

## Магистральные мосты провайдера

В стандарте IEEE 802.1ah на **магистральные мосты провайдера** (Provider Backbone Bridges, **PBB**) адресные пространства пользователей и провайдера разделяются за счет того, что пограничные коммутаторы провайдера полностью инкапсулируют пользовательские кадры Ethernet в новые кадры Ethernet, которые затем применяются в пределах сети провайдера для доставки пользовательских кадров до выходного пограничного коммутатора.

### Формат кадра PBB

При передаче кадров Ethernet через сеть PBB в качестве адресов назначения и источника используются MACадреса пограничных коммутаторов (Backbone Edge Bridges, BEB) провайдера. По сути, в сети провайдера работает независимая иерархия Ethernet со своими MACадресами и делением сети на виртуальные локальные сети (VLAN) так, как это удобно провайдеру. Изза двух уровней MACадресов в кадрах провайдера стандарт PBB получил также название **MACinMAC**.

Формат кадра при такой инкапсуляции показан на рис. 12.5. Здесь предполагается, что сеть PBB провайдера принимает кадры от сетей PB (возможно, другого провайдера), которые, в свою очередь, соединены с сетями пользователя. В этом случае в поступающих на пограничные коммутаторы сети PBB кадрах имеется идентификатор SVID, добавленный входным пограничным коммутатором сети PB. Наличие идентификатора SVID во входных кадрах не является необходимым условием работы сети PBB (это один из возможных вариантов); если сеть PBB непосредственно соединяет сети пользователей, то входящие кадры поля SVID не имеют. Поле SVID не используется при продвижении кадров в сети PBB, как будет показано далее.

Входной пограничный коммутатор сети PBB добавляет к принимаемому кадру шесть новых полей, из которых четыре поля представляют собой стандартный заголовок нового кадра, в поле данных которого упакован принятый кадр. В этом заголовке MACадресами назначения и источника являются адреса выходного и входного пограничных коммутаторов сети, которые на рис. 12.5 обозначены как BMAC DA и B-MAC SA соответственно (буква «B» в этих обозначениях появилась от слова «backbone» — магистральный). Адреса BMAC идентифицируют коммутатор провайдера в целом как узел, являясь аналогом IPадреса обратной связи маршрутизатора.

