

Аппаратное и программное обеспечение ЭВМ и сетей

Раздел 6 Технологии глобальных сетей

Тема 34 Ethernet операторского класса.
Версии Ethernet операторского класса.
Технология EoMPLS. Ethernet поверх Ethernet.

Версии Ethernet операторского класса

Движущие силы экспансии Ethernet

- Ethernet операторского класса (Carrier Ethernet, или Carrier Grade Ethernet) — это сравнительно новый термин, под которым скрывается целый спектр различных технологий, а также новые виды услуг, которые операторы связи предоставляют в глобальном масштабе.
- В эти технологии входит усовершенствованная версия Ethernet, а также MPLS и технологии первичных сетей, такие как SDH, OTN и DWDM.
- Классическая технология Ethernet разрабатывалась исключительно как технология локальных сетей, и до недавнего времени сети этого класса и были единственной областью ее применения. Однако бесспорный успех Ethernet в локальных сетях, где она вытеснила все остальные технологии, привел к напрашивающейся идее об использовании этой технологии и в глобальных сетях (которые по большей части являются операторскими). Эта услуга может у разных провайдеров называться по-разному — Carrier Ethernet, Ethernet VPN, VPLS, ELINE или ELAN.
- Потенциальных преимуществ от экспансии Ethernet за пределы локальных сетей несколько:
 - 1. Для Пользователей:
 - a) соединять свои территориально рассредоточенные сети LAN на уровне коммутаторов Ethernet и без привлечения протокола IP.
 - b) соединив сети на канальном уровне, пользователи свободны в выборе IP-адресов для своих сетей, т.е. они могут применить частные IP – адреса 192.168.X.X

Версии Ethernet операторского класса

- 2. Для провайдеров Ethernet операторского класса важна и как популярная услуга, и как *внутренняя быстрая транспортная технология канального уровня*.
- 3. Низкая стоимость портов Ethernet по сравнению с портами любой другой технологии.
- 4. Унификация - сетевой уровень уже давно демонстрирует однородность благодаря доминированию протокола IP, и перспектива получить однородный канальный уровень в виде Ethernet выглядит очень заманчивой.
- Для того чтобы успешно работать в сетях операторов связи, технология и воплощающее ее оборудование должны обладать определенным набором характеристик, среди которых, в первую очередь, нужно отметить надежность, отказоустойчивость, масштабируемость и управляемость. Эталоном такой технологии может служить технология **SDH**. Ethernet в своем классическом виде технологии локальной сети не готова стать технологией глобальных сетей.
- Чтобы соперничать с SDH или MPLS, превратившись в технологию операторского класса, Ethernet надо улучшить свою функциональность, при этом наиболее важным является решение двух задач:

1. Эксплуатационные и административные характеристики должны поддерживаться протоколами администрирования и обеспечивать мониторинг состояния соединений, а также локализацию и устранение неисправностей.

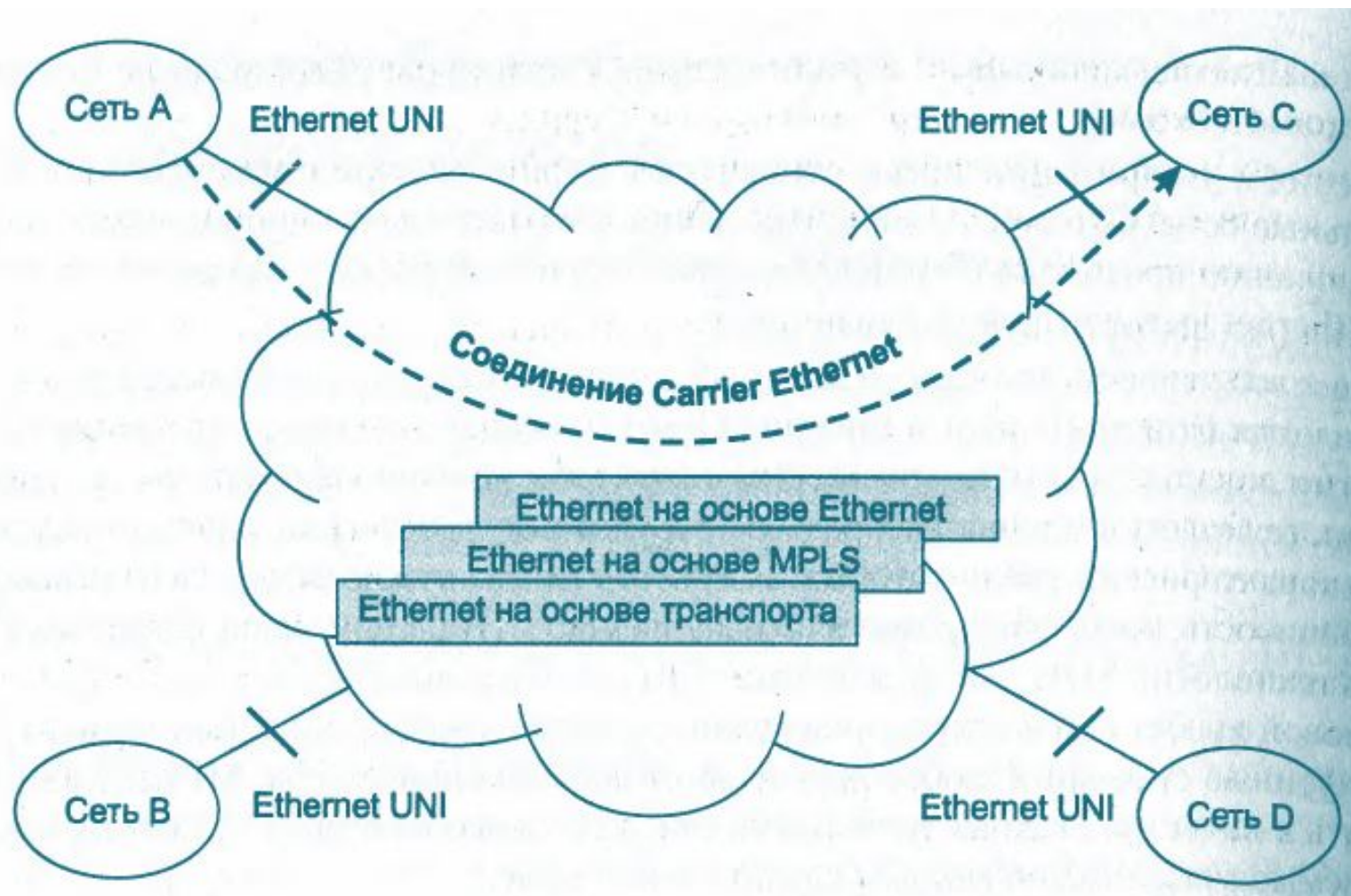
Версии Ethernet операторского класса

2. Необходимо принципиально обеспечить изоляцию адресных пространств сети Ethernet провайдера от адресных пространств сетей Ethernet пользователей. Пространство MAC-адресов Ethernet является плоским, так что если сеть Ethernet провайдера соединить непосредственно (а не через маршрутизатор) с сетями Ethernet пользователей, то всем коммутаторам сети Ethernet провайдера придется иметь дело с MAC-адресами пользовательского оборудования, а у крупного провайдера их может насчитываться сотни тысяч.

