Маршрутизаторы ELTEX серии ME. Руководство по настройке.

Eltex Network OS for ME5k series ver. 2.2.0

Оглавление

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
`command example`	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`	*global-view*	Переход из глобального режима CLI в режим конфигурирования
`exit`	*config*	Переход на вышестоящий уровень конфигурирования

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

Пример: использование фильтров

```
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
$6$zMGqwSsQnYcfDrxH$6TGyBVbqUB8s2InhRT4QA5VADoCc4zGhILDKjTxgVt7H0TBzxmbwNkpkHSkHNAU9qC
zdQ/ZeonlI8EOrkII620
  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`	*global-view*	Перейти из глобального режима CLI в режим конфигурирования.

Команда	Режим	Действие команды
`show running-config`	*global-view*	Вывести текущую конфигурацию устройства.
`show candidate-config`	*global-view*	Вывести кандидат-конфигурацию устройства.
`show configuration changes`	*global-view*	Вывести список изменений в кандидат-конфигурации относительно текущей конфигурации устройства.
`commit`	*config*	Применить кандидат-конфигурацию (применить изменения, внесенные во время сеанса редактирования).
`abort`	*config*	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#
```

Именование 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. *Физические интерфейсы всегда присутствуют в системе.*
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'`. *Группы агрегации каналов в системе можно создавать и удалять.*

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'`
	
	Сабинтерфейсы в системе можно создавать и удалять.

Интерфейсы локальной петли	`loopback <ID>` Виртуальный интерфейс локальной петли. Данный тип применяется в случаях, когда требуется постоянно активный логический интерфейс. Пример обозначения: ‘loopback 100’ *Интерфейсы локальной петли в системе можно создавать и удалять.*

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 *Интерфейсы управления всегда присутствуют в системе.* **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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`user` *user_name*	Переход в режим конфигурации учетной записи пользователя.
`password [encrypted]` *password*	Задание пароля пользователя в открытом или шифрованном виде.
`privilege` *p1-p15*	Задание уровня привилегий пользователя.
`exit`	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`change-privilege { p1 | p2 | .. | p15 } [` *PASSWORD* `]`	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**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`aaa authentication { login | enable }` *list_name*	Создание списка аутентификации. • `login` — для входа в систему; • `enable` — для смены уровня привилегий.
`method { local | tacacs | radius }`	Задание метода аутентификации внутри соответствующего списка аутентификации. • `local` — метод устанавливает локальную аутентификацию, то есть аутентификацию согласно настройкам 'enable' и 'user' в текущей конфигурации; • `tacacs` — метод устанавливает аутентификацию через сконфигурированные TACACS+-серверы; • `radius` — метод устанавливает аутентификацию через сконфигурированные RADIUS-серверы.
`exit`	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	Применение произведенных настроек.

Таблица 8. Настройка авторизации и учета

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`aaa authorization commands tacacs`	Включение авторизации команд пользователя через TACACS+-сервер.
`aaa accounting commands { start-only | start-stop | stop-only } tacacs`	Включение логирования команд пользователя на TACACS+-сервере.
`aaa accounting login start-stop { tacacs | radius } tacacs`	Включение логирования входа пользователя в систему и выхода из нее на TACACS+ или RADIUS-сервере.
`exit`	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`tacacs-server host` { *IP_serveraddr* | *IPv6_serveraddr*} `[ vrf` *vrf_name* `]`	Задание в конфигурации сервера TACACS+ с указанным IPv4 (IPv6)-адресом в глобальной таблице маршрутизации (GRT) или внутри указанного VRF.
`password [encrypted]` *password*	Задание пароля сервера TACACS+ в открытом или шифрованном виде.
`priority` *priority*	Задание приоритета TACACS-сервера .
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
`tacacs-server timeout` *secs*	(Опционально) Задание времени ожидания ответа от серверов TACACS+, в секундах.
`tacacs-server dscp` *dscp_val*	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты, отправляемые на серверы TACACS+.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`radius-server host` { *IP_serveraddr* | *IPv6_serveraddr*} `[ vrf` *vrf_name* `]`	Задание в конфигурации сервера RADIUS с указанным IPv4 (IPv6)-адресом в глобальной таблице маршрутизации (GRT) или внутри указанного VRF.
`password [encrypted]` *password*	Задание пароля сервера RADIUS в открытом или шифрованном виде.
`priority` *priority*	Задание приоритета RADIUS-сервера.
`source-address` { *IP_intf-addr* | *IPv6_intf-addr*}	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.
`acct-port` *port*	(Опционально) Задание номера UDP-порта для передачи данных учета.
`auth-port` *port*	(Опционально) Задание номера порта для передачи аутентификационных данных.
`timeout` *secs*	(Опционально) Задание времени ожидания ответа от сервера RADIUS, в секундах.

Команда	Назначение
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`timeout` *secs*	(Опционально) Задание времени ожидания ответа от серверов TACACS+, в секундах.
`radius-server dscp` *dscp_val*	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты, отправляемые на серверы RADIUS.
`radius-server timeout` *secs*	(Опционально) Задание времени ожидания ответа от серверов RADIUS, в секундах.
`radius-server retransmit` *val*	(Опционально) Задание количества попыток обращения к RADIUS-серверу.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`telnet server [ vrf` *vrf_name* `]`	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
`dscp` *dscp_val*	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты.
`session-limit` *val*	(Опционально) Задание максимального количества одновременно подключенных пользователей
`port` *val*	(Опционально) Задание номера порта, по которому будет принимать входящие соединения соответствующий локальный сервер.
`exit`	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	Применение произведенных настроек.

Таблица 12. Настройка SSH-сервера.

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`ssh server [ vrf` *vrf_name* `]`	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.
`dscp` *dscp_val*	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты.
`session-limit` *val*	(Опционально) Задание максимального количества одновременно подключенных пользователей
`port` *val*	(Опционально) Задание номера порта, по которому будет принимать входящие соединения соответствующий локальный сервер.
`exit`	(Опционально) Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	Применение произведенных настроек.

Настройка параметров терминальных сессий

Таблица 13. Настройка Telnet-сессий.

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

Таблица 14. Настройка SSH-сессии.

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

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

Таблица 15. Настройка локальной консольной сессии.

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

Пример. Настройка Telnet-сессии.

```
line telnet login authentication TAC245
line telnet enable authentication PRIO
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
`clock set` *HH:MM:SS DAY MONTH YEAR*	Установка времени и даты в программных часах системы, в формате: часы:минуты:секунды день месяц год
`clock read-calendar`	Синхронизация программных часов системы и аппаратных часов.
`clock update-calendar`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`clock timezone gmt` *+/-12*	Установка часовой зоны
`ntp [ vrf` *vrf_name* `]`	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
`broadcast-client`	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.
`peer` { *IP_intf-addr* | *IPv6_intf-addr* }	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.
`authenticate`	(Опционально) Ограничение доступа к NTP-службе с помощью аутентификации.
`authentication-key` *key-number*	Переход в режим конфигурирования ключа аутентификации (config-authentication-key).
`md5 [encrypted]` *password*	Задание пароля в открытом или шифрованном виде.
`trusted-key` *key-number*	Указание ключа, по которому следует проводить аутентификацию.
`exit`	Возврат в режим конфигурации NTP-сервера.
`server` { *IP_intf-addr* | *IPv6_intf-addr* }	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.
`maxpoll` *value*	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
`minpoll` *value*	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.
`version` { *NTPv1* | *NTPv2* | *NTPv3* | *NTPv4* }	Указание версии NTP-сервера.
`prefer`	Выбор текущего NTP-сервера как предпочтительного. При прочих равных условиях данный NTP-сервер будет выбран для синхронизации среди всех рабочих NTP-серверов.
`key` *key-number*	Указание ранее созданного ключа, используемого для аутентификации на NTP-сервере.
`commit`	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=00000000.00000000  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               refid            st     t      when   poll   reach  delay
offset    jitter   auth
  -------------------- ---------------- ------ ------ ------ ------ ------ --------
--------- -------- -----------
   10.115.0.5          .INIT.           16     u      -      1024   0      0.000
0.000     0.000    bad

NTP on vrf mng
  remote               refid            st     t      when   poll   reach  delay
offset    jitter   auth
  -------------------- ---------------- ------ ------ ------ ------ ------ --------
--------- -------- -----------
  *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**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`backup to` *URL*	Создание элемента резервирования конфигурации и переход в режим настройки этого элемента (config-backup-to). 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.
`daily` HH:MM:SS	Установка времени (в 24-часовом формате) ежедневной выгрузки файла конфигурации.

Команда	Назначение
`interval` *value*	Задание значения интервала (в минутах, принимает значения от 1 до 43200), через который будет производиться периодическая выгрузка файла конфигурации.
`memory-limit` *value*	Задание ограничения на общий объем, занимаемый бэкапами (в мегабайтах, принимает значения от 0 до 300) для устройства.
`post-commit`	Включение выгрузки файла конфигурации после каждого выполнения операции commit.
`pre-commit`	Включение выгрузки файла конфигурации перед каждым выполнением операции commit. Команда применяется в режиме настройки элемента резервирования конфигурации "backup to".
`password [encrypted]` *password*	Задание пароля пользователя, который будет использован при операциях выгрузки файла конфигурации на удаленный сервер в открытом или шифрованном виде.
`vrf` *vrf_name*	Имя экземпляра VRF, в котором будет осуществляться связь с указанным URL.
`commit`	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
`clear logging`	Очистить локальный журнал устройства.
`clear logging persistent [file file_name]`	Очистить файлы, сохраненные на диске устрйства.

Таблица 20. Настройка системного журнала.

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`logging buffered severity` *severity*	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.
`logging buffered size` *file_size*	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.
`logging buffered rotate` *file_count*	Задаеть 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 logging buffered size. На системах, находящихся в эксплуатации, не следует задавать значения более 10; вместо этого рекомендуется использование удаленных серверов журналирования.

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

Команда	Назначение
`tcp` *port*	Установить режим работы по протоколу TCP для текущего удаленного сервера журналирования и задать номер используемого порта.
`udp` *port*	Установить режим работы по протоколу udp для текущего удаленного сервера журналирования и задать номер используемого порта.
`commit`	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
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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
`snmp server [ vrf` *vrf_name* `]`	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.
`dscp` *dscp_val*	(Опционально) Задание значения поля DSCP, с которым будут генерироваться IP-пакеты.
`sysLocation` *val*	(Опционально) Добавить информацию о месте установки устройства или любую информацию для идентификации устройства в сети.
`sysContact` *val*	(Опционально) Добавить информацию о контактах или любую информацию для администратора сети.
`trapMode { extended | standart }`	Отправлять стандартные (по умолчанию) или расширенные (резолвится if-index интерфейса в текстовое имя) SNMP-уведомления.
`community label` *name*	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.
`community-name` {encrypted *encrypted name* | *name*}	Задание имени группы доступа в открытом или шифрованном виде.
`address` {*ipv4address* |*ipv6address*}	Указание адреса хоста для обращения к community
`rights` { ro | rw_}	Задание прав доступа. • `ro` — только чтение; • `rw` — чтение и запись.
`exit`	(Опционально) Возврат в режим настройки SNMP-сервера.
`host` {ipv4 address *ipv4address* | ipv6 address *ipv4address*| *hostname*}	Указание адреса хоста, на который будут отправляться SNMP-уведомления и переход в режим их настройки.

Команда	Назначение
`community` {encrypted *encrypted name* | *name*}	Задание имени группы доступа в открытом или шифрованном виде.
`port` *value*	(Опционально) Указание порта для приема SNMP-уведомлений на удаленном сервере (по умолчанию-162).
`user` *name*	Переход в режим конфигурации учетной записи пользователя SNMPv3
`authentication access` {auth | priv}	Выбор режима безопасности пользователя. • `auth` — только аутентификация; • `priv` — аутентификация и шифрование данных.
`authentication algorithm` {sha1 | md5}	Выбор алгоритма шифрования.
`authentication key` {encrypted *value* | *value*}	Задание ключа аутентификации в открытом или шифрованном виде.
`authentication access` {auth | priv}	Выбор режима безопасности пользователя. • `auth` — только аутентификация; • `priv` — аутентификация и шифрование данных.
`privacy algorithm` {aes128 | des}	Выбор алгоритма шифрования для priv-режима безопасности пользователя.
`privacy key` {encrypted *value* | *value*}	Задание ключа аутентификации для priv-режима безопасности пользователяв открытом или шифрованном виде.
`rights` { ro | rw_}	Задание прав доступа пользователя. • `ro` — только чтение; • `rw` — чтение и запись.
`commit`	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**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`control-plane out-of-band interface mgmt` {*num*| all}	Переход в режим настройки фильтров control-plane интерфейса out-of-band управления.

Команда	Назначение
`policy { drop | reject }`	Выбор действия при получении пакета, подпадающего под запрещающее правило: • `reject` - ответить сообщением ICMP Port unreachable (по умолчанию); • `drop` - отбросить (рекомендуется).
`allow` *protocol*	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. • `all` -- входящие пакеты всех протоколов (по умолчанию); • `ftp` ; • `http` ; • `icmp-echo` ; • `icmpv6-echo` ; • `netconf` ; • `ntp` ; • `sntp` ; • `ssh` ; • `tcp` — TCP с указанием номера порта; • `telnet` ; • `tftp` ; • `udp` — UDP с указанием номера порта.
`any`	Принимать пакеты (соединения) от всех source-адресов для указанного протокола.
`peer`	Перейти в режим явного указания source-адресов.
`address {ipv4` *ipv4address* `| ipv6` *ipv6address* `}`	Указать IPv4- либо IPv6-адрес, пакеты от которого будут приниматься маршрутизатором.
`commit`	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**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`control-plane inband interface` {*type num*| all}	Переход в режим настройки фильтров control-plane интерфейсов.
`policy { drop | reject }`	Выбор действия при получении пакета, подпадающего под запрещающее правило: • `reject` - ответить сообщением ICMP Port unreachable (по умолчанию); • `drop` - отбросить (рекомендуется)

Команда	Назначение
`allow` *protocol*	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. • `all` - входящие пакеты всех протоколов (по умолчанию); • `ftp` ; • `http` ; • `icmp-echo` ; • `icmpv6-echo` ; • `netconf` ; • `ntp` ; • `sntp` ; • `ssh` ; • `tcp` — TCP с указанием номера порта; • `telnet` ; • `tftp` ; • `udp` — UDP с указанием номера порта.
`any`	Принимать пакеты (соединения) от всех source-адресов для указанного протокола.
`peer`	Перейти в режим явного указания source-адресов.
`address {ipv4` *ipv4address* `| ipv6` *ipv6address* `}`	Указать IPv4- либо IPv6-адрес, пакеты от которого будут приниматься маршрутизатором.
`commit`	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`:

Пример: интерфейс в режиме layer3 forwarding