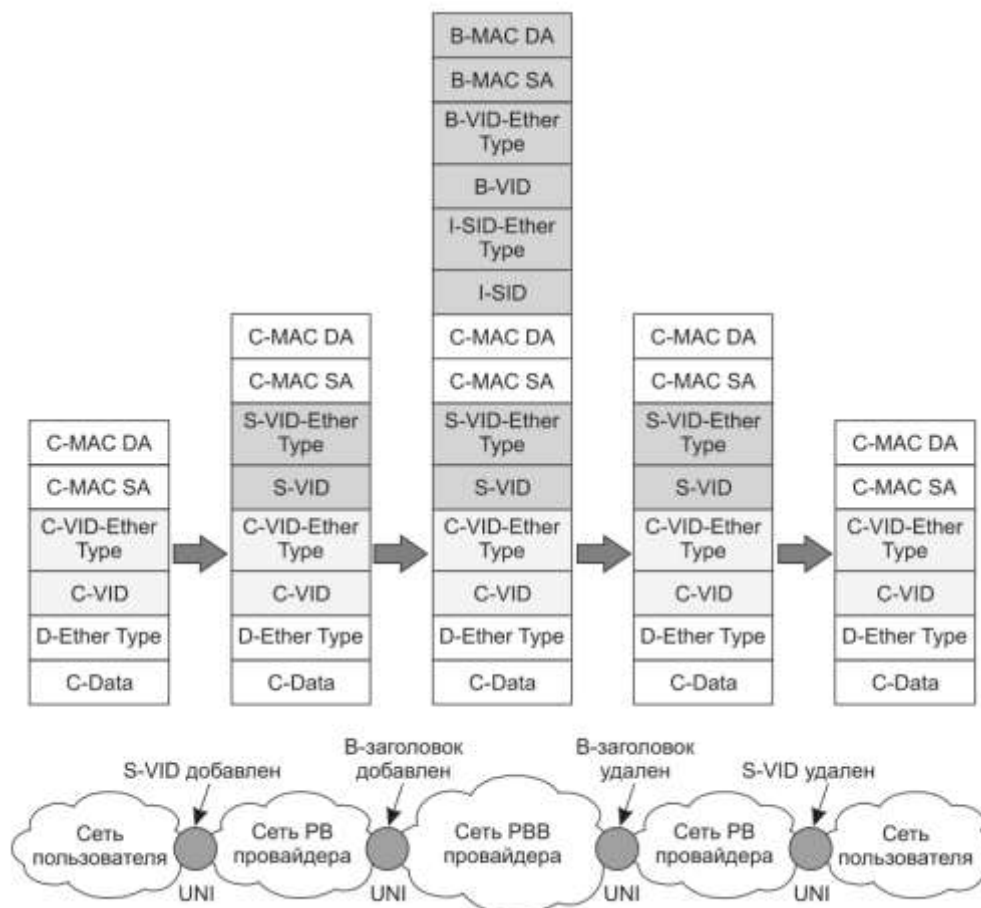


Рис. 12.5. Формат кадров при инкапсуляции MACinMAC согласно стандарту IEEE 802.1ah

Адреса ВМАС используются в пределах сети РВВ вместе с идентификатором виртуальной локальной сети ВVID для передачи кадров в соответствии со стандартной логикой локальной сети, разделенной на сегменты VLAN, и при этом совершенно независимо от адресной информации сетей пользователя. В качестве значения EtherType для BVID стандарт РВВ рекомендует применять значение 0x88a8, как и для SVID в стандарте РВ, но допустимы и другие значения, например, стандартное для C-VID значение 0x8100 (как и для сетей РВ, эта возможность зависит от решения производителя оборудования). Пользовательские МАС адреса, а также идентификаторы SVID и CVID находятся в поле данных нового кадра и при передаче между магистральными коммутаторами сети РВВ никак не используются.

## Двухуровневая иерархия соединений

Полная инкапсуляция входящих кадров не является единственным новшеством стандарта на РВВ. Другим усовершенствованием этого стандарта является введение двухуровневой иерархии соединений между пограничными коммутаторами. Это служит обеспечению масштабируемости технологии при обслуживании большого количества пользовательских соединений.

Для этого в кадр PBB введено поле ISID с предшествующим ему полем ISID EtherType (с рекомендованным значением 0x88e7). Значение идентификатора ISID (Information Service Identifier — идентификатор информационного сервиса) должно указывать на *пользовательское соединение (виртуальную частную сеть пользователя) в сети PBB*. Так как сеть PBB делится на сегменты BVLAN, то соединения ISID являются логическими соединениями внутри этих сегментов. Роль сегментов BVLAN состоит в предоставлении транспортных услуг соединениям ISID, они являются своего рода туннелями. В каждой сети BVLAN может насчитываться до 16 миллионов соединений ISID (это значение определяется форматом поля ISID, состоящего из 24 разрядов).

Двухуровневый механизм BVID/ISID рассчитан на то, что в сети провайдера будет небольшое количество сегментов BVLAN, которые направляют потоки пользовательских данных, идущих по логическим соединениям ISID, по нужным маршрутам.

Назначение идентификатора ISID в сети PBB аналогично назначению идентификатора SVID в сети PB — оба определяют виртуальную сеть пользователя в сети провайдера. Этот факт объясняет также необязательность наличия поля SVID в кадрах пользователя, поступающих на входные интерфейсы сети PBB — это поле является только *одним из признаков*, учитываемых при отображении кадров пользователя на некоторую виртуальную сеть пользователя, существующую в сети провайдера. Если поле SVID в кадрах пользователя отсутствует, то для отображения используются другие признаки — MACадреса, значение поля CVID или номер интерфейса, с которого поступают кадры пользователя.

