	Mesh-Group				
10.0.0.26	10.0.0.134	ESTABLISHED	01h03m34s	0	
128/64	1000				

НАСТРОЙКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

QoS

В данной главе рассматриваются принципы настройки системы обеспечения качества обслуживания сети. Параметры качества обслуживания (Quality of Service) позволяют приоритезировать прохождение определенных типов трафика, производить перемаркировку (изменение приоритета) транзитному трафику, а также задавать полосу пропускания для разных типов трафика на различных интерфейсах. На маршрутизаторах серии ME можно гибко регулировать политики прохождения трафика.

Перемаркировка L3 трафика

В приведенном примере требуется клиентский трафик ограничивать в 20Mbit/s в обоих направлениях, и, в то же время, не давать возможности приоритезированному от клиента трафику использовать ресурсы классов cs6 и cs7 (например, в дизайне под данные типы классов заложены каналы мониторинга и управления сети).

Таблица 74. Создание и настройка QoS-профайлов.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>qos</code>	Переход в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
<code>shape profile PROFILE_NAME</code>	Создание ограничительного профиля для исходящего трафика. В данной версии ПО шейпинг применим только для исходящего трафика.
<code>rate KBPS</code>	Задание ограничительной скорости, при достижении которой превышающий трафик будет отброшен. Данный параметр является обязательным.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
<code>rate-limit profile PROFILE_NAME</code>	Создание ограничительного профиля для входящего трафика. В данной версии ПО входящий трафик возможно ограничить только посредством применения rate-limit.

Команда	Назначение
<code>rate KBPS</code>	Задание ограничительной скорости, при достижении которой превышающий трафик будет отброшен. Данный параметр является обязательным.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.

Теперь для того, чтобы как-то пометать приходящий клиентский трафик, необходимо создать *tc-map* (карта классов трафика). На основе данной карты пакеты будут пометаться внутренними для устройства маркерами - *tc* -, и уже на их основе проводиться выбранное пользователем действие - классификация в необходимый класс с помощью *class-map* или перемаркировка.

Таблица 75. Создание и настройка *tc-map*.

Команда	Назначение
<code>tc-map MAP_NUMBER</code>	Создание карты классов трафика.
<code>ipv4-dscp DSCP_VALUE</code>	Определяем какое значение DSCP в IPv4 пакете будет пометаться маркерами <i>tc</i> .
<code>tc INTERNAL_TC_VALUE</code>	Назначаем номер внутреннего для устройства <i>tc</i> -маркера. Данный параметр является обязательным.
<code>set ipv4-dscp DSCP_VALUE</code>	Применяем перемаркировку DSCP на необходимое значение по дизайну.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.

Остаётся последний шаг - применение на клиентский интерфейс *shape profile* для ограничения исходящей скорости, *rate-limit profile* для ограничения входящей скорости и *tc-map* для перемаркировки входящего от клиента маркированного трафика в нужный класс.

Таблица 76. Применение *qos*-настроек на интерфейс.

Команда	Назначение
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num num.subif_id</code>	Переход в режим конфигурирования интерфейса либо сабинтерфейса.

Команда	Назначение
<code>shape output profile PROFILE_NAME</code>	Применение профиля ограничения скорости на исходящий трафик.
<code>rate-limit input PROFILE_NAME</code>	Применение профиля ограничения скорости на входящий трафик.
<code>tc-map input MAP_NUMBER</code>	Применение правила матчинга и перемаркировки входящего трафика.
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Создание интерфейса с перемаркировкой клиентского трафика из cs6 и cs7 в cs5

```

qos
  tc-map 101
    ipv4-dscp 48-63
      set ipv4-dscp 40
    tc 5
  exit
exit
shape profile 20Mbits
  rate 20480
exit
rate-limit profile 20Mbits
  rate 20480
exit
exit

interface tengigabitethernet 0/0/2.300
  tc-map input 101
  shape output profile 20Mbits
  rate-limit input profile 20Mbits
exit

```

Аналогичным образом можно отстроить и сервисы, предоставляемые клиентам посредством L2-VPN технологий, обеспечив требуемый уровень качества обслуживания сети. Отличие будет лишь в том, что теперь нас интересуют L2-заголовки клиентских фреймов и их значения PCP-поля (priority code point).

IMPORTANT

MPLS-заголовок, также имеющий в себе 3 бита для приоритизации, наследует значения приоритетов в зависимости от инкапсулируемой нагрузки. Т.е. для L3-VPN сервисов значение поля DSCP будет транслировано в MPLS-TC и передано в сеть, для L2-VPN за основу будет взято поле PCP. Необходимо учитывать данный момент в целевом дизайне предоставления услуг.

Перемаркировка MPLS-трафика

Если дизайн сети требует полную независимость MPLS-сегмента от приоритетов входящего в сегмент трафика, тогда на PE-маршрутизаторах требуется применять rewrite-правила.

Таблица 77. Создание и настройка *rewrite-map* для MPLS-интерфейсов.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>qos</code>	Переход в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
<code>rewrite-map MAP_NUMBER</code>	Создание карты перемаркировки трафика.
<code>vlan-pcp-outer PCP_VALUE</code>	Определяем какое значение PCP в поле 802.1p будет заменять приоритет в MPLS-пакете.
<code>mpls-tc TC_VALUE</code>	Назначаем приоритет для исходящего MPLS-пакета.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования <i>rewrite-map</i> .
<code>ipv4-dscp DSCP_VALUE</code>	Определяем какое значение DSCP в IPv4 заголовке будет заменять приоритет в MPLS-пакете.
<code>mpls-tc TC_VALUE</code>	Назначаем приоритет для исходящего MPLS-пакета.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования <i>rewrite-map</i> .
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.