```
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 интерфейсе. 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**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`interface` *type num*	Переход в режим настройки интерфейса.
`vrf` *vrf_name*	Назначение на интерфейсе экземпляра VRF.
`ipv4 address` *ipv4address/prefix*	Назначение на интерфейсе IPv4-адреса в формате CIDR (адрес/длина префикса).
`arp aging-time` *minutes*	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.
`ipv6 address` *ipv6address/prefix*	Назначение на интерфейсе IPv6-адреса.
`description` *descr*	Назначение на интерфейсе имени-описания. Описание следует заключать в кавычки в случае, если строка содержит символы пробела.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`interface` *type num*	Переход в режим настройки интерфейса.
`mtu` *l2_mtu_bytes*	Установка канального MTU в байтах.
`ip mtu` *ip_mtu_bytes*	Установка IP MTU в байтах.
`speed { 10 | 100 | 1G | 10G | auto}`	Задание скорости физического интерфейса.
`duplex { half | full | auto }`	Задание дуплекса физического интерфейса.
`load-interval` *seconds*	Установка интервала подсчета загрузки интерфейса в секундах.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`interface` *type num*	Переход в режим настройки интерфейса.
`rate-limit input` *input_rate_kbps*	Установка ограничения полосы для входящего трафика, в килобитах в секунду.
`shape output` *output_rate_kbps*	Установка ограничения полосы для исходящего трафика, в килобитах в секунду.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`interface` *type num*	Переход в режим настройки интерфейса.
`tc-map input` *tcmap_index*	Установка классификатора входящего в интерфейс трафика. *tcmap_index* — номер предварительно сконфигурированного классификатора.
`service-policy output` *servicepolicy_name*	Установка политики QoS для исходящего из интерфейса трафика. *servicepolicy_name* — имя предварительно сконфигурированной политики QoS.
`commit`	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 продолжат 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 определенным узлами) в один и тот же интерфейс-участник агрегации. Метод "round-robin" отправляет каждый последующий пакет в следующий по очереди составляющий линк (т.н. попакетная 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 МЕ 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**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`lacp interface tengigabitethernet` *num*	Добавление физического линка в агрегированный интерфейс и переход в режим настройки его параметров агрегации.
`bundle id` *bundle_id*	Привязка физического интерфейса к указанному номеру агрегированного интерфейса системы.

Команда	Назначение
`bundle mode { active | passive | off }`	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.
`timeout { short | long }`	(Опционально) Выбор режима работы LACP — "slow" (**long**) или "fast" (**short**).
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации. Далее можно повторить перечисленные шаги, добавив требуемые интерфейсы в состав агрегированного соединения.
`lacp interface bundle-ether` *bundle_id*	Создание вспомогательного элемента — блока настройки параметров агрегации интерфейса **bundle-ether** и переход в режим настройки этих параметров. Команда является обязательной.
`active-links max` *max_links*	(Опционально) Указание максимально возможного количества активных участников агрегированного интерфейса. При наличии большего количества участников они будут переводиться в неактивное состояние.
`active-links min` *min_links*	(Опционально) Указание минимально требуемого количества активных участников агрегированного интерфейса. В случае, если количество активных участников опустится ниже данного значения, агрегированный интерфейс будет принудительно деактивирован.
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`interface bundle-ether` *bundle_id*	Создание в системе агрегированного интерфейса и переход в режим его настройки.
`ipv4 address` *ipv4address/prefix*	(Опционально) Задание IPv4-адреса на интерфейсе.
`commit`	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 идентификаторам 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 интерфейсом 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. *outer-vid* — значение внешнего VLAN-тега. *inner-vid* — 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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
`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. *outer-vid* — значение внешнего VLAN-тега. *inner-vid* — значение внутреннего VLAN-тега.
`commit`	Применение произведенных настроек.

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

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

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

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`interface { tengigabitethernet | bundle-ether }` *num.subif_id*	Создание сабинтерфейса и переход в режим настройки его параметров.
`rewrite ingress tag pop {one | two}`	Снять один или два тега с принятого Ethernet-кадра.
`rewrite ingress tag push outer-vid` *outer-vid* `[inner-vid` *inner-vid* `]`	Добавить один или два тега на принятый Ethernet-кадр.
`rewrite inress tag replace outer-vid` *outer-vid* `[inner-vid` *inner-vid* `]`	Заменить один (верхний) или два тега на принятом Ethernet-кадре.
`rewrite ingress tag exchange`	Поменять местами внешний и внутренний теги на принятом Ethernet-кадре.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`[no] system subint-utilization`	Включение подсчета загрузки для всех сабинтерфейсов системы. Отрицательная форма команды отключает подсчет. По умолчанию подсчет загрузки на сабинтерфейсах выключен.
`commit`	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          l3-1
  te 0/0/17.10004001    1.1.1.1/24          l3-1
  te 0/0/17.20004000    172.16.0.0/31       l3-1
  lo 1                  2.2.2.2/32          default
  lo 7991               3.1.3.1/32          l3-1
  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 *ip_network* с адресом следующего узла *ip_nexthop* 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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router vrf` *vrf_name*	Включение маршрутизации в указанном экземпляре VRF и переход в режим настройки основных параметров маршрутизации для него.
`static`	Переход в режим конфигурации статической маршрутизации в текущем экземпляре VRF.
`address-family { ipv4 | ipv6 } unicast`	Переход в режим настройки IP unicast-маршрутов.
`destination` *ip_network ip_nexthop*	Создание статического маршрута на подсеть *ip_network* с адресом следующего узла *ip_nexthop* 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.

Команда	Назначение
`exit`	(Опционально) Возврат в режим настройки опциональных параметров маршрута.
`tag` *tag*	(Опционально) Указание внутреннего числового тега, который может быть впоследствие использован при фильтрации маршрута правилами редистрибуции.
`commit`	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.

Пример: вывод команды show route

```
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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router ospfv2` *OSPF_NAME*	Создание процесса маршрутизации OSPFv2 с именем *OSPF_NAME* и переход в режим его настройки.
`router-id` *X.X.X.X*	Задание идентификатора узла сети (Router ID) в формате IPv4-адреса.
`area` *Y.Y.Y.Y*	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`.
`nssa`	(Опционально) Указание текущей зоны в качестве OSPF NSSA ('not-so-stubby area').
`stub`	(Опционально) Указание текущей зоны в качестве OSPF Stub area.
`interface { loopback | tengigabitethernet | bundle-ether }` *num*	Добавление соответствующего интерфейса (либо сабинтерфейса) в указанную зону OSPF и переход в режим настройки OSPF-параметров этого интерфейса.
`dead-interval { minimal |` *SECONDS* `}`	(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.
`hello-interval` *SECONDS*	(Опционально) Установка интервала отправки HELLO-пакетов на текущем интерфейсе, в секундах.
`fast-hello-multiplier` *PACKETS*	(Опционально) Установка количества HELLO-пакетов, которые будут отправляться с интерфейса за секунду при работе в режиме OSPF fast hello. Принимает значения 2..20.
`metric` *METRIC*	(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
`mtu-ignore`	(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.
`network { broadcast | nbma | point-to-multipoint | point-to-point }`	(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.
`passive`	(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 `loopback`).
`priority` *ROUTER_PRIORITY*	(Опционально) Установка приоритета маршрутизатора для участия в выборах Designated router. Принимает значения 0..255.
`exit`	Возврат в режим настройки OSPF-зоны.
`exit`	Возврат в режим настройки OSPF-процесса.
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	Применение произведенных настроек.

Пример. Базовая настройка протокола OSPFv2

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

Команда	Назначение
`area` *Y.Y.Y.Y*	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`.
`nssa`	(Опционально) Указание текущей зоны в качестве OSPF NSSA ('not-so-stubby area').
`stub`	(Опционально) Указание текущей зоны в качестве OSPF Stub area.
`interface { loopback | tengigabitethernet | bundle-ether }` *num*	Добавление соответствующего интерфейса (либо сабинтерфейса) в указанную зону OSPF и переход в режим настройки OSPF-параметров этого интерфейса.
`dead-interval { minimal |` *SECONDS* `}`	(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.
`hello-interval` *SECONDS*	(Опционально) Установка интервала отправки HELLO-пакетов на текущем интерфейсе, в секундах.
`fast-hello-multiplier` *PACKETS*	(Опционально) Установка количества HELLO-пакетов, которые будут отправляться с интерфейса за секунду при работе в режиме OSPF fast hello. Принимает значения 2..20.
`metric` *METRIC*	(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.
`mtu-ignore`	(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.
`network { broadcast | nbma | point-to-multipoint | point-to-point }`	(Опционально) Указание типа OSPF-подсети на интерфейсе.

Команда	Назначение
`passive`	(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 `loopback`).
`priority` *ROUTER_PRIORITY*	(Опционально) Установка приоритета маршрутизатора для участия в выборах Designated router. Принимает значения 0..255.
`exit`	Возврат в режим настройки OSPF-зоны.
`exit`	Возврат в режим настройки OSPF-процесса внутри VRF.
`exit`	Возврат в режим настройки OSPF-процесса.
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
```

IMPORTANT	Соответствующий экземпляр VRF должен быть заранее создан в конфигурации маршрутизатора.