Различные варианты реализации услуги

- Разработчики технологии глобальной Ethernet -пытаются решить обе задачи. Основное условие, которое должно быть выполнено, это: для пользователя глобальная услуга Ethernet всегда предоставляется с помощью набора стандартных интерфейсов Ethernet (Ethernet UNI) на каналах доступа к сети провайдера.
- Эти интерфейсы поддерживают одну из спецификаций Ethernet физического уровня, например 100Base-FX или 1000Base-LX, а также стандартные кадры Ethernet. Кроме того, существует некоторое описание услуги, которое определяет ее основные параметры, такие как топологию взаимодействия сетей пользователей (например, двухточечную, как показано на рисунке, звездообразную или полносвязную), пропускную способность логического соединения или же гарантированный уровень качества обслуживания кадров.

Версии Ethernet операторского класса



□ Рис. 6-34.1. Различные варианты реализации услуги Carrier Ethernet

Версии Ethernet операторского класса

- Однако внутренняя организация такой услуги в пределах сети разных провайдеров может отличаться значительно
- Сегодня можно выделить три основных варианта подобной организации в зависимости от используемой внутренней транспортной технологии.
- **Ethernet поверх MPLS** (Ethernet over MPLS, EoMPLS). В этом случае MPLS-туннели используются как основной транспортный механизм провайдера, позволяющий эмулировать услугу Ethernet для клиентов. Технология MPLS зрелая технология с более чем 10-летней историей, обладает необходимыми качествами для операторов связи, а именно:
 - поддержка детерминированных маршрутов;
 - наличие механизма быстрой перемаршрутизации, обеспечивающего быстрое (сравнимое с SDH) переключение с основного маршрута на резервный;
 - развитые средства контроля работоспособности соединений.
- Сегодня данный подход является одним из самых распространенных при реализации услуги Ethernet VPN в сетях операторов связи.

Версии Ethernet операторского класса

- ▣ **Ethernet поверх Ethernet** (Ethernet over Ethernet), или **транспорт Ethernet операторского класса** (Carrier Ethernet Transport, CET). Этот вариант оказания глобальной услуги Ethernet основан на использовании в сети провайдера улучшенной версии Ethernet.
- ▣ Усилия разработчиков технологии CET и услуг на ее основе стандартизует комитет 802 IEEE. Здесь технология Ethernet не только видна потребителям услуг извне, но и работает внутри сети провайдера, т.е. функционирует как транспортная технология провайдера.
- ▣ Для любой пакетной технологии не просто приблизиться к функциональности SDH, а для Ethernet это сделать сложнее, чем, скажем, для MPLS, так как Ethernet изначально была задумана как дейтаграммная технология с минимумом функций. Тем не менее, прогресс в этой области наблюдается.
- ▣ **Ethernet поверх транспорта** (Ethernet over Transport, EOT). Это наиболее традиционный для оператора связи вариант организации, так как под транспортом здесь понимается транспорт, основанный на технике коммутации каналов, которая всегда использовалась для создания первичных сетей операторов, то есть транспорт PDH, SDH или OTN. Для того чтобы эмулировать услуги Ethernet, необходимы некоторые надстройки над базовыми стандартами этих технологий, стандартизацией таких надстроек занимается ITU-T. International Telecommunication Union - Telecommunication sector (сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи)

Версии Ethernet операторского класса

Стандартизация Ethernet как услуги

- Работой по созданию технологически нейтральных спецификаций глобальной услуги Ethernet занимается организация под названием Metro Ethernet Forum (MEF).
- Использование термина Metro в названии этой организации отражает начальную ситуацию развития Ethernet операторского класса, когда такие услуги предоставлялись в основном в масштабах города.
- Организация MEF разработала несколько спецификаций, которые позволяют потребителю и поставщику услуги разработать нужный вариант услуги Ethernet, используя терминологию и параметры, независимые от конкретной внутренней реализации этой услуги провайдером (например MPLS или SDH).
- В MEF вводится три типа услуг виртуальных частных сетей Ethernet, которые отличаются топологией связей между сайтами пользователей.
- Соответственно, имеются три типа **виртуального соединения Ethernet** (Ethernet Virtual Circuit, EVC), объединяющих сетевые интерфейсы пользователей (User Network Interface, UNI). (Рис. 6-34.2):
 - «точка-точка» (двухточечная топология);
 - «каждый с каждым» (полносвязная топология);
 - «дерево» (древовидная топология).