На рис. 12.6 показана сеть провайдера, оказывающая услуги Ethernet своим клиентам на основе стандарта на PBB. Она состоит из пограничных коммутаторов (Backbone Edge Bridge, BEB) и магистральных коммутаторов (Backbone Core Bridge, BCB).

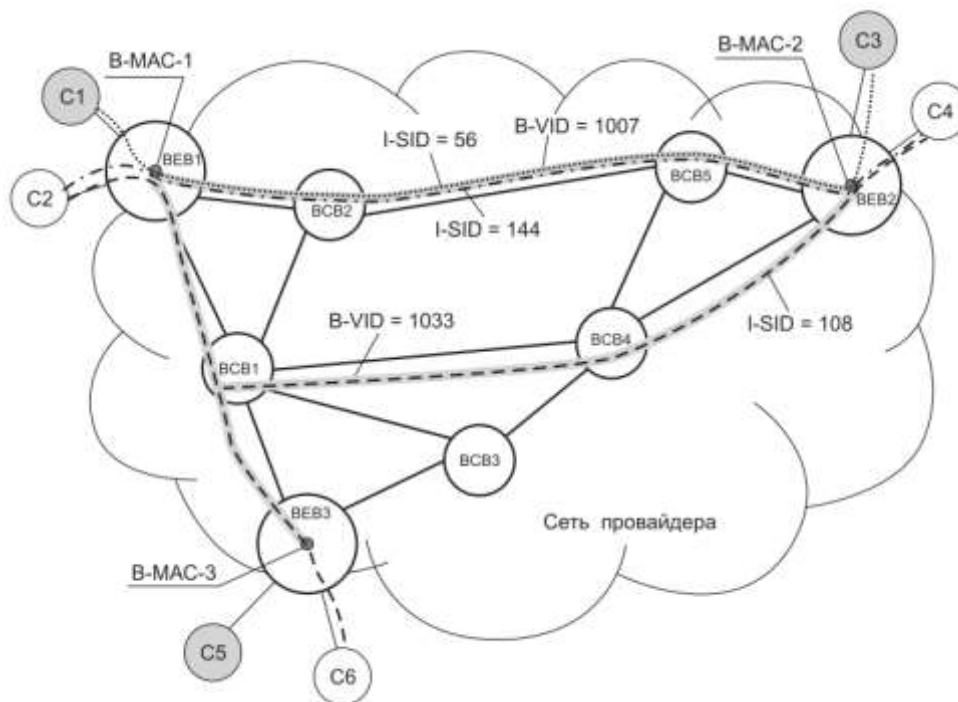


Рис. 12.6. Организация услуг в сети PBB

Провайдер в этом примере предоставляет услуги трех виртуальных сетей:

- LAN1 — передает голосовой трафик между сетями C1 и C3 (двухточечная топология);
- LAN2 — передает голосовой трафик между сетями C2 и C4 (двухточечная топология);
- LAN3 — передает эластичный трафик данных между сетями C2, C4 и C6 (полносвязная топология).

Пользовательские сети непосредственно подключены к сети PBB, промежуточных сетей PV в этом примере нет.

На верхнем уровне структуризации сети провайдера в ней сконфигурированы две *магистральные виртуальные локальные сети (BVLAN)* с идентификаторами 1007 и 1033 (обозначены как BVID 1007 и BVID 1033 соответственно). В нашем примере различные сети BVLAN призваны поддерживать трафик разного типа: BVLAN 1007 поддерживает более требовательный голосовой трафик, а BVLAN 1033 — менее требовательный эластичный трафик данных. В соответствии с этим назначением созданы и два покрывающих дерева для каждой из виртуальных сетей BVLAN. Естественно, что назначение сетей BVLAN может быть иным — оно полностью определяется оператором сети PBB в соответствии с его потребностями.

На уровне пользовательских услуг в сети организовано три пользовательских соединения, помеченных как ISID 56, 144 и 108. Эти соединения предназначены для реализации услуг LAN1, LAN2 и LAN3 соответственно.