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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router ospfv2` *OSPF_NAME*	Создание процесса маршрутизации OSPFv2 с именем *OSPF_NAME* и переход в режим его настройки.
`area` *Y.Y.Y.Y*	Создание в конфигурации OSPF-зоны (area) и переход в режим её настройки.
`interface { tengigabitethernet | bundle-ether }` *num*	Переход в режим настройки OSPF-параметров соответствующего интерфейса.
`bfd fast-detect`	Включение механизма установления BFD-сессий для всех протокольных OSPF-соседей на данном интерфейсе.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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/EGP, 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` *OSPF_NAME*	Создание процесса маршрутизации OSPFv2 с именем *OSPF_NAME* и переход в режим его настройки.
`redistribution { bgp | connected | isis | local | static }` *RULE_NAME*	Создание правила редистрибуции с именем *RULE_NAME* из указанного источника (bgp/connected/isis/local/static) и переход в режим настройки этого правила.
`match prefix` *IPv4PREFIX/MASK*	Указание фильтра, используемого для данного правила. При указании такого фильтра правило будет действовать только на маршруты, строго совпадающие с заданным *IPv4PREFIX/MASK*.
`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` *METRIC*	Установить значение OSPF-метрики для маршрутов, прошедших через данное правило.

Команда	Назначение
`priority` *RULE_PRIORITY*	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.
`redistribute disable`	Запретить редистрибуцию маршрутов, попавших в текущее правило. При выполнении данной команды текущее правило становится запрещающим.
`exit`	Выход из режима настройки правила редистрибуции. Далее можно настроить следующие правила — для того же самого источника, либо для других источников редистрибуции.
`root`	Выход в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router ospfv2` *OSPF_NAME*	Переход в режим настройки процесса маршрутизации.
`area` *Y.Y.Y.Y*	Переход в режим настройки зоны OSPF.
`interface { tengigabitethernet | bundle-ether }` *num*	Переход в режим настройки параметров OSPF требуемого интерфейса.
`authentication-type { hmacsha1 | hmacsha256 | hmacsha384 | hmacsha512 | md5 | none | simple-password }`	Выбор типа OSPF-аутентификации на интерфейсе — HMAC-SHA1, HMAC-SHA256, HMAC-SHA384, HMAC-SHA512, MD5 либо простой пароль (simple-password). Задание параметра `'none'` отключает аутентификацию на интерфейсе, что соответствует поведению по умолчанию.
`authentication-key {` *KEY_STRING* `| encrypted` *KEY_ENCRYPT* `}`	Задание ключа для аутентификации в открытом (*KEY_STRING*) либо в зашифрованном (*KEY_ENCRYPT*) виде.
`exit`	Выход из режима интерфейсных параметров OSPF. Далее можно настроить параметры аутентификации на других требуемых интерфейсах.
`root`	Выход в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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


  O EA   1.1.1.1/32    via 100.100.12.0 [30/2], 06h17m31s, te 0/0/5
  O EA   4.4.4.4/32    via 100.100.24.0 [30/2], 06h05m51s, te 0/0/6
  O E1   100.100.13.0/31    via 100.100.12.0 [110/301], 00h02m54s, te 0/0/5
  O 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.

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

  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      Area ID          Pri    State            BFD           Dead Time
Address          Interface
  ---------------- ---------------- ------ ---------------- ------------- ----------
---------------- ----------
  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.