Версии Ethernet операторского класса

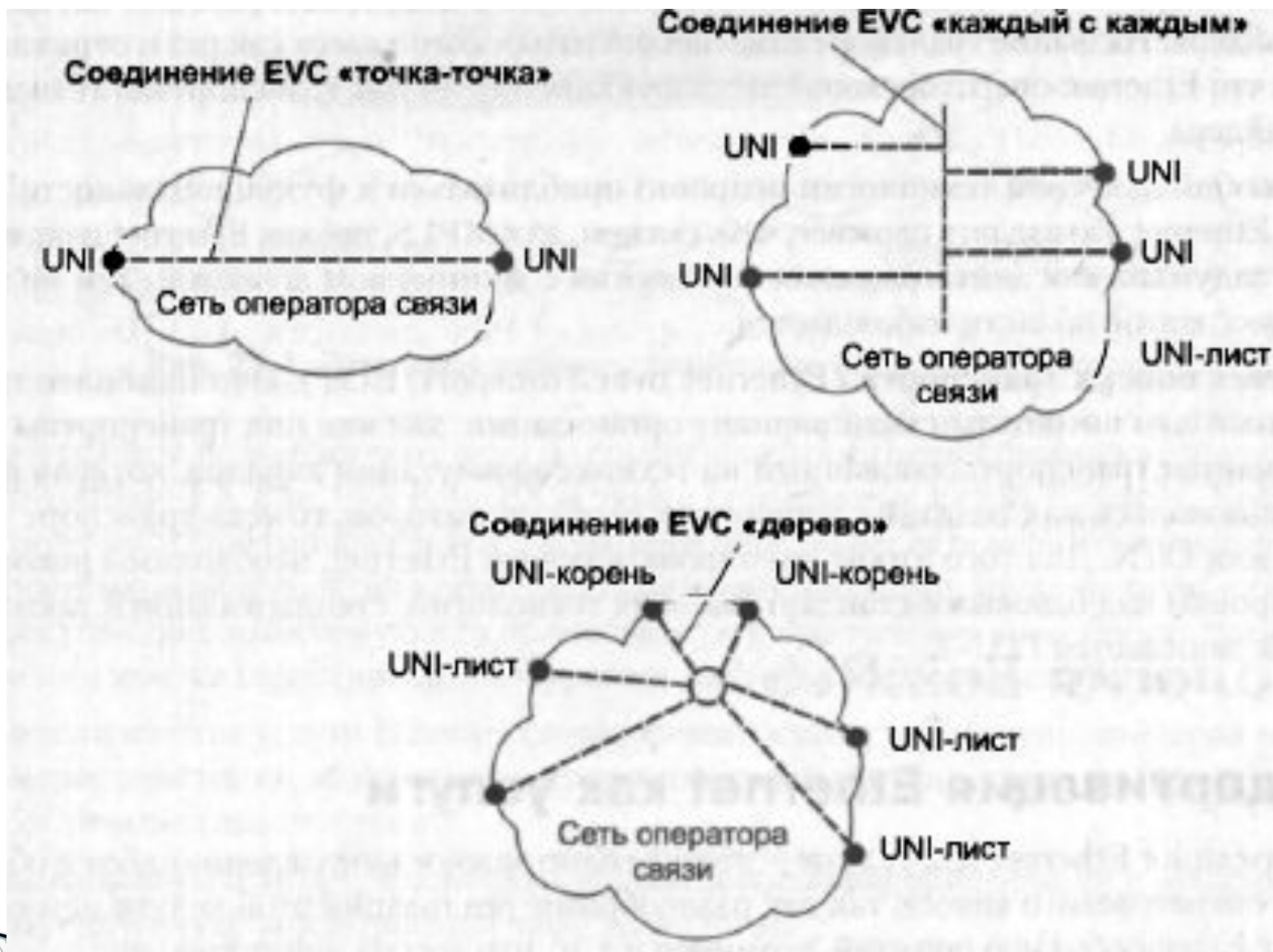


Рис. 6-34.2. Три типа услуг Ethernet

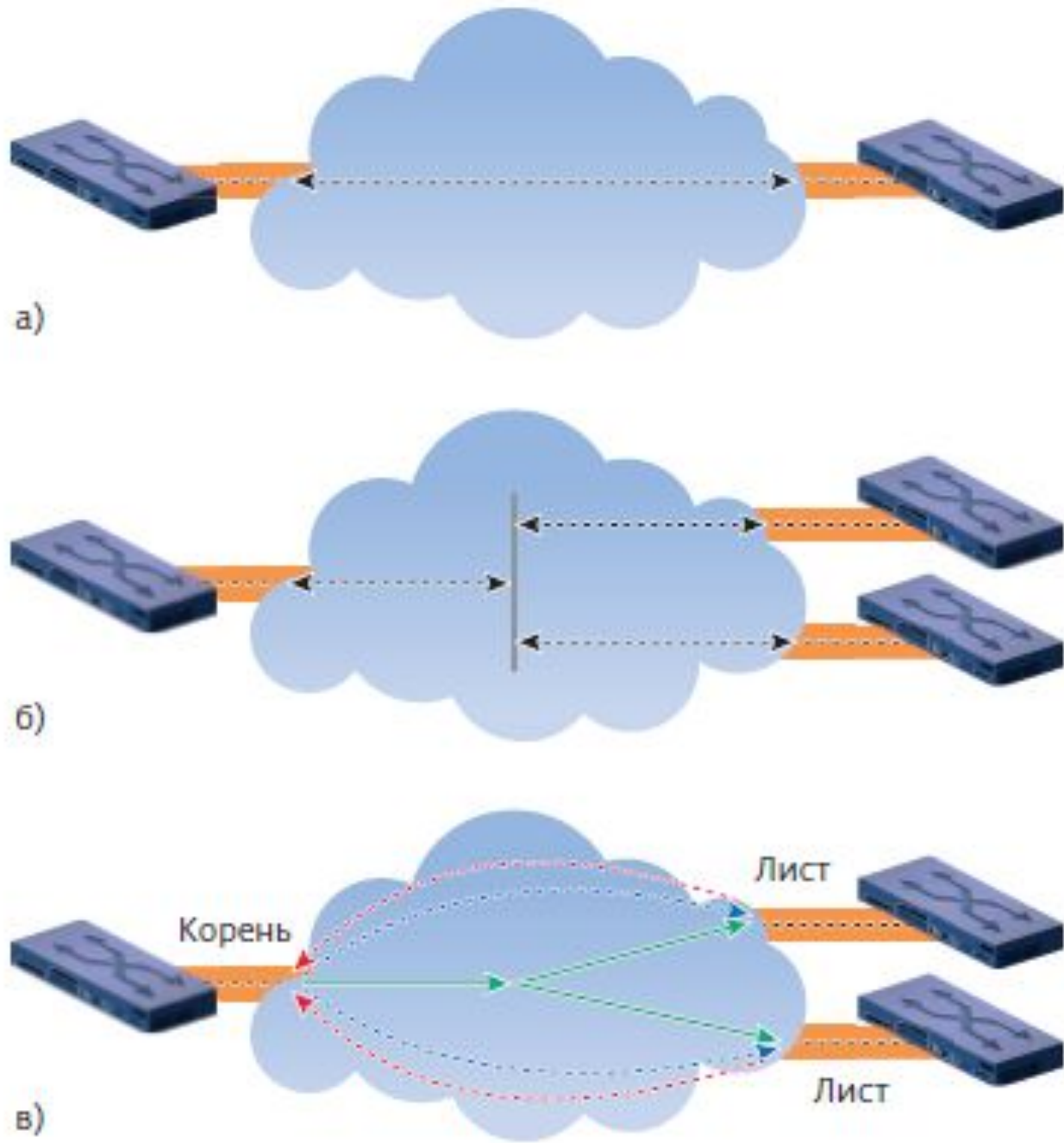


Рис.6-34.3. Возможные топологии EVC:

А) - точка-точка (E-Line);

Б) - многоточка-многоточка (E-LAN);

В) - точка-многоточка (E-Tree)

Версии Ethernet операторского класса

- В зависимости от типа используемого соединения различаются и типы услуг:
- **E-LINE**- услуга связывает только два пользовательских сайта через двухточечное EVC-соединение - соответствует услуге выделенной линии.
- **E-LAN**- услуга аналогична услуге локальной сети, так как она позволяет связать неограниченное число пользовательских сайтов таким образом, что каждый сайт может взаимодействовать с каждым. При этом соблюдается логика работы локальной сети — кадры Ethernet с неизученными и широковещательными MAC- адресами передаются всем сайтам, а кадры с изученными уникальными MAC- адресами — только тому сайту, в котором находится конечный узел с данным адресом.
- **E-TREE**- в локальных сетях ей аналога нет. Пользовательские сайты делятся на корневые и листовые. Листовые сайты могут взаимодействовать только с корневыми, но не между собой. Корневые сайты могут взаимодействовать друг с другом.
- Кроме того, в спецификациях **MEF** вводятся два варианта каждого типа услуги и использует термины «частная услуга» и «виртуальная частная услуга».
- Они классифицируются по двум признакам: топологии виртуальных соединений и тем, как происходит идентификация: физически на основе порта или логически на основе виртуальной сети (Virtual LAN, VLAN). Благодаря VLAN в пользовательском оборудовании достаточно одного физического порта для нескольких виртуальных соединений.

Версии Ethernet операторского класса

- В первом варианте пользовательский сайт определяется как сеть, подключенная к отдельному физическому интерфейсу UNI. Значения идентификаторов VLAN в пользовательских кадрах в расчет не принимаются. В названии этого варианта услуги к названию типа добавляется термин «частный» (private), например, для услуги типа E-LINE этот вариант называют частной линией Ethernet (Ethernet Private Line, EPL).
- В другом варианте услуги к одному и тому же физическому интерфейсу UNI могут быть подключены различные пользовательские сайты. В этом случае они различаются по значению идентификатора VLAN. Другими словами, провайдер внутри своей сети сохраняет деление локальной сети на VLAN, сделанное пользователем. В варианте услуги с учетом VLAN добавляется название «виртуальная частная», например, для услуги типа E-LINE это будет виртуальная частная линия Ethernet (Ethernet Virtual Private Line, EVPL).
- Помимо указанных определений услуг, спецификации MEF стандартизуют некоторые важные параметры услуг, например, услуга может характеризоваться гарантированным уровнем пропускной способности соединения, а также гарантированными параметрами QoS.
- Терминология MEF постепенно набирает приверженцев в мире.

Версии Ethernet операторского класса

23 февраля 2012 года изобретатель Ethernet Боб Меткалф представил новое поколение Ethernet – Carrier Ethernet 2.0 (CE 2.0).

Первое поколение Carrier Ethernet, которое сейчас стали обозначать CE 1.0, обеспечивало оказание стандартизированных услуг в сети одного поставщика услуг. CE 2.0 поддерживает различные приложения в нескольких взаимосвязанных сетях различных операторов региональных и глобальных сетей. CE 2.0 отличают три важнейшие новые особенности:

- **несколько классов обслуживания (Multi-CoS);** (теперь для каждого класса определены требования к основным параметрам производительности.)
- **Взаимосвязанность;** (означает стандартизацию обмена трафиком между операторами, что позволит операторам обеспечивать для пользователей сквозное обслуживание из конца в конец с единым соглашением об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA).)
- **управляемость.** означает возможность осуществлять сквозное управление устранением неисправностей (Fault Management) и мониторинг параметров работы (Performance Monitoring) в нескольких взаимосвязанных сетях. В частности, обеспечивается возможность локализации неисправностей.