Соединения ISID 56 и 144 отображаются пограничными коммутаторами BEB1 и BEB2 на сеть BVLAN 1007, так как эти соединения переносят пользовательский голосовой трафик, а данная сеть BVLAN создана для этого типа трафика. В то же время соединение ISID 108 отображается пограничными коммутаторами BEB1, BEB2 и BEB3 на сеть BVLAN 1033, так как сервис 108 переносит эластичный пользовательский трафик данных. Задаёт эти отображения администратор при конфигурировании пограничных коммутаторов.

Завершает процесс конфигурирования услуг LAN1, LAN2 и LAN3 отображение пользовательского трафика на соответствующие соединения ISID. Это отображение также задаёт администратор сети при конфигурировании пограничных коммутаторов BEB. При отображении пользовательского трафика администратор может учитывать только интерфейс, по которому трафик поступает в сеть провайдера. В нашем примере таким способом задано отображение для сервиса с ISID 56, который монополично использует интерфейсы коммутаторов BEB1 и BEB2, не разделяя их с другими сервисами. В том случае, когда на один и тот же интерфейс поступает трафик более одного сервиса, при отображении нужно также учитывать значение CVID (в нашем примере поле SVID в пользовательских кадрах отсутствует, так как пользовательские сети соединены с сетью РВВ непосредственно, без промежуточной сети типа РВ). Этот случай имеет место для сервисов с ISID 144 и 108, так как они разделяют один и тот же интерфейс коммутаторов BEB1 и BEB2. Поэтому такие отображения нужно конфигурировать с учётом значений CVID: CVID 305 отображается на ISID 144, а CVID 500 — на ISID 108.

## **Пользовательские МАС-адреса**

Теперь рассмотрим вопрос применения пользовательских МАС-адресов в сети РВВ.

Магистральным коммутаторам сети РВВ *знание пользовательских адресов не требуется*, так как они передают кадры только на основании комбинации ВМАС/В-VID. А вот поведение пограничных коммутаторов в отношении пользовательских МАС-адресов зависит от топологии сервиса, предоставляемого сетью РВВ своим пользователям. При отображении кадров сервиса с двухточечной топологией на определенное соединение ISID пограничные коммутаторы не применяют пользовательские МАС-адреса, так как все кадры, независимо от их адресов назначения, передаются одному и тому же выходному пограничному коммутатору. Так, для сервисов с ISID 56 и 144 коммутатор BEB1 всегда задействует МАС-адрес коммутатора BEB2 в качестве ВМАС DA при формировании несущего (нового) кадра, переносящего инкапсулированный пользовательский кадр через сеть РВВ. Однако при отображении кадров сервиса со звездообразной или полносвязной топологией

у входного коммутатора всегда существует несколько выходных пограничных коммутаторов, поддерживающих этот сервис. Например, у входного коммутатора ВЕВ1 при обслуживании кадров сервиса ISID 108 есть альтернатива — отправить пришедший кадр коммутатору ВЕВ2 или ВЕВ3.

Для принятия решения в таких случаях используется информация, находящаяся в пользовательских МАСдресах. Пограничные коммутаторы ВЕВ, поддерживающие сервисы со звездообразной и полносвязной топологиями, изучают пользовательские МАСдреса и посылают кадр выходному коммутатору, связанному с той сетью пользователя, в которой находится МАСдрес назначения СМАС DA. Так, в нашем примере коммутатор ВЕВ1 изучает адреса СМАС SA кадров, поступающих через сервис ISID 108, чтобы знать, подключены ли узлы с этими адресами к ВЕВ2 или ВЕВ3. В результате ВЕВ1 создает таблицу продвижения (табл. 12.1), на основании которой коммутатор по адресу назначения СМАС выбирает соответствующий адрес выходного пограничного коммутатора и помещает его в формируемый кадр — например, для кадра с адресом назначения СМАС2 это будет ВМАС2.

Таблица 12.1. Таблица продвижения для сервиса ISID 108

СМАС	ISID	ВМАС	BVID
СМАС1	108	ВМАС2	1033
СМАС2	108	ВМАС2	1033
СМАС3	108	ВМАС3	1033
СМАС4	108	ВМАС3	1033
...	108	...	1033

Если же пользовательский адрес назначения еще не изучен, то коммутатор ВЕВ1 помещает в поле ВМАС широковещательный адрес. Таким же образом обрабатываются кадры с широковещательным пользовательским адресом.