Пример. show ospfv2 interfaces

```
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 Tengigabitethernet 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 Tengigabitethernet 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 Tengigabitethernet 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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router isis` *ISIS_NAME*	Создание процесса маршрутизации IS-IS с именем *ISIS_NAME* и переход в режим его настройки.
`net` *NET*	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.
`is-level { level-1 | level-1-2 | level-2 }`	(Опционально) Выбор уровня IS, в котором будет работать система. По умолчанию используется значение 'level-1-2'.
`host-name` *HOSTNAME*	(Опционально) Задание IS-IS hostname — имени узла, которое будет указываться в соответствующих TLV служебных пакетов IS-IS. По умолчанию используется системное имя устройства (`'hostname'`).
`level { level-1 | level-2 }`	Переход в режим настройки параметров уровня 1 или уровня 2 (для обоих уровней параметры настраиваются одинаково).
`metric-style { wide | narrow | both }`	(Опционально) Выбор режима метрики для текущего уровня IS-IS. По умолчанию используется режим "both".
`set-overload-bit on-startup` *SECONDS*	(Опционально) При указании данного параметра при старте процесса IS-IS в системе будет устанавливаться флаг "IS-IS overload bit" на *SECONDS* секунд после запуска.
`exit`	Возврат в режим настройки процесса IS-IS.
`interface { loopback | tengigabitethernet | bundle-ether }` *num*	Добавление соответствующего интерфейса (либо сабинтерфейса) в процесс IS-IS и переход в режим настройки параметров протокола IS-IS для этого интерфейса.
`address-family { ipv4 | ipv6 } unicast`	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 `ipv4 unicast`, `ipv6 unicast` или обе AFI/SAFI.
`exit`	Возврат в режим настройки интерфейса IS-IS.

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

Команда	Назначение
point-to-point	(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.
shutdown	(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.
exit	Возврат в режим настройки процесса IS-IS. Далее можно включить в IS-IS и настроить параметры других требуемых интерфейсов.
root	Выход в режим глобальной конфигурации.
commit	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router isis` *ISIS_NAME*	Создание процесса маршрутизации IS-IS с именем *ISIS_NAME* и переход в режим его настройки.
`vrf` *VRF_NAME*	Запуск процесса маршрутизации IS-IS в указанном VRF и переход в режим настройки этого процесса.
`net` *NET*	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.
`is-level { level-1 | level-1-2 | level-2 }`	(Опционально) Выбор уровня IS, в котором будет работать система. По умолчанию используется значение 'level-1-2'.
`host-name` *HOSTNAME*	(Опционально) Задание IS-IS hostname — имени узла, которое будет указываться в соответствующих TLV служебных пакетов IS-IS. По умолчанию используется системное имя устройства (`'hostname'`).
`level { level-1 | level-2 }`	Переход в режим настройки параметров уровня 1 или уровня 2 (для обоих уровней параметры настраиваются одинаково).
`metric-style { wide | narrow | both }`	(Опционально) Выбор режима метрики для текущего уровня IS-IS. По умолчанию используется режим "both".
`set-overload-bit on-startup` *SECONDS*	(Опционально) При указании данного параметра при старте процесса IS-IS в системе будет устанавливаться флаг "IS-IS overload bit" на *SECONDS* секунд после запуска.
`exit`	Возврат в режим настройки процесса IS-IS.
`interface { loopback | tengigabitethernet | bundle-ether }` *num*	Добавление соответствующего интерфейса (либо сабинтерфейса) в процесс IS-IS и переход в режим настройки параметров протокола IS-IS для этого интерфейса.

Команда	Назначение
`address-family { ipv4 | ipv6 } unicast`	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 `ipv4 unicast`, `ipv6 unicast` или обе AFI/SAFI.
`exit`	Возврат в режим настройки интерфейса IS-IS.
`circuit-level { level-1 | level-1-2 | level-2 }`	(Опционально) Указание уровня IS, к которому относится данный интерфейс. Интерфейс по умолчанию работает на всех (и только на тех) уровнях, которые заданы общей настройкой `'is-level'`. Команда же `'circuit-level'` позволяет выбрать среди системных уровней тот, который требуется для конкретного интерфейса. Практическое применение команда имеет в том случае, когда задан `'is-level level-1-2'` — в таком случае командой `'circuit-level'` можно выбрать для интерфейса либо level-1, либо level-2. Интерфейсные параметры соответствующего уровня настраиваются интерфейсной командой `'level'` (см.далее).
`level { level-1 | level-2 }`	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.
`csnp-interval` *SECONDS*	(Опционально) Задание интервала между отправками пакетов CSNP.
`hello-multiplier` *MULT*	(Опционально) Задание количества потерянных IS-IS Hello, после которых сосед на данном интерфейсе будет считаться потерянным.
`hello-timer` *SECONDS*	(Опционально) Задание интервала отправки IS-IS Hello.
`lsp-interval` *MSEC*	(Опционально) Задание интервала между отправками пакетов LSP.
`metric` *METRIC*	(Опционально) Указание протокольной метрики (стоимости) интерфейса.
`priority` *PRIO*	(Опционально) Указание приоритета устройства при выборах DR на данном интерфейсе.
`exit`	Возврат в режим настройки интерфейса IS-IS.

Команда	Назначение
`passive`	(Опционально) Перевод интерфейса в пассивный режим. В данном режиме интерфейс не отправляет и не принимает IIH-сообщений и через интерфейс не устанавливается никаких соседств. Режим используется при необходимости анонсировать в IS-IS подсеть данного интерфейса (например, для интерфейсов локальной петли `loopback`).
`point-to-point`	(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.
`shutdown`	(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.
`exit`	Возврат в режим настройки процесса IS-IS внутри VRF. Далее можно включить в IS-IS и настроить параметры других требуемых интерфейсов.
`root`	Выход в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router isis` *ISIS_NAME*	Создание процесса маршрутизации IS-IS с именем *ISIS_NAME* и переход в режим его настройки.
`interface { tengigabitethernet | bundle-ether }` *num*	Переход в режим настройки параметров протокола IS-IS требуемого интерфейса.
`bfd fast-detect { ipv4 | ipv6 }`	Включение механизма установления BFD-сессий для всех протокольных соседей IS-IS на данном интерфейсе.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router isis` *ISIS_NAME*	Переход в режим настройки процесса маршрутизации IS-IS с именем *ISIS_NAME*.
`address-family ipv4 unicast`	Переход в режим настройки параметров адресного семейства IPv4 unicast.
`redistribution { bgp | connected | ospf | local | static }` *RULE_NAME*	Создание правила редистрибуции с именем *RULE_NAME* из указанного источника (bgp/connected/ospf/local/static) и переход в режим настройки этого правила.
`match prefix` *IPv4PREFIX/MASK*	Указание фильтра, используемого для данного правила. При указании такого фильтра правило будет действовать только на маршруты, строго совпадающие с заданным *IPv4PREFIX/MASK*.
`metric-type { isis-level1-external | isis-level1-internal | isis-level2-external | isis-level2-internal }`	Назначить на маршруты, прошедшие через данное правило, метрику соответствующего типа.
`metric-value` *METRIC*	Установить значение метрики для маршрутов, прошедших через данное правило.
`priority` *RULE_PRIORITY*	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.
`redistribute disable`	Запретить редистрибуцию маршрутов, попавших в текущее правило. При выполнении данной команды текущее правило становится запрещающим.
`exit`	Выход из режима настройки правила редистрибуции. Далее можно настроить следующие правила — для того же самого источника, либо для других источников редистрибуции.
`root`	Выход в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
configure	Переход в режим глобальной конфигурации.
router isis *ISIS_NAME*	Переход в режим настройки процесса маршрутизации IS-IS с именем *ISIS_NAME*.
level { level-1 | level-2 }	Переход в режим настройки параметров уровня 1 или уровня 2 (для обоих уровней параметры настраиваются одинаково).
authentication-type { hmacsha1 | hmacsha256 | hmacsha384 | hmacsha512 | md5 | none | simple-password }	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.
authentication-key { *KEY_STRING* | encrypted *KEY_ENCRYPT* }	Задание ключа для аутентификации в открытом (*KEY_STRING*) либо в зашифрованном (*KEY_ENCRYPT*) виде.
root	Выход в режим глобальной конфигурации.
commit	Применение произведенных настроек.

Таблица 45. Настройка аутентификации соседства IS-IS.

Команда	Назначение
router isis *ISIS_NAME*	Переход в режим настройки процесса маршрутизации IS-IS с именем *ISIS_NAME*.
interface { tengigabitethernet | bundle-ether } *num*	Переход в режим настройки параметров протокола IS-IS требуемого интерфейса.
authentication-type { hmacsha1 | hmacsha256 | hmacsha384 | hmacsha512 | md5 | none | simple-password }	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.
authentication-key { *KEY_STRING* | encrypted *KEY_ENCRYPT* }	Задание ключа для аутентификации в открытом (*KEY_STRING*) либо в зашифрованном (*KEY_ENCRYPT*) виде.

Команда	Назначение
`root`	Выход в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
Hold (sec)  NSF    BFD
  ---------------- ------------- --------------------- --------- -------------
--------------- ----------- ------ ----
  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 `'vpnv4 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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.

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

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

Пример. Базовая настройка протокола BGP.

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

Команда	Назначение

`le` *1..128*	Указание дополнительного условия на длину префикса (*less or equal*, "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:
	
	``
	seq-num 10
	  prefix 100.64.0.0/16
	  le 24
	exit
	``
	
	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 (*greater or equal*, "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:
	
	``
	seq-num 10
	  prefix 100.64.0.0/16
	  ge 20
	exit
	``
	
	даст фильтр, в который попадут все префиксы, попадающие в 100.64.0.0/16 и имеющие маску от /20 до /32.

Команда	Назначение
`exit`	Выход из режима настройки элемента списка фильтра префиксов. Далее можно создать следующие требуемые элементы списка.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации
`router bgp` *ASN*	Переход в режим настройки процесса BGP.
`neighbor` *A.B.C.D* | *A:B:C:D::X*	Переход в режим настройки параметров BGP-соседа.
`address-family { ipv4 unicast | ipv6 unicast | vpnv4 unicast }`	Переход в режим настроек тех AFI/SAFI, для которых требуется применить фильтр префиксов.
`prefix-list { in | out }` *PREFLIST_NAME*	Установка фильтра префиксов для принимаемых (*in*) или отправляемых (*out*) анонсов.
`root`	Выход в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`route-map` *ROUTEMAP_NAME*	Создание карты маршрутов с именем *ROUTEMAP_NAME* и переход в режим ее настройки.
`seq-num` *SEQ-NUM*	Создание элемента карты маршрутов с соответствующим номером и переход в режим его настройки. Номер элемента может принимать значения 1-4294967295.
`set { comm-list .. | community .. | ext-comm-list .. | extcommunity .. | local-preference .. | med .. | nexthop .. | prepend .. | remove .. | weight .. }`	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 `set community` и `set remove`, но нельзя назначить несколько правил `set community`).
`match { as-path .. | comm-list .. | ext-comm-list .. | prefix-list .. }`	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 `match prefix-list` и `match as-path`, но нельзя задать несколько условий `match prefix-list`). При необходимости фильтрации анонсов с различными однотипными условиями `match` требуется создавать отдельные элементы карты маршрутов, по одному на каждое условие.
`action { permit | deny }`	Действие, которое будет производиться с анонсом, если он попал под условия данного элемента списка.
`exit`	Выход из режима настройки элемента карты маршрутов. Далее можно создать следующие требуемые элементы списка.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации

Команда	Назначение
`commit`	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
`comm-list { add | delete }` *COMMLIST_NAME*	Добавить или удалить из анонса набор community, заданный соответствующим правилом `ip-community` *COMMLIST_NAME*.
`community remove-all`	Удалить все community из анонса.
`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 }`	Удалить все community из анонса и добавить одну новую.

Команда	Назначение
`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 }`	Добавить к анонсу одну новую community.
`ext-comm-list { add | delete }` *EXTCOMMLIST_NAME*	Добавить или удалить из анонса набор extended community, заданный соответствующим правилом `ip-extcommunity` *EXTCOMMLIST_NAME*.
`extcommunity remove-all`	Удалить все extended community из анонса.
`extcommunity remove-all-and-set { rt | soo } value {` *AS:Nr(0-65535:0-4294967295, 0-4294967295:0-65535) | IPv4:Nr(0-65535)* `}`	Удалить все extcommunity из анонса и установить указанную RT- или SOO-extcommunity.
`extcommunity set-specific { rt | soo } value {` *AS:Nr(0-65535:0-4294967295, 0-4294967295:0-65535) | IPv4:Nr(0-65535)* `}`	Добавить указанную RT- или SOO-extcommunity.
`local-preference` *LOCALPREF*	Установить соответствующее значение параметра BGP Local Preference.
`med value` *MED*	Установить соответствующее значение параметра BGP MED.
`nexthop` *IPv4_ADDR* | *IPv6_ADDR*	Установить соответствующее значение BGP Nexthop
`prepend as-path` *ASN* `prepend times` *N*	Установить препенды на параметр AS-PATH, состоящие из номера автономной системы *ASN*, повторенные *N* раз.
`remove as-path` *ASN*	Удалить из AS-PATH данного анонса указанные номера автономных систем *ASN*.
`remove private-as`	Удалить из AS-PATH данного анонса все приватные номера автономных систем (RFC6996).
`weight value` *WEIGHT*	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` *AS_REGEXP*	Проверка AS-PATH анонса на соответствие приведенному регулярному выражению *AS_REGEXP*. Допустимая длина регулярного выражения — до 300 символов.
`comm-list name` *COMMLIST_NAME*	Проверка перечня community в анонсе на соответствие заданному community-фильтру (фильтр должен быть создан командой "`ip-community` *COMMLIST_NAME*")
`ext-comm-list name` *EXTCOMMLIST_NAME*	Проверка перечня расширенных community в анонсе на соответствие заданному extcommunity-фильтру (фильтр должен быть создан командой "`ip-extcommunity` *EXTCOMMLIST_NAME*")
`prefix-list destination` *PREFLIST_NAME*	Проверка префикса анонса на соответствие указанному фильтру префиксов. Фильтр префиксов должен быть сконфигурирован отдельно командой "`prefix-list` *PREFLIST_NAME*".
`prefix-list nexthop` *PREFLIST_NAME*	Проверка параметра BGP nexthop анонса на соответствие указанному фильтру префиксов. Фильтр префиксов должен быть сконфигурирован отдельно командой "`prefix-list` *PREFLIST_NAME*".
`prefix-list source` *PREFLIST_NAME*	Проверка адреса BGP-спикера, от которого получен анонс, на соответствие указанному фильтру префиксов. Фильтр префиксов должен быть сконфигурирован отдельно командой "`prefix-list` *PREFLIST_NAME*".

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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router admin-distance`	Переход в режим настройки раздела административной дистанции протоколов.
`bgp external` *0..255*	Задание значения административной дистанции для маршрутов eBGP.
`bgp internal` *0..255*	Задание значения административной дистанции для маршрутов iBGP.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации
`commit`	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).

Подготовка конфигурации IGP на примере протокола IS-IS:

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

Команда	Назначение
`penultimate-hop-popping disable`	(опционально) Отключение механизма MPLS PHP (снятия транспортной метки на предпоследнем маршруте). **IMPORTANT** Для применения данной настройки потребуется вручную переустановить LDP-сессии с соседями.
`transport-address` *IPv4_ADDR*	(опционально) Задание транспортного адреса для протокола LDP. Рекомендуется явно задавать данный адрес.
`neighbor` *IPv4_ADDR*	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.
`hello-holdtime` *SECONDS* `holdtime-interval` *SECONDS*	(Опционально) Настройка соответствующих таймеров на targeted-сессии.
`bfd fast-detect`	(Опционально) Включение на данной targeted-сессии протокола BFD.
`shutdown`	(Опционально) Административное отключение данной targeted-сессиии.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	Применение произведенных настроек.

Таблица 54. Включение коммутации MPLS на интерфейсах.

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`mpls`	Переход в режим настройки параметров и протоколов MPLS.

Команда	Назначение
`forwarding`	Переход в режим настройки параметров MPLS-коммутации на устройстве.
`interface { loopback | tengigabitethernet | bundle-ether }` *num*	Включение MPLS-коммутации на данном интерфейсе либо сабинтерфейсе. Обязательно включение в данный список также тех loopback-интерфейсов, которые планируется анонсировать соседям по LDP.
`commit`	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
`address-family ipv4 unicast redistribution { connected | bgp }` *RULE_NAME*	Создание правила редистрибуции с именем *RULE_NAME* из указанного источника (bgp/connected) и переход в режим настройки этого правила.
`match prefix` *IPv4PREFIX/MASK*	(опционально) Указание фильтра, используемого для данного правила. При указании такого фильтра правило будет действовать только на маршруты, строго совпадающие с заданным *IPv4PREFIX/MASK*.
`priority` *RULE_PRIORITY*	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.
`redistribute disable`	Запретить редистрибуцию маршрутов, попавших в текущее правило. При выполнении данной команды текущее правило становится запрещающим.
`exit`	Выход из режима настройки правила редистрибуции. Далее можно настроить следующие правила — для того же самого источника, либо для других источников редистрибуции.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
`vrf` *VRF_NAME*	Создание в конфигурации устройства экземпляра VRF с именем *VRF_NAME* и переход в режим настройки этого экземпляра.
`rd` *RD*	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.
`maximum prefix` *MAX_ROUTES*	(опционально) Установка ограничения количества маршрутов внутри экземпляра VRF.
`import route-target` *RT_COMMUNITY_VALUE*	(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 *RT_COMMUNITY_VALUE* аналогичен формату параметра *RD*.
`export route-target` *RT_COMMUNITY_VALUE*	(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 *RT_COMMUNITY_VALUE* аналогичен формату параметра *RD*.
`description` *STRING*	(опционально) Задание строкового описания экземпляра VRF.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
`router bgp` *ASN*	Переход в режим настройки процесса маршрутизации.
`neighbor` *A.B.C.D*	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.
`description` *"STRING"*	(опционально) Задание текстовой строки — описания протокольного соседа.
`remote-as` *ASN*	Задает номер автономной системы BGP-соседа. L3VPN-сессии поддерживаются только для iBGP-соседей.
`send-community`	Включает отправку параметра *community* в отсылаемых соседу анонсах. По умолчанию параметры *community* удаляются из отправляемых анонсов. Для корректной работы L3VPN отправку *extended community* рекомендуется включать.
`send-community-ext`	Включает отправку параметра *extended community* в отсылаемых соседу анонсах. По умолчанию параметры *extended community* удаляются из отправляемых анонсов. Для корректной работы L3VPN отправку *extended community* **необходимо включать**.
`address-family vpnv4 unicast`	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.
`exit`	Возврат в режим настроек BGP-соседа.
`update-source` *IPv4_ADDR*	Задание IPv4-адреса, с которого будет производиться взаимодействие с соседом. Данный параметр рекомендуется всегда указывать для iBGP-сессий.
`root`	Выход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
`commit`	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                   AS          MsgRcvd       MsgSent       Up/Down
St/PfxRcd
  -------------------------- ----------- ------------- ------------- ----------
-------------
  2.2.2.2                    12389       54452         54462         04d22h20m  1
0/ME5100:Router1#

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                   AS          MsgRcvd       MsgSent       Up/Down
St/PfxRcd
  -------------------------- ----------- ------------- ------------- ----------
-------------
  1.1.1.1                    12389       54469         54469         04d22h23m  2
0/ME5100:Router2#
```