Последний шаг - применить *rewrite-map* на все MPLS-интерфейсы данного маршрутизатора.

NOTE

В случае появления новых MPLS-линков, требуется назначать и на них правила перемаркировки, т.к. *rewrite-map* является per-interface объектом.

Таблица 78. Применение QoS-правил на MPLS-интерфейсы.

Команда	Назначение
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num num.subif_id</code>	Переход в режим конфигурирования интерфейса либо сабинтерфейса.
<code>qos rewrite output MAP_NUMBER</code>	Применение карты перемаркировки на исходящий трафик.
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

Пример. Перемаркировка трафика, исходящего из PE-маршрутизатора в MPLS-сегмент.

```
qos
  rewrite-map 404
    ipv4-dscp 0-63
    mpls-tc 1
  exit
  vlan-pcp-outer 0-7
    mpls-tc 2
  exit
exit
exit

interface tengigabitethernet 0/0/1.400
  qos rewrite output 404
exit
```

Таким образом, весь исходящий L3-VPN трафик будет сохранять IPv4 DSCP приоритет, но mpls-tc будет равен 1, весь исходящий L2-VPN трафик будет сохранять значение PCP в 802.1p поле, а mpls-tc будет всегда равен 2.

Ограничение полосы по приоритетам трафика

Немного усложним задачу. Представим, что необходимо L3-трафику выделять определенную пропускную полосу, согласно приоритетам, например, cs1 ограничивать 20Mbit/s, cs5 ограничивать 10Mbit/s, cs7 ограничивать 5Mbit/s, а весь оставшийся трафик ограничивать 60Mbit/s. Таким образом, тот трафик, приоритет которого мы будем учитывать, необходимо задетектировать с помощью *tc-map*, затем произвести классификацию принятого трафика с помощью *class-map*, а уже после ограничивать требуемой полосой с помощью *policy-map*.

Таблица 79. Создание и настройка *policy-map*.

Команда	Назначение
<code>configure</code>	Переход в режим глобальной конфигурации.
<code>qos</code>	Переход в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
<code>tc-map</code> <i>MAP_NUMBER</i>	Создание карты классов трафика.
<code>ipv4-dscp</code> <i>DSCP_VALUE</i>	Определяем какое значение DSCP в IPv4 пакете будет помечаться маркерами tc.
<code>tc</code> <i>TC_VALUE</i>	Назначаем номер внутреннего для устройства tc-маркера. Данный параметр является обязательным.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
<code>class-map</code> <i>CLASS_MAP_NAME</i>	Создание карты классификации трафика.
<code>match tc</code> <i>INTERNAL_TC_VALUE</i>	Назначение внутреннего для устройства tc-маркера.
<code>match-mode</code> { all any }	(опционально) Режим работы классификации - либо должны быть соблюдены все условия, либо хотя бы одно из условий (режим по умолчанию).
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
<code>policy-map</code> <i>POLICY_MAP_NAME</i>	Создание политики для ограничения исходящего трафика.
<code>class</code> <i>CLASS_MAP_NAME</i>	Настройка использования классов трафика в политике.
<code>shape rate</code> <i>KBPS</i>	Задание ограничительной скорости для класса, при достижении которой превышающий трафик будет отброшен.
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования <i>policy-map</i> .
<code>exit</code>	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.

Команда	Назначение
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.

Последний шаг - применить *policy-map* на интерфейсы маршрутизатора.

Таблица 80. Применение *policy-map* на интерфейсы.

Команда	Назначение
<code>interface { tengigabitethernet bundle-ether } num num.subif_id</code>	Переход в режим конфигурирования интерфейса либо сабинтерфейса.
<code>tc-map input MAP_NUMBER</code>	Применение правила матчинга входящего трафика.
<code>service-policy output POLICY_MAP_NAME</code>	Применение сервисной политики на исходящий трафик.
<code>exit</code>	Возврат в режим глобальной конфигурации.
<code>commit</code>	Применение произведенных настроек.

```
qos
  tc-map 202
    ipv4-dscp 8
      tc 1
    exit
    ipv4-dscp 40
      tc 5
    exit
    ipv4-dscp 56
      tc 7
    exit
  exit
class-map cs1
  match tc 1
exit
class-map cs5
  match tc 5
exit
class-map cs7
  match tc 7
exit
policy-map shape_cs_output
  class class-default
    shape rate 61440
  exit
  class cs1
    shape rate 20480
  exit
  class cs5
    shape rate 10240
  exit
  class cs7
    shape rate 5120
  exit
exit
interface tengigabitethernet 0/0/2.300
  tc-map input 202
exit
interface tengigabitethernet 0/0/1.400
  service-policy output shape_cs_output
exit
```

NOTE

Т.к. в данном примере *tc-map* настроена на конкретные значения DSCP, то af11, af31, ef и все остальные классы трафика будут попадать под правило class-default и делить полосу в 60Mbit/s. По умолчанию class-default имеет внутренний маркер tc = 0.

NOTE

Трафик, принятый на интерфейс с ненастроенной (не применённой) *tc-map*, будет классифицироваться как class-default.