Версии Ethernet операторского класса

- В CE 2.0 появились новые понятия и дополнения:
 - к существующим интерфейсам- пользователь– сеть (User-to-Network Interface, UNI) и межсетевой интерфейс (Network-to-Network Interface, NNI) добавлен новый стандарт для внешних, т.е. меж операторских межсетевых интерфейсов (External NNI, ENNI);
 - в дополнение к EVC появилось новое понятие: операторское виртуальное соединение (Operator Virtual Connection, OVC), которое определяется как ассоциация UNI и ENNI.
 - На основе OVC новая спецификация MEF 33 определяет службу E-Access. Она предлагается поставщиком доступа (оператором сети доступа) как часть обеспечения EVC для пользователя услуг из конца в конец . Таким образом, в CE 2.0 определены восемь видов услуг (см. таблицу).

Версии Ethernet операторского класса

| Тип службы (виртуальное соединение и топология) | Идентификация | |
|--|---|--|
| | на основе порта | на основе VLAN |
| E-Line (EVC точка-точка) | Частная линия Ethernet (EPL) | Виртуальная частная линия Ethernet (EVPL) |
| E-LAN (EVC многоточка-многоточка) | Частная LAN Ethernet (EP-LAN) | Виртуальная частная LAN Ethernet (EVP-LAN) |
| E-Tree (EVC точка-многоточка) | частное дерево Ethernet (EP-Tree) | Виртуальное частное дерево Ethernet (EVP-Tree) |
| E-Access (OVC точка-точка) | частная линия доступа Ethernet (Access EPL) | Виртуальная частная линия доступа Ethernet (Access EVPL) |

Версии Ethernet операторского класса

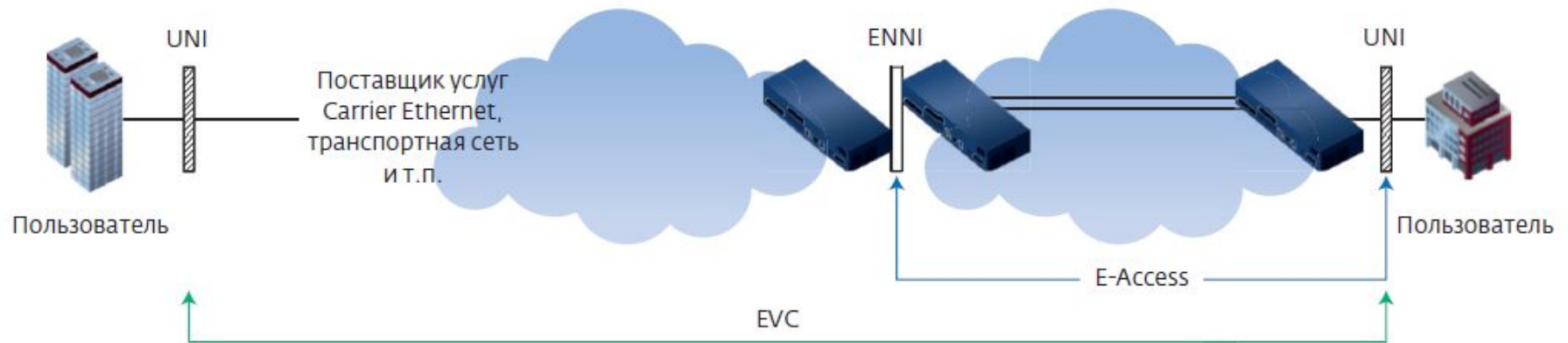


Рис 6-34.4 Служба E-Access

Технология EoMPLS

Псевдоканалы

- Стандарты IETF описывают два типа услуг Ethernet операторского класса, которые строятся с помощью технологии MPLS: VPWS (Virtual Private Wire Service) и VPLS (Virtual Private LAN Service).
- Если использовать терминологию MEF, то услуга VPLS соответствует услуге E-LAN - обеспечивает соединения с полносвязной топологией, а услуга VPWS — услуге E-LINE - эмулирует соединение Ethernet с двухточечной топологией. При этом стандарты IETF описывают оба варианта услуг, как с учетом идентификаторов VLAN пользователя, так и без.
- Обе услуги являются услугами MPLS VPN второго уровня (MPLS L2VPN), так как они позволяют предоставлять услуги VPN, взаимодействуя с пользовательскими сетями на втором уровне. В этом их отличие от услуг MPLS L3VPN.
- Услуги VPLS и VPWS реализуется провайдером с помощью особого типа путей LSP в сети MPLS, называемых псевдоканалами. Псевдоканалы (pseudowire) образуют логические соединения между пограничными маршрутизаторами провайдера
- На рис. 6-34.5 показано три таких псевдоканала, соединяющих между собой пограничные маршрутизаторы PE1-PE4.