## Маршрутизация и отказоустойчивость в сетях РВВ

Для нормального функционирования сети РВВ ее активная топология должна быть свободна от петель, при этом сеть должна обеспечивать отказоустойчивость, то есть топология сети должна автоматически изменяться в случае отказов линий связи или коммутаторов сети.

В сетях Ethernet для этой цели применяется протокол покрывающего дерева STP, он же может быть применен и в сетях РВВ в его версии MSTP, строящей отдельное дерево

для каждой магистральной сети VLAN (определяемой значением BVID). Как вы знаете из материала главы 11, у протокола STP есть несколько принципиальных недостатков, таких как неоптимальность маршрутов и слишком длительное время установления новой активной топологии. Для преодоления недостатков протокола STP рабочей группой IEEE 802.1aq был создан протокол маршрутизации с **коммутацией по кратчайшему пути** (Shortest Path Bridging, **SPB**). Он основан на протоколе маршрутизации ISIS, который представляет собой протокол маршрутизации, учитывающий состояние связей (см. главу 17).

Выбор протокола ISIS для применения в сетях Ethernet объясняется тем, что он создавался как гибкий протокол маршрутизации, способный работать в различных стеках протоколов. Протокол ISIS может передавать свои сообщения непосредственно в кадрах канального уровня, не используя пакеты IP и сообщения TCP или UDP. Кроме того, для идентификации связей сети он может использовать адресную информацию разного типа. В том случае, когда ISIS работает в сети IP, он применяет для идентификации связи IP-адреса ее конечных точек. При работе в сети Ethernet ISIS (точнее — сети SPB, работающий на основе ISIS) использует для этой цели MAC-адреса.

Группа 802.1aq разработала два варианта протокола SPB — SPBV (SPB VLAN) и SPBM (SPB MAC). Вариант SPBV предназначен для пользовательских сетей, то есть сетей с общим пространством MAC-адресов и одним уровнем виртуальных локальных сетей. Вариант SPBM предназначен для сетей PBB с инкапсуляцией MAC-in-MAC, которая и фигурирует в названии.

При работе протокола SPBM каждый пограничный коммутатор ВЕВ строит дерево оптимальных маршрутов к остальным пограничным коммутаторам отдельно для каждой магистральной сети VLAN, то есть отдельно для каждого значения BVID. Например, на рис. 12.6 пограничный коммутатор ВЕВ1 строит для сервиса 1033 дерево маршрутов к пограничным коммутаторам ВЕВ2 и ВЕВ3, а для сервиса 1007 — дерево маршрутов только к ВЕВ2, так как только этот коммутатор входит в магистральную виртуальную локальную сеть 1007 кроме ВЕВ1.

Нахождение оптимальных маршрутов выполняется стандартным для протоколов маршрутизации, учитывающих состояние связей, способом: каждый коммутатор (как типа ВЕВ, так и типа ВСВ) рассылает объявления о состоянии связей {ВМАС1, В-МАС2}, где ВМАС-адреса относятся к коммутаторам, являющимся конечными точками данной связи. Пограничные коммутаторы ВЕВ распространяют также информацию о номерах магистральных виртуальных сетей BVID, для которых эти коммутаторы являются конечными. Например, коммутатор ВЕВ1 распространяет информацию о двух связях: {ВМАС1, ВМАСВСВ1} и {ВМАС1, ВМАСВСВ2} (вторые адреса в парах принадлежат магистральным коммутаторам ВСВ1 и ВСВ2). Кроме того, он объявляет о том, что является пограничным коммутатором для BVID 1033 и BVID 1007. После получения информации о топологии сети каждый коммутатор сети строит

дерево оптимальных маршрутов от себя до каждого конечного коммутатора BEB в каждой магистральной виртуальной сети BVID. В нашем примере BEB1 строит два дерева: для BVID 1033 к коммутаторам BEB2 и BEB3, а также для BVID 1007 к коммутатору BEB2 (вырожденное дерево с одной ветвью). Далее эти деревья служат для построения таблицы продвижения, то есть нахождения следующего хопа передачи кадра. Таблица строится точно так же, как и таблица маршрутизации в протоколах OSPF и ISIS, то есть выбирается следующий коммутатор вдоль пути к коммутатору назначения.