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   IP Prefix             Next hop         Metric  Label
LocPrf  Weight  Path
  --------------------- --------------------- ---------------- ------- -----------
------- ------- -----
  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   IP Prefix             Next hop         Metric  Label
LocPrf  Weight  Path
  --------------------- --------------------- ---------------- ------- -----------
------- ------- -----
  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 внутрь 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 внутрь 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 брижд-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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`l2vpn pw-class` *CLASS_NAME*	Создание в конфигурации устройства профиля псевдопровода и переход в режим задания его параметров.
`encapsulation mpls signaling-type { manual | pseudowire-id-fec-signaling }`	Задание метода сигнализации для псевдопроводов, использующих данный профиль. Для использования классической сигнализации LDP следует использовать параметр `'pseudowire-id-fec-signaling'`. При использовании метода `'manual'` сервисные метки задаются вручную в конфигурации каждого псевдопровода. Данный параметр является обязательным.
`encapsulation mpls mtu` *MTU_SIZE*	(опционально) Задание значения MTU, которое будет использоваться при сигнализации псевдопроводов. Данный параметр влияет только на процесс сигнализации и не ограничивает размер передаваемых пакетов.
`encapsulation mpls control-word { preferred | non-preferred }`	(опционально) Задает значение параметра control word (предпочитаемый "preferred" либо не предпочитаемый "non-preferred") для процесса сигнализации псевдопровода.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
`mpls ldp neighbor` *IPv4_ADDR*	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.
`bfd fast-detect`	(опционально) Включение механизма BFD для соответствующей targeted LDP-сессии.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`l2vpn bridge-domain` *BD_NAME*	Создание в конфигурации устройства бридж-домена и переход в режим его настройки.
`interface { tengigabitethernet | bundle-ether }` *num* | *num.subif_id*	Включение указанного интерфейса либо сабинтерфейса в состав бридж-домена в качестве интерфейса локальной коммутации (AC).

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

Команда	Назначение
`transport-mode { ethernet | vlan }`	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.
`mtu` *MTU_SIZE*	Устанавливает размер MTU в байтах для всего бридж-домена. Настройка служит для целей сигнализации.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	Применение произведенных настроек.

Пример. Создание бридж-домена с тремя AC 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 AC *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 AC-AC, AC-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**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`l2vpn bridge-domain` *BD_NAME*	Переход в режим настройки бридж-домена.
`vfi` *VFI_NAME*	Создание внутри бридж-домена экземпляра VFI и переход в режим его настройки.
`pw` *IPv4_PEER PW_ID*	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.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`l2vpn xconnect-group` *XCONNECT_GROUP_NAME*	Создание в конфигурации устройства именованной группы кросс-коннектов и переход в режим конфигурации этой группы.
`p2p` *P2P_NAME*	Создание кросс-коннекта внутри соответствующей группы и переход в режим настройки этого кросс-коннекта.

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

Команда	Назначение
`exit`	Возврат в режим конфигурации кросс-коннекта.
`transport-mode { ethernet | vlan }`	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.
`mtu` *MTU_SIZE*	Устанавливает размер MTU в байтах для данного кросс-коннекта. Настройка служит для целей сигнализации.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
    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;
- **TE-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 терминируется 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 TE-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 TE-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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`mpls`	Переход в режим конфигурации протокола mpls.
`forwarding`	Переход в режим конфигурации MPLS forwarding.
`interface` <*type*> <*unit*>/<*dev*>/<*port*>.<*sub*>	Включение на интерфейсе функционала коммутации labled IP пакетов.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router ospfv2` *NAME*	Создание в конфигурации OSPFv2 процесса с именем *NAME* и переход в режим его настройки.
`te-router-id` *A.B.C.D*	В режиме конфигурации процесса OSPFv2 необходимо указать IPv4-адрес, используемый в качестве LSR-id.
`area` *A.B.C.D*	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];
`interface` <*type*> <*unit*>/<*dev*>/<*port*>.<*sub*>	Переход в режим конфигурации параметров OSPF интерфейса.
`te-support`	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
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router isis` *NAME*	Создание в конфигурации ISIS процесса с именем *NAME* и переход в режим его настройки.
`te-router-id` *A.B.C.D*	Команда определяет параметр 'te-router-id' для процесса ISIS.

Команда	Назначение
`ipv4-te-level` *level-N*	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;
`interface` <*type*> <*unit*>/<*dev*>/<*port*>.<*sub*>	Переход в режим конфигурации параметров ISIS интерфейса.
`address-family ipv4 unicast`	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.
`commit`	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
`hellos hello-interval` *MILLISEC*	(Опционально) Включение функции rsvp-hello на интерфейсе N - интервал отправки в миллисекундах .
`commit`	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 приступать к настройке TE-туннелей.

Таблица 67. Для конфигурации TE-туннеля необходимо:.

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.
`tunnel` *Name*	Создание туннеля с именем *Name* и переход в режим его конфигурации.

Команда	Назначение
`bandwidth` *BW*	(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.
`source` *A.B.C.D*	Команда указывает IPv4-адрес, принадлежащий одному из loopback-интерфейсов Ingress LSR-a. Рекомендовано использовать Source IPv4, равный LSR-ID Ingress LSR.
`destination` *A.B.C.D*	Команда указывает IPv4-адрес, принадлежащий одному из loopback-интерфейсов Egress LSR-a. Рекомендовано использовать Destination IPv4, равный LSR-ID Egress LSR.
`tunnel-lsp` *Name*	Команда указывает имя RSVP LSP, которое будет использоваться при построении RSVP LSP и переключает в режим его конфигурации.
`path-computation { dynamic | explicit }`	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.
`explicit-path-name` *Name*	(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 `path-computation dynamic`.
`commit`	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 радио-релейную трансмиссию. 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 выполнился первый пункт, необходимо прописать дополнительные атрибуты интерфейсам (max-resv-band/link attribute/te metric) на интерфейсах LSR в IGP домене;
3. Для того, чтобы выполнился 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 Sortest 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.

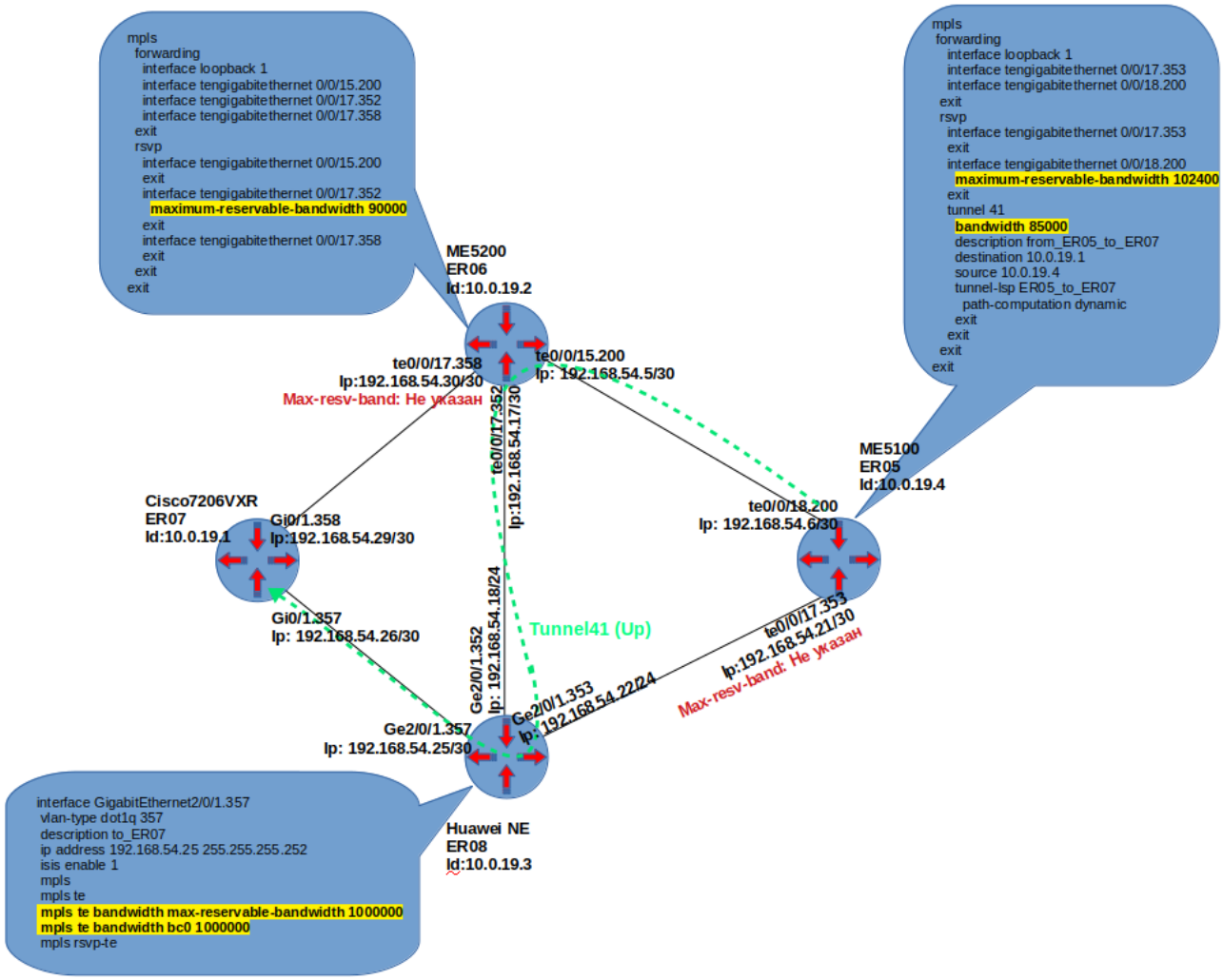

Figure 1. Пример 1: Конфигурация TE-туннеля с требованием резервирования полосы пропускания 85 Mbps.

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`rsvp`	Переход в режим настройки протокола RSVP.
`interface te0/0/17.353`	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.
`interface te0/0/18.200`	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/18.200.
`maximum-reservable-bandwidth 100000`	В режиме конфигурации RSVP параметров интерфейса te0/0/18.200 задана максимально возможная для резервирования полоса пропускания - 100Mbps.
`exit`	Возврат в режим конфигурации RSVP протокола.