Технология EoMPLS

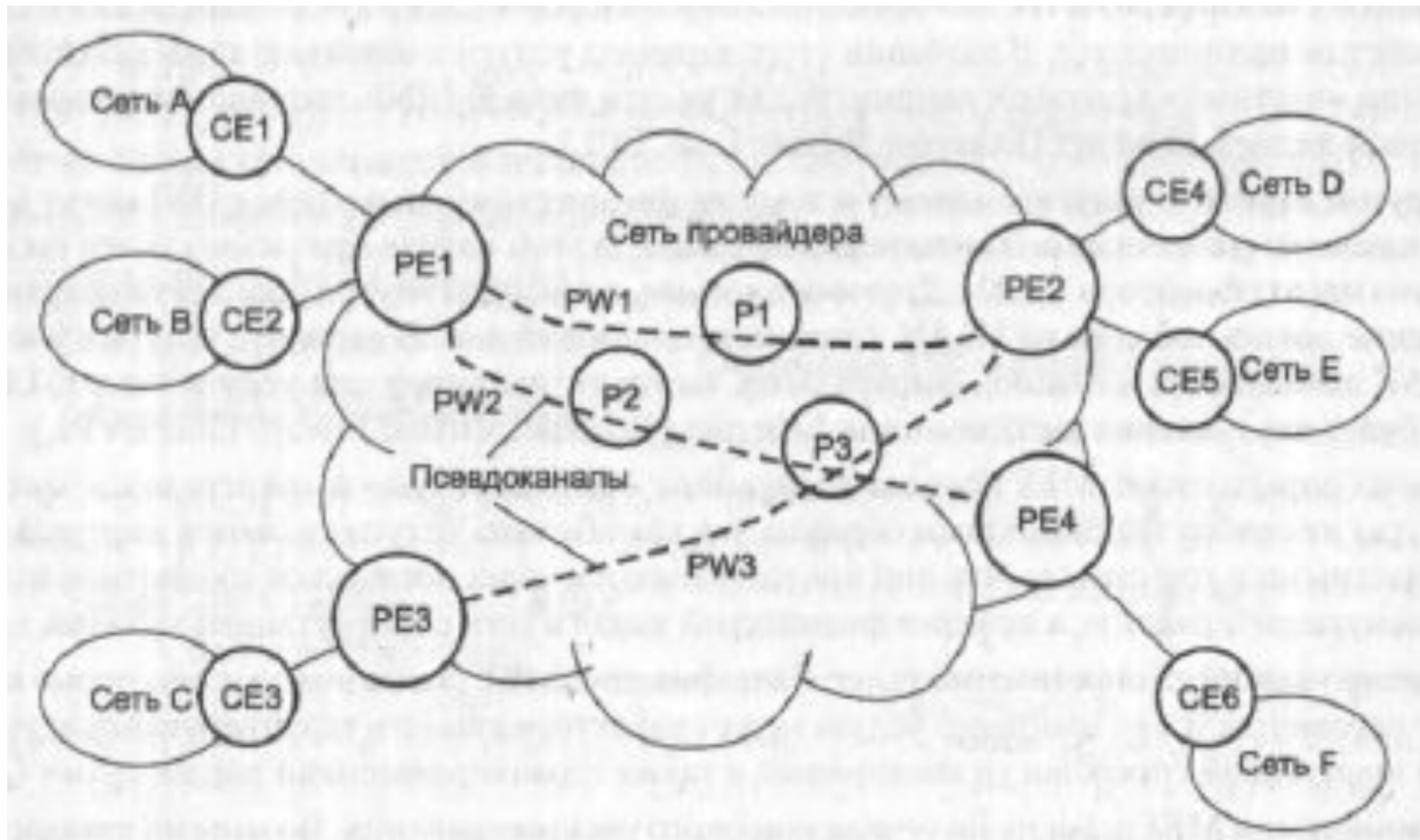


Рис. 6-34.5. Псевдоканалы в сети провайдера

Технология EoMPLS

- Псевдоканалы представляют собой пути LSP второго уровня иерархии (называемого также внутренним уровнем), проложенным внутри LSP первого (внешнего) уровня - обычно TE-туннели MPLS. На [Рис. 6-34.5](#) пути LSP первого уровня не показаны.
- Псевдоканалы — это логические транспортные соединения, физически они могут проходить через промежуточные магистральные маршрутизаторы, однако для них они прозрачны, то есть в нашем примере маршрутизаторы P1, P2 и P3 просто не замечают их существование в сети.
- **Псевдоканал** — это механизм, который **эмулирует** **существенные свойства** какого-либо телекоммуникационного сервиса через сеть с коммуникацией пакетов.
- Из определения, данного в RFC 3985, видно, что назначение псевдоканала шире эмуляции Ethernet — это может быть и эмуляции сервисов выделенных каналов технологий PDH или SDH, и эмуляция виртуальных каналов ATM или Frame Relay; однако в любом случае эмуляция такой услуги выполняется через *пакетную сеть*.

Технология EoMPLS

- Один из вариантов применения псевдоканалов при эмуляции услуг Ethernet – это передача трафика одного пользовательского соединения. В примере на [Рис. 6-34.5](#) псевдоканал PW2 служит для организации соединения между сетями A и F через сеть провайдера. При этом псевдоканал эмулирует кабельное соединение между сетями пользователей. Кадры Ethernet, отправляемые сетью A в сеть F, инкапсулируются пограничным маршрутизатором PE1 в данные псевдоканала и доставляются им пограничному маршрутизатору PE4, который извлекает эти кадры и отправляет их в сеть F в первоначальном виде.
- Технически создать LSP второго уровня достаточно просто — для этого маршрутизаторам, соединенным LSP первого уровня, нужно оговорить значение метки второго уровня, которое будет использоваться, чтобы различать LSP второго уровня внутри LSP первого уровня. Этот процесс иллюстрируется [Рис. 6-34.6](#). На нем изображены два пограничных маршрутизатора PE1 и PE2, соединенные псевдоканалом PE57. Однако двухточечные псевдоканалы, которые эмулируют Ethernet всегда являются двунаправленными, а в MPLS LSP — это однонаправленный путь. Поэтому для создания двунаправленного псевдоканала требуется два однонаправленных пути второго уровня, вложенных в два однонаправленных пути первого уровня, что и показано на рисунке [6-34.6](#).

Технология EoMPLS

- Рассматриваемый в нашем примере псевдоканал в направлении от PE1 к PE2 идентифицируется меткой 57, а туннель, который использует этот канал, — меткой 102. Поэтому при отправке кадра Ethernet, предназначенного для PE2, маршрутизатор PE1 помещает исходный кадр Ethernet в кадр MPLS и адресует этот кадр двумя метками: внешней меткой 102 и внутренней меткой 57. Внешняя метка применяется затем магистральными маршрутизаторами P1, P2 и P3 для того, чтобы доставить кадр пограничному маршрутизатору PE2, при этом в процессе передачи кадра происходит обычная коммутация по меткам (на рисунке показано, что после прохождения P1 внешняя метка получила значение 161). Внутренняя метка 57 требуется только пограничному маршрутизатору PE2, который знает, что эта метка соответствует псевдоканалу PW57, который нужен для связи с некоторой пользовательской сетью.