Применение известного протокола маршрутизации ISIS как основы протокола SPBM наделяет сети PBB положительными свойствами, характерными для сетей IP, в которых работают протоколы маршрутизации, учитывающие состояние связей, — рациональными маршрутами с отсутствием петель и быстрой перестройкой активной топологии при отказах элементов сети.

## Магистральные мосты провайдера с поддержкой инжиниринга трафика

Технология **PBB TE** (Provider Backbone Bridge Traffic Engineering — магистральные мосты провайдера с поддержкой инжиниринга трафика) базируется на технологии PBB, добавляя к ней возможность инжиниринга трафика. В PBBTE применяется та же самая схема инкапсуляции кадров, создания магистральных сетей VLAN (BVID) и пользовательских соединений ISID. В отличие от PBB, технология PBBTE работает только с двухточечной топологией соединений.

Главными целями разработчиков технологии PBB TE были:

- поддержка функций инжиниринга трафика;
- обеспечение «быстрой» отказоустойчивости со скоростью, сравнимой со скоростью защиты соединений в технологии SDH.

Поставленные цели достигаются в технологии PBB TE за счет перечисленных далее изменений технологии PBB и классической технологии локального моста:

- Запрет на работу протокола STP.
- Отключение механизма автоматического изучения магистральных MAC-адресов.
- Использование пары «BVID/BMACDA» в качестве метки туннеля между двумя пограничными коммутаторами. В принципе, любой коммутатор, который поддерживает технику VLAN (стандарт IEEE 802.1Q), продвигает кадры на выходной порт, анализируя два указанных в кадре значения: MACадрес назначения и идентификатор VLAN. Данное свойство просто предполагает, что коммутатор ведет себя в соответствии

с алгоритмом продвижения, описанным в стандарте 802.1Q, но только для магистральных адресов и магистральных виртуальных локальных сетей.

- Предварительная прокладка первичного (основного) и резервного туннелей для тех случаев, когда нужно обеспечить отказоустойчивость туннеля.

Первые три перечисленные свойства технологии PBB TE позволяют администратору или системе управления сетью формировать пути прохождения через сеть произвольным образом, независимо от того, обеспечивают ли кратчайшее расстояние (в некоторой метрике) до некоторого коммутатора, названного корневым, или нет — то есть обеспечивают поддержку функций инжиниринга трафика.

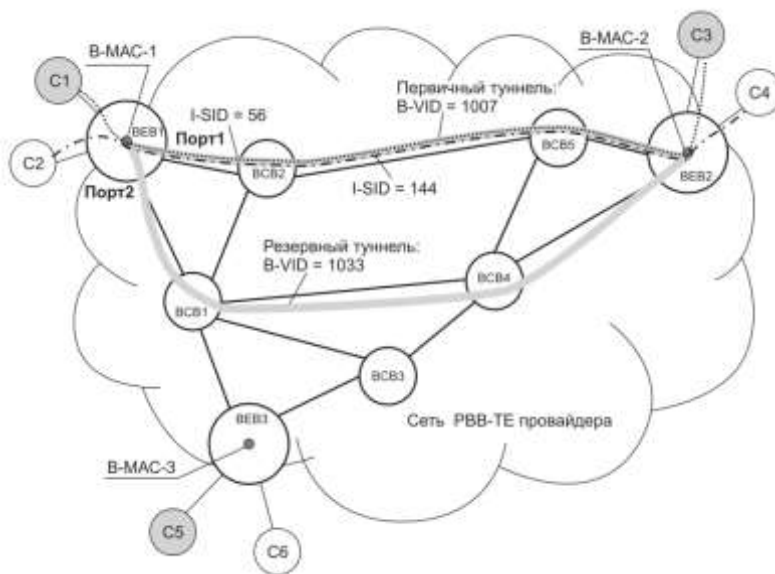


Рис. 12.7. Организация услуг в сети PBB TE

Посмотрим, как работает технология PBB TE, на примере одной сети (рис. 12.7).