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

NOTE

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
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 TEe/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 атрибиута 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

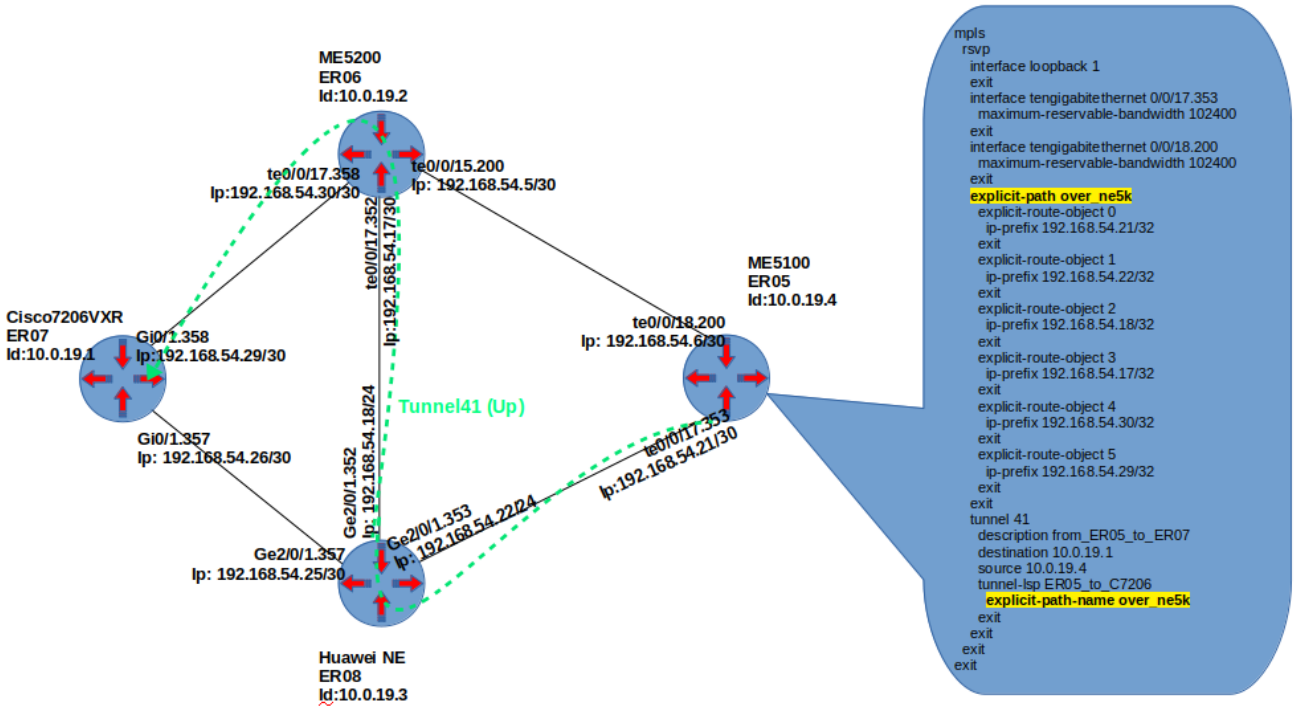

Figure 2. Пример2. Конфигурация TE-туннеля с ограничением в виде explcit path.

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
    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 построился 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:

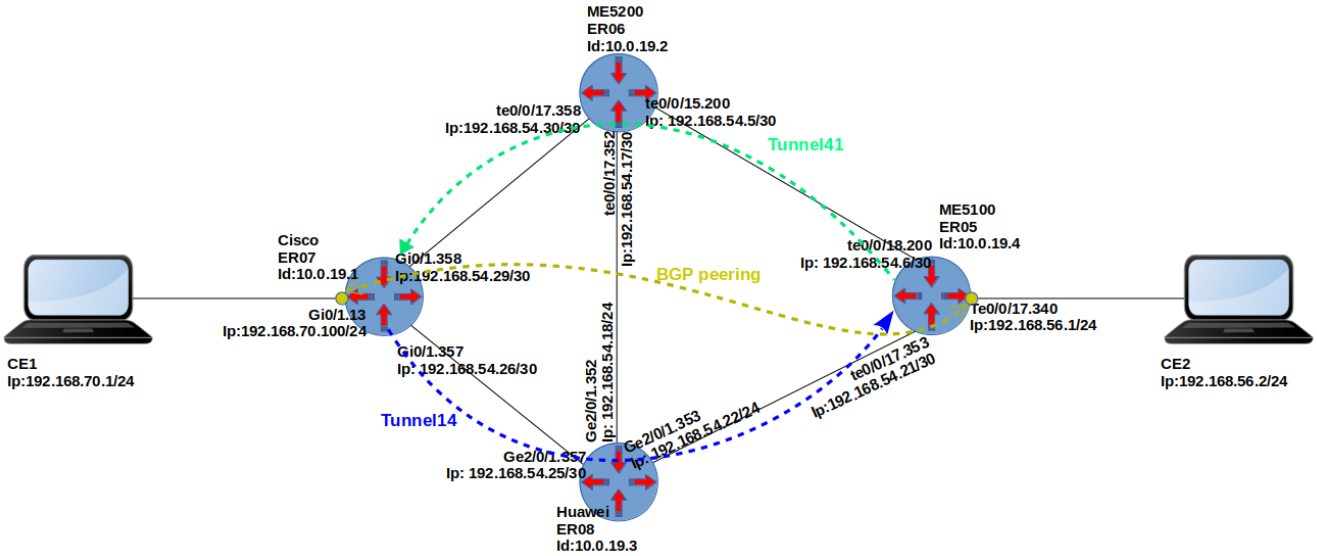

Figure 3. Пример3. Передача трафика из GRT через TE-туннель

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

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

IMPORTANT

После того, как TE-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 ECMP 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
    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:

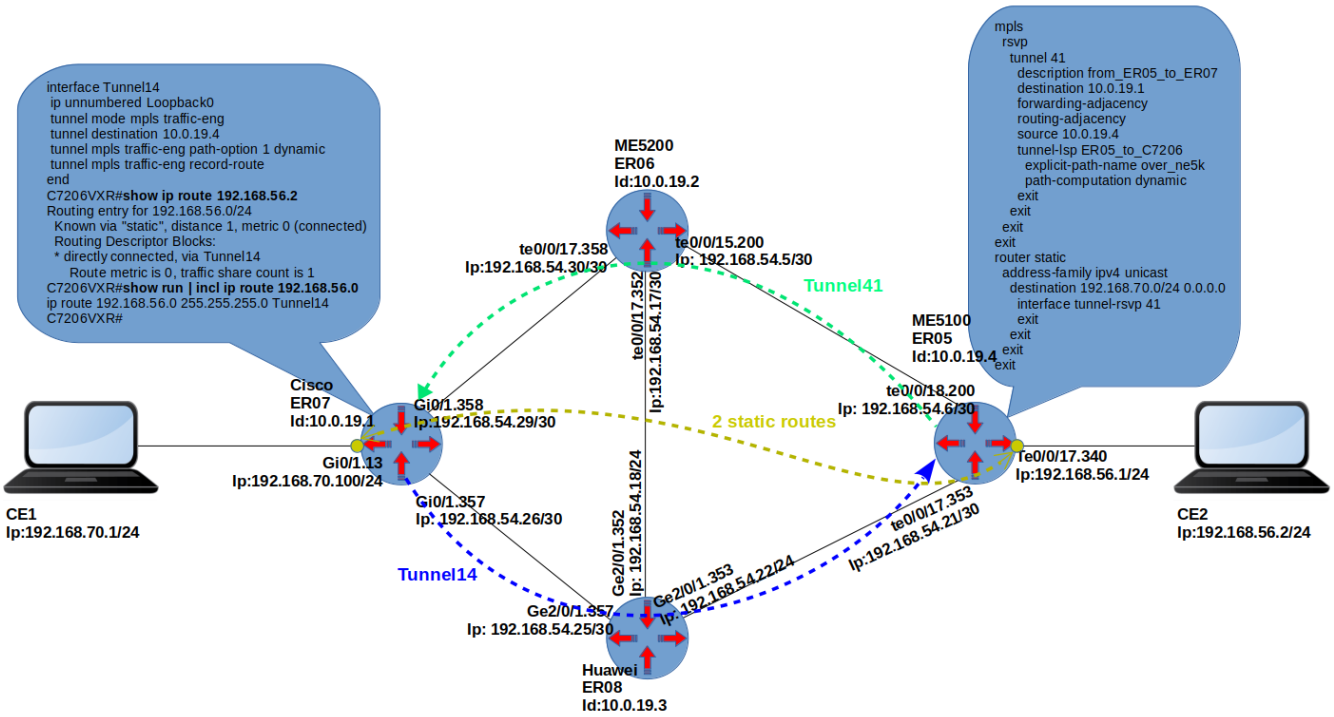

Figure 4. Пример4. Передача трафика из GRT через TE-туннель с помощью статического маршрута

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`rsvp`	Переход в режим настройки протокола RSVP.
`tunnel 41`	Создаем TE-туннель с именем 41 и переходим в режим его конфигурации.
`description from_ER05_to_ER07`	Текстовое описание TE-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 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
`routing-adjacency`	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 инсталлирован в таблицу маршрутизации.
`source 10.0.19.4`	Команда указывает LSR-ID Ingress маршрутизатора в качестве источника TE-туннеля.
`tunnel-lsp ER05_to_C7206`	Создаем RSVP LSP с сигнальным именем 'ER05_to_C7206' и переходим в режим его конфигурирования.
`explicit-path-name over_ne5k`	Команда накладывает ограничение в виде использования explcit-path с именем 'over_ne5k'.
`path-computation dynamic`	Команда с помощью параметра 'dynamic' включает использование алгоритма CSPF для расчёта пути LSP.
`commit`	Применение произведенных настроек.

Пример конфигурации статического маршрута через TE-туннель

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

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

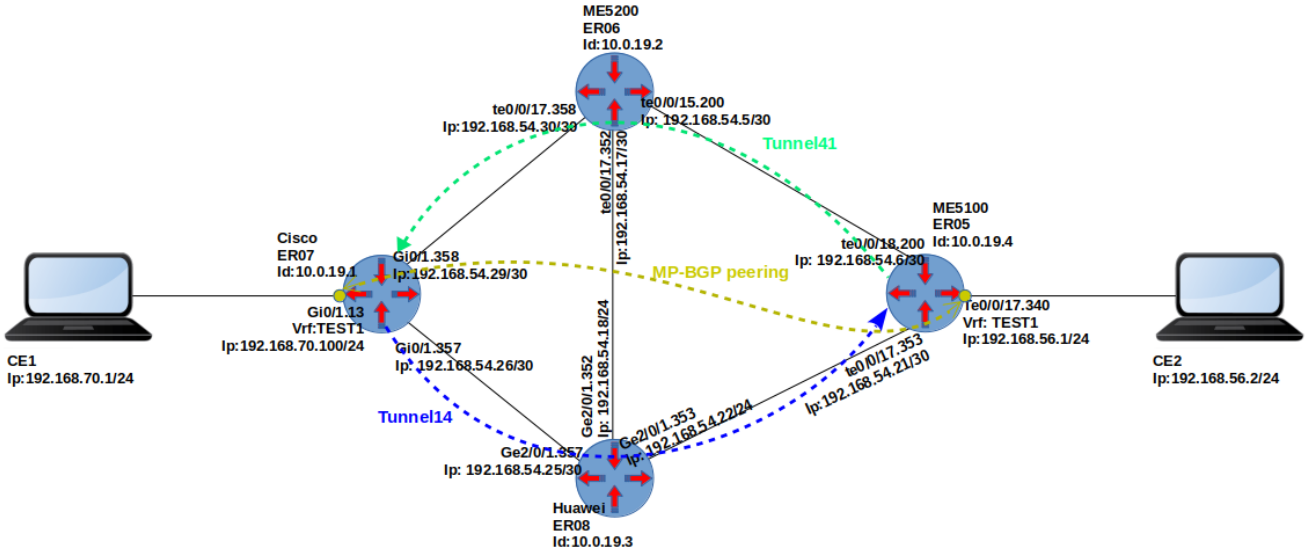

Figure 5. Пример3. Передача сервисного трафика из VRF TEST1 через TE-туннель.