Технология EoMPLS

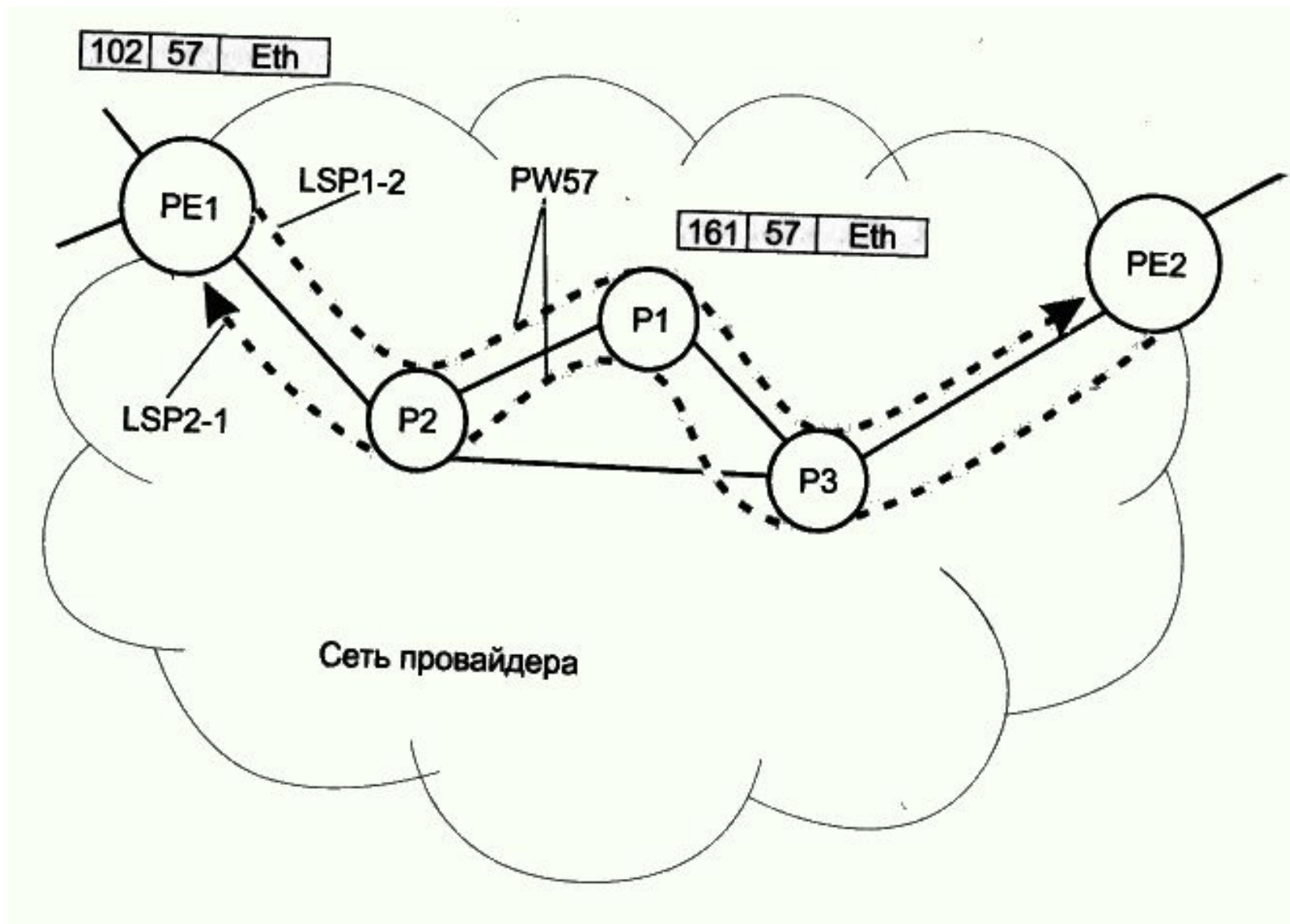


Рис. 6-34.6. Создание псевдоканала внутри туннелей MPLS

Технология EoMPLS

- Нельзя ли просто обойтись LSP первого уровня для передачи трафика Ethernet через сеть провайдера? В принципе, без псевдоканалов обойтись можно, но тогда для каждого нового пользовательского соединения пришлось бы создавать новый туннель (то есть LSP первого уровня), а это не очень масштабируемое решение, так как конфигурирование такого пути обязательно включает конфигурирование всех магистральных маршрутизаторов сети. Поэтому одно из существенных преимуществ псевдоканалов состоит в том, что в сети провайдера нужно сконфигурировать только сравнительно небольшое число туннелей между пограничными маршрутизаторами, а затем использовать каждый из них для прокладки необходимого числа псевдоканалов. Создание нового псевдоканала также требует конфигурирования, но только пары пограничных маршрутизаторов, которые являются конечными точками псевдоканала, а это подразумевает гораздо меньший объем работы.
- Другим преимуществом псевдоканалов является их универсальность, то есть возможность их применения не только в сетях MPLS, но и в сетях других типов, например в «чистых» IP-сетях с туннелированием по протоколу L2TP, и не только при эмуляции Ethernet, но и при эмуляции других сервисов, например каналов PDH. Естественно, что при переходе к другой реализации псевдоканалов конкретные команды конфигурирования меняются, но концепция остается, и это помогает администраторам сети освоить новую технологию.

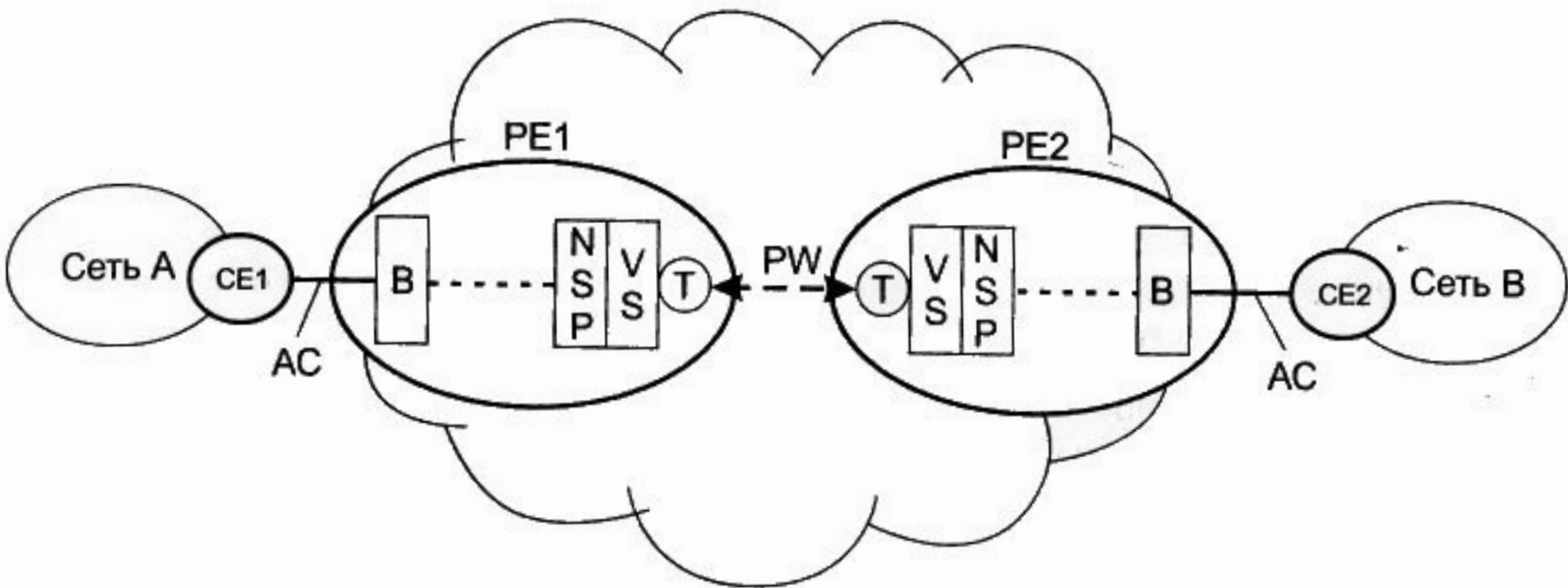
Технология EoMPLS

- Чаще всего пользовательские сети соединяют с пограничным маршрутизатором провайдера через выделенный интерфейс, который для глобальных услуг Ethernet должен быть стандартным интерфейсом Ethernet, например 100Base-FX.
- В этом случае для услуги VPWS соединение этих интерфейсов прозрачно, т.е. сеть провайдера передает все кадры, которые поступают на такой интерфейс от сети пользователя. Иногда этот режим VPWS называют коммутацией портов пользователя.
- Для услуги VPWS, когда сеть провайдера соединяет виртуальные пользовательские сети, - по двухточечному соединению передаются не все кадры, поступающие через интерфейс пользователя, а только кадры, принадлежащие определенной сети VLAN. Этот режим работы VPWS можно назвать коммутацией виртуальных локальных сетей, или VLAN-коммутацией.

Технология EoMPLS

Услуги VPWS

- Услуги виртуальных частных каналов (Virtual Private Wire Service, VPWS) исполняют роль «глобального кабеля», соединяя прозрачным образом две локальных пользовательских сети Ethernet через сеть оператора связи.
- Рассмотрим организацию такой услуги с помощью псевдоканалов MPLS (Рис. 6-34.7).



□ Рис. 6-34.7. Организация виртуального частного канала Ethernet

Технология EoMPLS

- Для того чтобы обобщить понятие интерфейса с пользователем, форум IETF ввел термин **канала присоединения** (Attachment Circuit, AC). AC поставляет входной поток пользовательских данных для сети провайдера, то есть ту нагрузку, которую нужно коммутировать. Употребляя этот термин, можно сказать, что услуга VPWS всегда соединяет два пользовательских канала присоединения, два AC; такое определение справедливо не только для услуг Ethernet, но и для услуг, например, Frame Relay или ATM.
- На рисунке показаны также внутренние функциональные элементы пограничных маршрутизаторов PE1 и PE2, которые эмулируют услуги VPWS вместе с псевдоканалом PW57.
- Модуль **B** (от Bridge — мост) работает по стандартному алгоритму IEEE 802.1D. Его роль в схеме эмуляции — выделение кадров Ethernet из общих потоков, поступающих на порты маршрутизатора, для передачи в псевдоканал. Тем самым модуль моста формирует логический интерфейс виртуального коммутатора. Например, если это режим коммутации портов, то модуль моста конфигурируется так, чтобы все кадры, пришедшие на соответствующий порт от пользователя, направлялись для дальнейшей обработки в псевдоканал. Если же это VLAN-коммутация, то модуль моста выбирает для передачи псевдоканалу только кадры, помеченные определенным значением тега VLAN.