В этой сети сконфигурировано два туннеля:

- Основной туннель с BVID 1007 между VEB1 и VEB2, проходящий через VCSB2 и VCSB5. Нужно отметить, что туннели PBB TE являются двунаправленными.
- Резервный туннель с BVID 1033, соединяющий те же конечные точки VEB1 и VEB2, но проходящий через другие промежуточные коммутаторы VCSB1 и VCSB4, что позволяет обеспечить работоспособность резервного туннеля при отказе какого-либо элемента (коммутатора или линии связи) основного туннеля.

Организация туннелей достигается путем ручного конфигурирования таблиц продвижения на всех коммутаторах сети, через которые проходят туннели (см. табл. 12.2, отражающую продвижение коммутатора ВЕВ1 после конфигурирования).

Таблица 12.2. Таблица продвижения коммутатора ВЕВ1

МАС адрес назначения (ВМАСDA)	VLAN ID (ВVID)	Выходной порт
ВМАС2	1007	Port 1
ВМАС2	1033	Port 2

Для устойчивой работы сети РВВ ТЕ необходимо, чтобы комбинация ВVID/ВМАСDA была уникальной в пределах этой сети. Как и в технологии РВВ, для идентификации магистральных коммутаторов ВЕВ и ВСВ в технологии РВВТЕ используются МАС-адреса обратной связи, которые относятся не к отдельному физическому интерфейсу, а к коммутатору в целом. При ручном задании МАС адресов ответственность за их уникальность лежит на администраторе; понятно, что такое решение может работать только в пределах одного административного домена.

Добавление значения ВVID к адресу ВМАСDA позволяет организовать к одному и тому же пограничному коммутатору до 1024 туннелей с различными в общем случае путями прохождения через сеть. Это дает администратору или системе управления широкие возможности в отношении инжиниринга трафика в сетях РВВ ТЕ.

Таблицы продвижения в сети РВВ ТЕ имеют стандартный вид для коммутаторов, поддерживающих технику VLAN. Изменяется только способ построения этих таблиц — вместо автоматического построения на основе изучения адресов передаваемых кадров имеет место их внешнее формирование. Отображение пользовательского трафика на соединения ISID и связывание этих соединений с туннелями ВVID происходит в технологии РВВ ТЕ точно так же, как в технологии РВВ. Так как сети РВВ ТЕ поддерживают *только двухточечные соединения*, пограничным коммутаторам не нужно изучать пользовательские МАС адреса.

Отказоустойчивость туннелей РВВ ТЕ обеспечивается следующим механизмом. Если администратор сети хочет защитить некоторый туннель, то он должен сконфигурировать для него резервный туннель и постараться проложить его через элементы сети, лежащие вне основного туннеля. В случае отказа первичного туннеля его трафик автоматически направляется пограничным коммутатором в резервный

туннель. В примере, приведенном на рис. 12.7, для первичного туннеля с идентификатором BVID, равным 1007, сконфигурирован резервный туннель с идентификатором BVID, равным 1033. При отказе туннеля 1007 трафик соединений с идентификаторами ISID, равными 56 и 144, будет направлен коммутатором BEB1 в туннель 1033.

Для мониторинга состояний первичного и резервного туннелей в технологии PBB TE применяется протокол CFM, являющийся обязательным элементом технологии PBB TE. Мониторинг выполняется путем периодической отправки сообщений CCM каждым пограничным коммутатором туннеля. Время реакции механизма защиты туннелей PBB TE определяется периодом следования сообщений CCM; при аппаратной реализации протокола портами коммутатора время реакции может находиться в пределах десятка миллисекунд, что соизмеримо с реакцией сетей SDH/OTN.