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`rsvp`	Переход в режим настройки протокола RSVP.
`interface te0/0/17.353`	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/17.353.
`interface te0/0/18.200`	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/18.200.
`exit`	Возврат в режим конфигурации RSVP протокола.
`l3vpn`	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'а, L3VPN маршрут с таким nexthop'ом будет использовать LSP для отправки сервисного трафика.
`tunnel 41`	Создаем TE-туннель с именем 41 и переходим в режим его конфигурации.

Команда	Назначение
`description from ER05 to ER07`	Текстовое описание TE-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 TE-туннеля. **IMPORTANT** Данная команда обязательна для активации возможности передачи трафика через TE-туннели. Без неё BGP vpnv4 маршруты, изученные от удалённых PE-маршрутизаторов, не будут инсталлированы в таблицу маршрутизации VRF, т.к. работоспособного транспортного LSP до next-hop-ов, изученных маршрутов не будет (несмотря на то, что TE-туннель в состоянии UP).
`routing-adjacency`	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 BGP vpnv4 маршруты, изученные от удалённых PE-маршрутизаторов, не будут инсталлированы в таблицу маршрутизации VRF, т.к. работоспособного транспортного LSP до next-hop-ов, изученных маршрутов не будет (несмотря на то, что TE-туннель в состоянии UP).
`source 10.0.19.4`	Команда устанавливает LSR-ID Ingress-маршрутизатора в качестве источника TE-туннеля.
`tunnel-lsp ER05_to_C7206`	Создаем RSVP LSP с сигнальным именем 'ER05_to_C7206' и переходим в режим его конфигурирования.

Команда	Назначение
`explicit-path-name Region-T-N`	Команда накладывает ограничение на построение LSP — он должен проходить через hop-ы, указанные в конфигурации explicit-path 'Region-T-N'.
`path-computation dynamic`	Команда с помощью параметра 'dynamic' включает использование алгоритма CSPF для расчёта пути LSP.
`commit`	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                               receive
--/--              te0/0/17.340
  192.168.56.0/24                               attached
--/--              te0/0/17.340
  192.168.70.0/24                               192.168.54.5/32
39/39              te0/0/18.200

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:

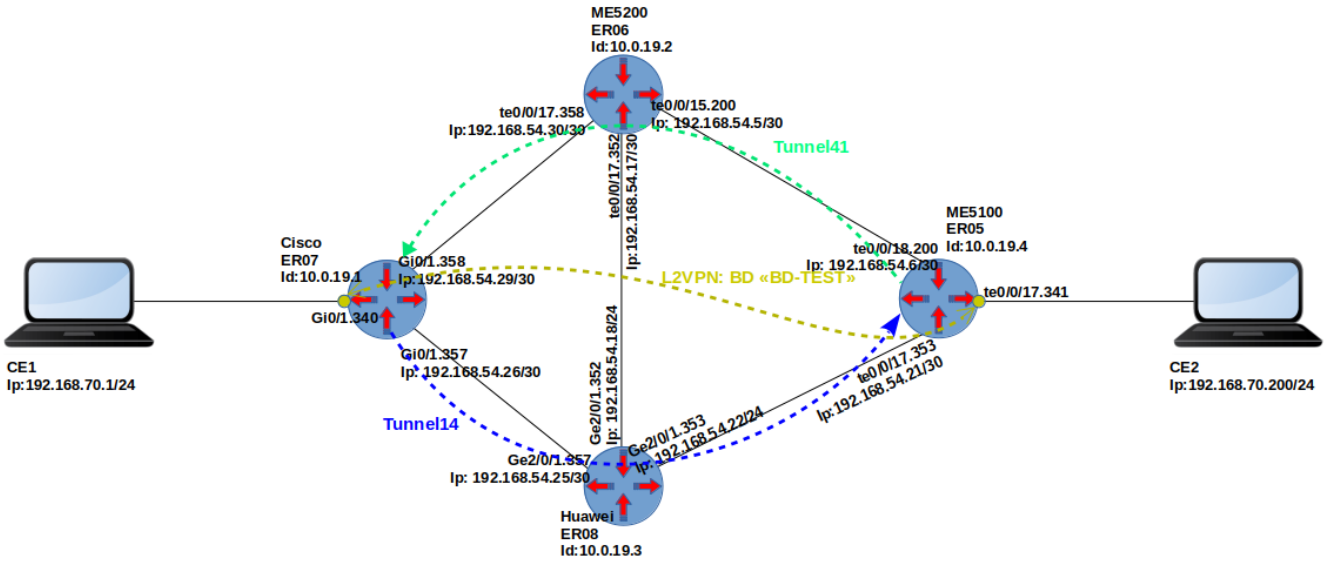

Figure 6. Пример5. Передача сервисного трафика через L2VPN и TE-туннель.

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`l2vpn pw-class pwclass01`	Создаем pw-class с именем 'pwclass01' и переходим в режим его конфигурирования.
`encapsulation mpls signaling-type pseudowire-id-fec-signaling`	Указываем набор параметров, необходимых для сигнализации PW.
`root`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`l2vpn bridge-domain BD-TEST`	Создаём VPLS сервис с именем 'BD-TEST' и переходим в режим его конфигурирования.
`interface te0/0/17.341`	Указываем интерфейс как AC-интерфейс в VPLS сервисе.
`exit`	Возврат в режим конфигурации VPLS *BD-TEST*.
`pw 10.0.19.1 123`	Создаем VC интерфейс для обмена метками с ER07 и организации PW-канала для передачи сервисного трафика, а также переходим в режим его конфигурирования.
`pw-class pwclass01`	Указываем использовать при построении PW параметры из 'pwclass01', который мы создали ранее.
`transport rsvp tunnel 41`	Указываем использовать TE-туннель *41* в качестве транспортного для этого бридж домена (VPLS).

Команда	Назначение
`commit`	Применение произведенных настроек.
`root`	Возрат в режим глобальной конфигурации.

Команда	Назначение
`mpls`	Переход в режим конфигурации функционала MPLS.
`ldp`	Переход в режим конфигурации протокола LDP.
`neighbor 10.0.19.1`	Создаем remote LDP соседа '10.0.19.1' (ER07) и переходим в режим его конфигурации.
`exit`	Выходим из режима конфигурации LDP соседа.
`transport-address 10.0.19.4`	Указываем в качестве source IP для установления LDP соседств собственный LSR-ID.
`commit`	Применение произведенных настроек.
`root`	Возрат в режим Global Config

Создаем TE-туннель с именем 41

Команда	Назначение
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`rsvp`	Переход в режим настройки протокола RSVP.
`interface te0/0/17.353`	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/17.353.
`interface te0/0/18.200`	Включение протокола RSVP на интерфейсе te0/0/18.200.
`exit`	Возврат в режим конфигурации RSVP протокола.
`tunnel 41`	Создаем TE-туннель с именем 41 и переходим в режим его конфигурации.
`description from ER05 to ER07`	Текстовое описание TE-туннеля для облегчения понимания конфигурации.

Команда	Назначение
`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 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.
`source 10.0.19.4`	Команда устанавливает LSR-ID Ingress-маршрутизатора в качестве источника TE-туннеля.
`tunnel-lsp ER05_to_C7206`	Создаем RSVP LSP с сигнальным именем 'ER05_to_C7206' и переходим в режим его конфигурирования.
`explicit-path-name Region-T-N`	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).
`path-computation dynamic`	Команда с помощью параметра 'dynamic' включает использование алгоритма CSPF для расчёта пути LSP.
`commit`	Применение произведенных настроек.
`root`	Возрат в режим Global Config

Последний момент — конфигурация AC-интерфейса в L2VPN-сервисе.

Команда	Назначение
`interface tengigabitethernet 0/0/17.341`	Создание сабинтерфейса и переход в режим его конфигурации
`encapsulation outer-vid 341`	Указываем внешний (он же единственный в данном примере) vlan-тэг с ID=341.
`rewrite egress tag push outer-vid 341`	Команда добавляет vlan-тэг с ID 341 к исходящим фреймам саб-интерфейса.