Технология EoMPLS

- Выбранные модулем моста кадры поступают в псевдоканал не непосредственно, а через два промежуточных модуля — NSP и VS. Модуль NSP (Native Service Processing) обеспечивает предварительную обработку кадров Ethernet. Чаще всего такая обработка связана с изменением или добавлением тега VLAN, что может потребоваться, например, если объединяемые пользовательские сети применяют различные значения VLAN для одной и той же виртуальной сети. Модуль VS (Virtual Switch — виртуальный коммутатор) коммутирует один из каналов присоединения с одним из псевдоканалов. Для услуги VPWS этот модуль работает «вхолостую», выполняя постоянную коммутацию единственного канала присоединения с единственным псевдоканалом. Однако для услуги VPLS, которая рассматривается далее, виртуальный коммутатор играет важную роль, поэтому в обобщенной схеме эмуляции услуг Ethernet, представленной на Рис. 6-34.7, он присутствует.
- После обработки пришедшего кадра модулями NSP и VS он передается псевдоканалу.
- Конечные точки T псевдоканала PW57 выполняют две операции:
 - инкапсуляцию и декапсуляцию пользовательских кадров в кадры MPLS;
 - мультиплексирование и демultipлексирование псевдоканалов в туннеле MPLS.

Технология EoMPLS

- Процедуру инкапсуляции и формат результирующего кадра определяет спецификация RFC 4448. У исходного кадра отбрасываются поля преамбулы и контрольной суммы, после чего он помещается в кадр MPLS с двумя полями меток: внешней (метка туннеля) и внутренней (метка псевдоканала), как это показано на рис. 6-34.8. На рисунке не показаны поля заголовка кадра MPLS, относящиеся к конкретной канальной технологии, которая используется на внутренних интерфейсах пограничных маршрутизаторов — как вы помните, кадры MPLS могут иметь обрамление Ethernet, PPP, ATM или Frame Relay (в случае Ethernet это обрамление не имеет отношения к пользовательскому кадру Ethernet, инкапсулированному в кадр MPLS).

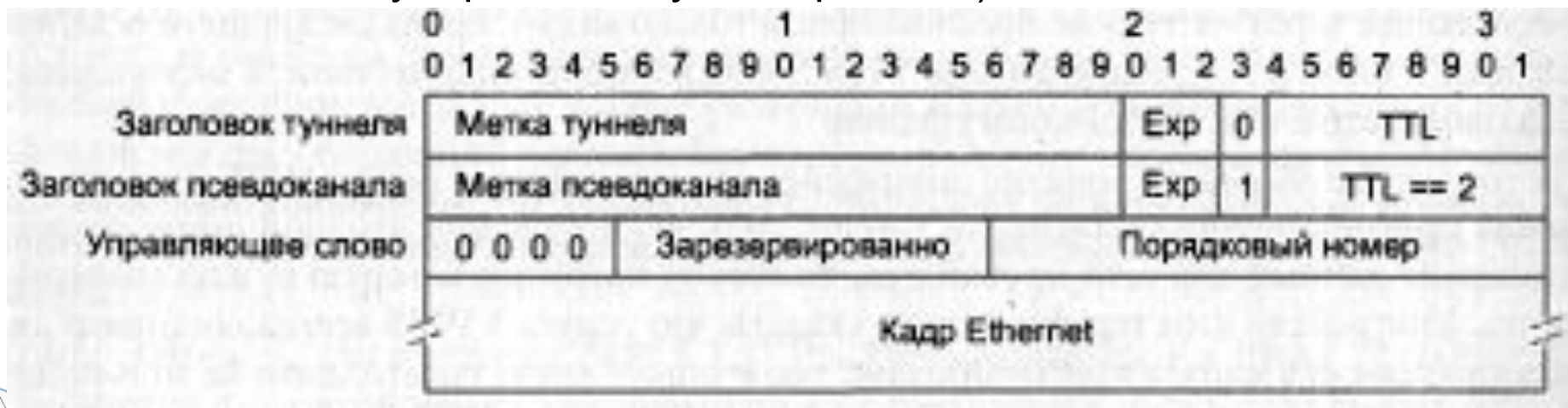


Рис. 6-34.8. Формат инкапсуляции Ethernet поверх MPLS (RFC 4448)

Технология EoMPLS

- В то время как первое два слова в заголовке, представленном на рисунке, являются стандартными заголовками MPLS, третье слово, называемое управляющим (control word), впервые появилось в стандарте RFC 4448. Это слово, которое является опциональным, предназначено для упорядочивания кадров, передаваемых по псевдоканалу — для этого каждому кадру маршрутизатором -отправителем присваивается порядковый номер, который помещается в управляющее слово. Потребность в контрольном слове возникает тогда, когда внутри сети провайдера происходит распараллеливание трафика туннеля, и кадры могут выходить из туннеля не в том порядке, в котором были посланы.
- Конфигурирование псевдоканалов, то есть согласование внутренних меток, используемых для идентификации и мультиплексирования псевдоканалов внутри туннеля, может быть автоматизировано. Для этого сегодня применяют протокол LDP или BGP. Обратите внимание, что речь идет о прокладке псевдоканала, а не самого туннеля, эти два процесса независимы, так что туннель может быть проложен, например, с помощью протокола RSVP TE, а псевдоканалы в нем — с помощью протокола LDP.