Команда	Назначение
`rewrite ingress tag pop one`	Команда удаляет внешний vlan-тэг у всех входящих на саб-интерфейс ethernet-фреймов.
`commit`	Применение произведенных настроек.
`root`	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
```

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) recv fault  false                     false
        Customer-facing (egress) send fault   false                     false
        Local PSN-facing (ingress) recv 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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`multicast address-list WORD`	Создание списка адресов с именем WORD и переход в режим его настройки.
`seq-num 1`	Создание элемента в списке и переход в режим его настройки. Для списка обязательно наличие хотя бы одного элемента.
`match address PREFIX`	Указание префикса, для которого применяется данное правило. Отсутствие префикса в элементе означает совпадение по любому адресу.
`action permit|deny`	Указание типа действия: отклонить или подтвердить. По умолчанию: `permit`.
`exit`	Возврат в режим конфигурации `multicast address-list`.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`multicast address-list WORD`	Создание списка адресов с именем WORD и переход в режим его настройки.
`seq-num 1`	Создание элемента в списке и переход в режим его настройки. Для списка обязательно наличие хотя бы одного элемента.
`match group PREFIX/MASK |ADDRLIST`	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.
`match source PREFIX/MASK |ADDRLIST`	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.
`action permit|deny`	Указание типа действия: отклонить или подтвердить. По умолчанию: `permit`.

`exit`	Возврат в режим конфигурации `multicast group-list`.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router igmp`	Создание IGMP процесса и переход в режим его настройки.
`vrf WORD`	(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.
`ssm addresses NAME`	(Опционально) Переопределение списка адресов *NAME*, считающегося SSM-диапазоном.
`ssm mapping source SRCADDR`	(Опционально) Перейти в режим настройки диапазона групп, для которого будет добавлен адреса источника *SRCADDR*.
`address-list GROUPADDR`	(Опционально) Указание диапазона групп, для которого будет добавлен адреса источника *SRCADDR*
`exit`	Возврат в режим конфигурации `router igmp`.

`interface TYPE NUM`	Включение Querier на соответствующем (саб)интерфейсе в процесс и переход в режим настройки параметров LDP для данного интерфейса.
`version NUM`	(Опционально) Указание, с какой версией выполнять отправку сообщений QUERY и обрабатывать сообщения REPORT.
`filter groups NAME`	(Опционально) Применение списка фильтрации *NAME*.
`groups-limit NUM`	(Опционально) Установка максимального количества уникальных адресов групп из всех IGMP-записей, по исчерпанию которых новые записи создаваться не будут. По умолчанию: 0, не задано.
`sources-limit NUM`	(Опционально) Установка максимального количества уникальных адресов источников из всех IGMP-записей, по исчерпанию которых, новые записи создаваться не будут. По умолчанию: 0, не задано.
`immediate-leave`	(Опционально) Удаление IGMP-записи с интерфейса при получении сообщения LEAVE без отправки GROUP SPECIFIC QUERY.
`last-member-query-interval SEC`	(Опционально) Установка таймера времени ожидания на GROUP SPECIFIC QUERY, по истечению которого будет удалена IGMP-запись.
`query-interval SEC`	(Опционально) Установка значения таймера после отправки сообщения GENERAL QUERY. По умолчанию: 125 секунд.
`query-response-interval SEC`	(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.
`robustness NUM`	(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.
`promiscuous disable`	(Опционально) Отключение обработки сообщений REPORT от подписчиков с адресов, не принадлежащих сети Querier.
`static-group GROUPADDR`	(Опционально) Создание статической IGMP-записи с указанием адреса группы и переход в режим её настройки.
`static-source SRCADDR`	(Опционально) Указание адреса источника для статической IGMP-записи.
`exit`	Возврат в режим конфигурации `router igmp interface`.

`exit`	Возврат в режим конфигурации `router igmp`.
`commit`	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            Interface               Uptime     Expires    Last
Reporter
  ----------------------- ----------------------- ---------- ----------
--------------
  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            Source Address           Interface                Origin
codes
  ------------------------ ------------------------ ------------------------
-------------
  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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router pim`	Создание IGMP процесса и переход в режим его настройки.
`vrf WORD`	(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.
`address-family ipv4|ipv6 interface TYPE NUM`	Добавление интерфейса для обработки протоколом на устройстве и переход в режим его настройки.
`assert-override-interval SEC`	(Опционально) Задание интервала до следующей попытки отправки сообщения Assert, от последнего принятого сообщения Assert, если процесс на интерфейсе проиграл данные выборы.
`bsr-border`	(Опционально) Задание границы работы BSR. При наличии опции интерфейс перестанет отправлять и обрабатывать сообщения Bootstrap. По умолчанию интерфейс принимает и обрабатывает BSR-сообщения.
`dr-priority NUM`	(Опционально) Задание приоритета для выбора Designated router. При равных DR в домене выбирается хост со старшим адресом. По умолчанию: 1.
`hello-interval SEC`	(Опционально) Задание интервала между отправками сообщений PIM Hello с выбранного интерфейса. По умолчанию: 30 секунд.
`join-prune-interval SEC`	(Опционально) Задание интервала между отправками сообщений PIM Join/Prune с выбранного интерфейса согласно своей топологии. По умолчанию: 60 секунд.
`join-prune-holdtime SEC`	(Опционально) Задание времени удержания записей PIM Join/Prune в своей топологии. Обнуляется при получении Join/Prune на соответствующую запись. По умолчанию: 210 секунд.
`sg-state-limit NUM`	(Опционально) Задание максимального количества записей (S,G) обрабатываемых на указанном интерфейсе. По умолчанию: 0, лимита нет.
`star-g-state-limit NUM`	(Опционально) Задание максимального количества групп, для которых создаются записи (*,G, I) на указанном интерфейсе. По умолчанию: 5 секунд.
`triggered-hello-interval SEC`	(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.
`passive-interface`	(Опционально) Отключение создания соседства на данном интерфейсе.

`exit`	Возврат в режим конфигурации `router pim`.
`keep-alive SEC`	(Опционально) Задание времени удержания записей (S,G) при отсутствии сообщений (S,G)Join. По умолчанию: 210 секунд.
`register probe-time SEC`	(Опционально) Задание времени ожидания сообщения Register-Stop после отправки Null-Register. По истечению стартует инкапсуляция multicast-трафика в сторону RP. По умолчанию: 5 секунд.
`register suppression-time SEC`	(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.
`trap interface state change`	(Опционально) Включение отправки SNMP-трапов при изменении статуса PIM-интерфейса.
`address-family ipv4|ipv6 static-rp PREFIX/MASK`	(Опционально) Создание диапазона групп для обработки протоколом на устройстве и переход в режим её настройки.
`pim-mode asm|ssm`	Выбор режима работы PIM для настраиваемого диапазона групп. По умолчанию: ASM.
`rp-address ADDR`	Задание адреса Rendezvous Point для настраиваемого диапазона групп, если выбран режим ASM.
`exit`	Возврат в режим конфигурации `router pim`.
`address-family ipv4|ipv6 anycast-rp ANYCAST-ADDR RP-ADDR`	(Опционально) Задание соответствия адреса RP и общего ip-адреса.
`exit`	Возврат в режим конфигурации `router pim`.
`commit`	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              Interface          Status    Nbr Count   Hello Intvl   DR pri
Suppress   DR
  -------------------- ------------------ --------- ----------- -------------
--------------- ---------- ---
  100.111.134.134/24   te0/0/10           up        1           30            1
true       local
  100.26.134.134/24    te0/0/9            up        1           30            1
true       local
  101.26.134.134/24    te0/0/1.1133       up        1           30            1
true       local
  46.61.193.134/24     te0/0/1.30         up        0           30            1
true       local
  110.26.134.134/24    te0/0/9.10         up        1           30            1
true       local
```

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 инсталлирует 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 топологи 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

`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router msdp`	Создание MSDP процесса и переход в режим его настройки.
`vrf WORD`	(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.
`connect-source ADDR`	Указать адрес, с которого будет строится сессия (в сторону старшего адреса) или который будет ожидать сообщений (от младшего адреса).
`originator-ip ADDR`	(Опционально) Указать адрес, который будет указываться в качестве RP в сообщениях Source-Active. По умолчанию равняется connect-source.
`keepalive SEC`	(Опционально) Интервал отправки сообщений TCP Keepalive. По умолчанию: 60 секунд.
`holdtime SEC`	(Опционально) Время жизни сессий с поднятыми пирами. По умолчанию: 75 секунд.
`cache-sa-holdtime SEC`	(Опционально) Время жизни записи в кэше Source-Active. По умолчанию: 150 секунд.
`peer ADDR`	Создание пира и вход в режим его конфигурации.
`connect-source ADDR`	(Опционально) Указать адрес, с которого будет строится сессия (в сторону старшего адреса) или который будет ожидать сообщений (от младшего адреса) для конкретного пира.
`mesh-group NUM`	(Опционально) Указать индекс MESH-группы, в рамках которой не будут рассылаться сообщения SA.
`description STRING`	(Опционально) Задать описание пира.
`shutdown`	(Опционально) Отключить создание сессии с указанным пиром.
`exit`	Возврат в режим конфигурации `router msdp`.
`commit`	Применение произведенных настроек.

Таблица 73. Порядок настройки листов фильтрации MSDP

Команда	**Назначение**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`router msdp`	Переход в режим настройки MSDP.
`peer ADDR`	Переход в режим конфигурации пира.
`sa-filter in NUM`	Создание фильтра на записи из входящих SA-сообщений.
`group-address IPv4(A.B.C.D)/WCARD(A.B.C.D) | any`	Задание wildcard-записи для матчинга адреса группы.

`source-address IPv4(A.B.C.D)/WCARD(A.B.C.D) | any`	Задание wildcard-записи для матчинга адреса источника.
`rp-address IPv4(A.B.C.D)/WCARD(A.B.C.D) | any`	Задание wildcard-записи для матчинга адреса RP.
`action permit|deny`	Действие для созданного фильтра: permit — разрешить, deny — отклонить. По умолчанию: разрешить.
`exit`	Возврат в режим конфигурации `router msdp peer`.
`sa-filter out NUM`	Создание фильтра для (S,G,RP) записей при формировании исходящего SA-сообщения. Правила создания фильтра аналогичны вышеописанным.
`commit`	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/recv  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**
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`qos`	Переход в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
`shape profile` *PROFILE_NAME*	Создание ограничительного профиля для исходящего трафика. В данной версии ПО шейпинг применим только для исходящего трафика.
`rate` *KBPS*	Задание ограничительной скорости, при достижении которой превышающий трафик будет отброшен. Данный параметр является обязательным.
`exit`	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
`rate-limit profile` *PROFILE_NAME*	Создание ограничительного профиля для входящего трафика. В данной версии ПО входящий трафик возможно ограничить только посредством применения rate-limit.

Команда	Назначение
`rate` *KBPS*	Задание ограничительной скорости, при достижении которой превышающий трафик будет отброшен. Данный параметр является обязательным.
`exit`	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.

Теперь для того, чтобы как-то помечать приходящий клиентский трафик, необходимо создать *tc-map* (карта классов трафика). На основе данной карты пакеты будут помечаться 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
`tc-map` *MAP_NUMBER*	Создание карты классов трафика.
`ipv4-dscp` *DSCP_VALUE*	Определяем какое значение DSCP в IPv4 пакете будет помечаться маркерами tc.
`tc` *INTERNAL_TC_VALUE*	Назначаем номер внутреннего для устройства tc-маркера. Данный параметр является обязательным.
`set ipv4-dscp` *DSCP_VALUE*	Применяем перемаркировку DSCP на необходимое значение по дизайну.
`exit`	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
`exit`	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
`interface { tengigabitethernet | bundle-ether }` *num* | *num.subif_id*	Переход в режим конфигурирования интерфейса либо сабинтерфейса.

Команда	Назначение
`shape output profile` *PROFILE_NAME*	Применение профиля ограничения скорости на исходящий трафик.
`rate-limit input` *PROFILE_NAME*	Применение профиля ограничения скорости на входящий трафик.
`tc-map input` *MAP_NUMBER*	Применение правила матчинга и перемаркировки входящего трафика.
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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 приоретизации, наследует значения приоритетов в зависимости от инкапсулируемой нагрузки. Т.е. для L3-VPN сервисов значение поля DSCP будет трансировано 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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`qos`	Переход в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
`rewrite-map` *MAP_NUMBER*	Создание карты перемаркировки трафика.
`vlan-pcp-outer` *PCP_VALUE*	Определяем какое значение PCP в поле 802.1p будет заменять приоритет в MPLS-пакете.
`mpls-tc` *TC_VALUE*	Назначаем приоритет для исходящего MPLS-пакета.
`exit`	Возврат в режим конфигурирования rewrite-map.
`ipv4-dscp` *DSCP_VALUE*	Определяем какое значение DSCP в IPv4 заголовке будет заменять приоритет в MPLS-пакете.
`mpls-tc` *TC_VALUE*	Назначаем приоритет для исходящего MPLS-пакета.
`exit`	Возврат в режим конфигурирования rewrite-map.
`exit`	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
`exit`	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
`interface { tengigabitethernet | bundle-ether }` *num* | *num.subif_id*	Переход в режим конфигурирования интерфейса либо сабинтерфейса.
`qos rewrite output` *MAP_NUMBER*	Применение карты перемаркировки на исходящий трафик.
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	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
`configure`	Переход в режим глобальной конфигурации.
`qos`	Переход в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
`tc-map` *MAP_NUMBER*	Создание карты классов трафика.
`ipv4-dscp` *DSCP_VALUE*	Определяем какое значение DSCP в IPv4 пакете будет помечаться маркерами tc.
`tc` *TC_VALUE*	Назначаем номер внутреннего для устройства tc-маркера. Данный параметр является обязательным.
`exit`	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
`class-map` *CLASS_MAP_NAME*	Создание карты классификации трафика.
`match tc` *INTERNAL_TC_VALUE*	Назначение внутреннего для устройства tc-маркера.
`match-mode` { all | any }	(опционально) Режим работы классификации - либо должны быть соблюдены все условия, либо хотя бы одно из условий (режим по умолчанию).
`exit`	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.
`policy-map` *POLICY_MAP_NAME*	Создание политики для ограничения исходящего трафика.
`class` *CLASS_MAP_NAME*	Настройка использования классов трафика в политике.
`shape rate` *KBPS*	Задание ограничительной скорости для класса, при достижении которой превышающий трафик будет отброшен.
`exit`	Возврат в режим конфигурирования *policy-map*.
`exit`	Возврат в режим конфигурирования и создания QoS параметров.

Команда	Назначение
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации.

Последний шаг - применить *policy-map* на интерфейсы маршрутизатора.

Таблица 80. Применение policy-map на интерфейсы.

Команда	Назначение
`interface { tengigabitethernet | bundle-ether } num | num.subif_id`	Переход в режим конфигурирования интерфейса либо сабинтерфейса.
`tc-map input MAP_NUMBER`	Применение правила матчинга входящего трафика.
`service-policy output POLICY_MAP_NAME`	Применение сервисной политики на исходящий трафик.
`exit`	Возврат в режим глобальной конфигурации.
`commit`	Применение произведенных настроек.

Пример. Ограничение исходящего трафика согласно приоритетам.

```
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
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.