Технология EoMPLS

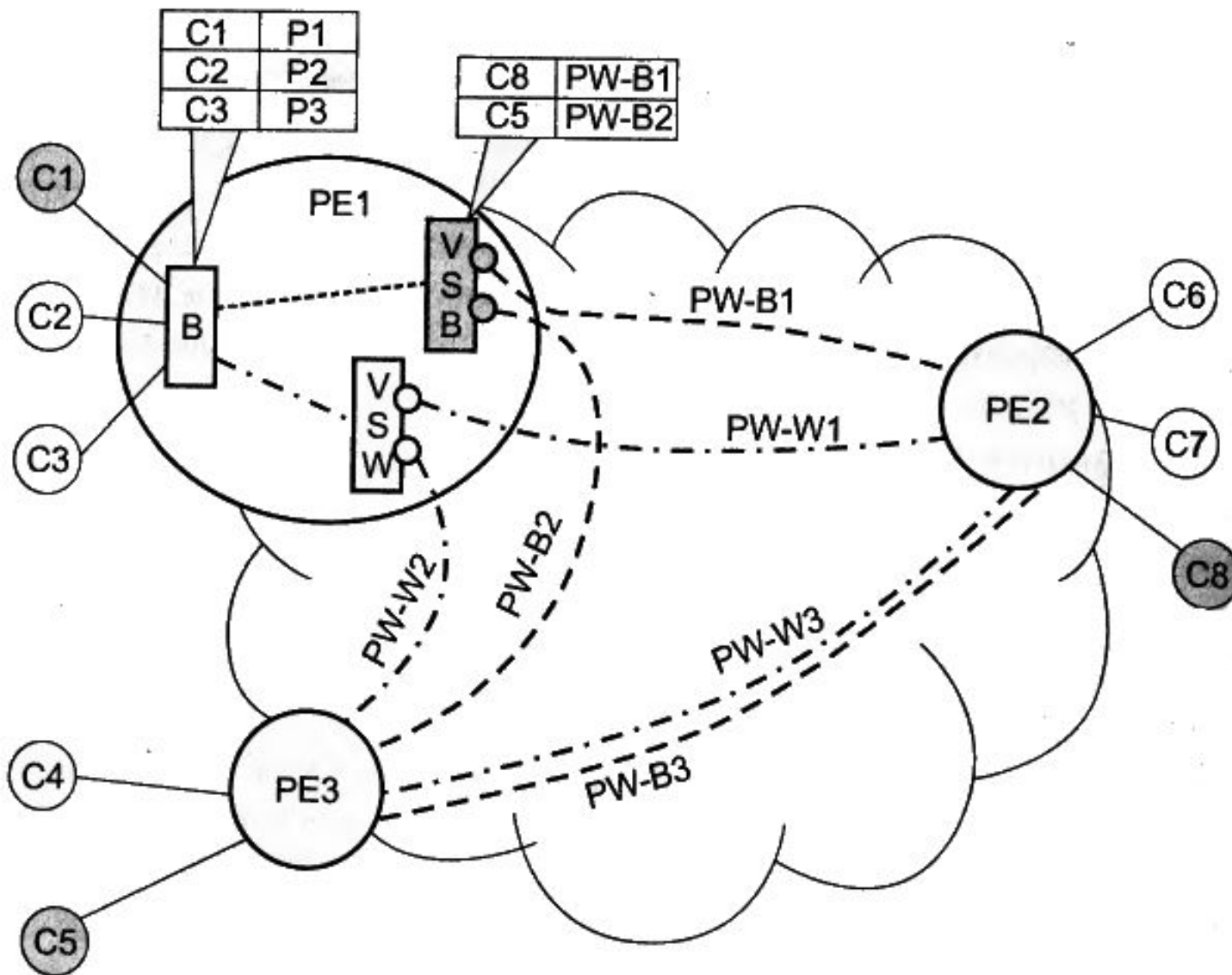
- Протокол LDP служит также для уведомления одним маршрутизатором PE другого об изменении состояния «работоспособен - неработоспособен» псевдоканала или канала присоединения. Это очень полезное свойство, так как без него удаленный маршрутизатор PE не узнает об отказе непосредственно не присоединенных к нему отрезков эмулируемого транспортного соединения и будет пытаться его использовать, посылая данные. Протокол LDP позволяет в случае такого отказа отозвать метку, ранее назначенную псевдоканалу.
- Параметрами качества обслуживания (QoS) для виртуальных соединений VPWS —могут быть обеспечены с помощью стандартных механизмов QoS, таких как, например, приоритетное обслуживание, профилирование трафика, контроль доступа и резервирование ресурсов, опирающейся в данном случае на соответствующие свойства туннелей MPLS. Аналогично обеспечивается гарантированная пропускная способность с техники инжиниринга трафика, опирающейся в данном случае на соответствующие свойства туннелей MPLS.
- MPLS делает контроль доступа намного более определенной процедурой, чем в случае IP-сетей с их распределенным (и вносящим неопределенность) механизмом выбора маршрутов.

Технология EoMPLS

Услуги VPLS

- Услуги виртуальной частной локальной сети (Virtual Private LAN Service, VPLS) описаны в спецификациях RFC 4761 (<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4761.txt>) и RFC 4762 (<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4762.txt>).
- Услуги VPLS соответствуют определению услуг E-LAN MEF, причем как варианту с учетом идентификаторов VLAN пользователей, так и варианту без их учета.
- Так же как и в случае VPWS, сервис VPLS организован на базе псевдоканалов. Отличие заключается в том, что для каждого экземпляра VPLS используется собственный набор псевдоканалов. При этом каждый такой набор имеет полносвязную топологию, то есть все пограничные маршрутизаторы PE, участвующие в работе какого-то экземпляра VPLS, связаны друг с другом.
- На рис. [6-34.9](#) показан пример сети провайдера, эмулирующей два сервиса VPLS. Пользовательские сети C1, C5 и C8 относятся к «серому» сервису VPLS, а сети C2, C3, C4, C6 и C7 — к «белому». Соответственно, набор псевдоканалов PW-B1, PW-B2 и PW-B3 объединяет пограничные маршрутизаторы, к которым подключены сети «серого» сервиса VPLS, а набор псевдоканалов PW-W1, PW-W2 и PW-W3 — маршрутизаторы, к которым подключены сети «белого» сервиса VPLS (в нашем примере это одни и те же пограничные маршрутизаторы PE1, PE2 и PE3, но если бы, например, сети C4 не существовало, то псевдоканалы PW-W2 и PW-W3 были бы не нужны). (B1, B2, B3 - Black) и (W1, W2, W3-white).

Технология EoMPLS



□ Рис. 6-34.9. Организация услуги VPLS

Технология EoMPLS

- Внутренняя организация пограничного маршрутизатора при оказании услуги VPLS показана на примере маршрутизатора PE1. Мы видим, что для поддержки каждого экземпляра сервиса VPLS пограничному маршрутизатору требуется отдельный виртуальный коммутатор, в данном случае это модули VPB и VPW (модули NSP не показаны, чтобы не загромождать рисунок, но они в PE1 входят, по одному на каждый экземпляр VPLS).
- Как и в случае VPWS, модуль *B* выполняет стандартные функции моста и при этом формирует логический интерфейс с каждым из виртуальных коммутаторов. Этот интерфейс может также формироваться на основе коммутации либо пользовательских портов, когда весь трафик от определенного порта (или нескольких портов) передается на логический интерфейс, либо сетей VLAN, когда выбираются кадры одной или нескольких пользовательских сетей VLAN от одного или нескольких портов.
- Однако если в случае VPWS виртуальный коммутатор выполнял простую работу по передаче кадров от логического интерфейса, то для VPLS этот модуль функционирует по алгоритму стандартного коммутатора (моста). Для этого виртуальный коммутатор изучает MAC-адреса и строит свою таблицу продвижения, как и обычный коммутатор.

Технология EoMPLS

- На рисунке показан упрощенный вид таблицы продвижения PE1, состоящей из двух записей: одна запись связывает адрес M8 сети C8 с псевдоканалом PW-B1, другая — адрес M5 сети C5 с псевдоканалом PW-B2. Пользуясь такой таблицей, виртуальный коммутатор не затапливает сеть, получая кадры с адресами M5 или M8, а направляет их в псевдоканал, ведущий к пограничному коммутатору, к которому подключена сеть с узлом назначения. Кадры с широковещательным адресом или адресом, отсутствующим в таблице продвижения, поступают на все его псевдоканалы, в данном случае — на PW-B1 и PW-W1.
- Единственной особенностью виртуального коммутатора является то, что он не изучает адреса отправления кадров, приходящих с логического интерфейса. Это не требуется, потому что для интерфейсов, представленных псевдоканалами, виртуальный коммутатор работает по правилу расщепления горизонта (split horizon) — он никогда не передает на псевдоканалы кадры, полученные от какого бы то ни было псевдоканала. Тем самым предотвращается образование петель между виртуальными коммутаторами, а доставку кадров по назначению гарантирует полносвязная топология. То есть любой кадр, полученный виртуальным коммутатором по псевдоканалу, всегда передается на логический интерфейс, соответствующий тому сервису VPLS, к которому относится псевдоканал.

Технология EoMPLS

- Модуль моста *B* изучает только адреса, приходящие с пользовательских интерфейсов. Они служат ему для выбора нужного интерфейса в том случае, когда несколько пользовательских сетей относятся к одному сервису VPLS.
- Конфигурирование PE может оказаться трудоемким занятием, так как в случае *N* пограничных коммутаторов нужно создать $N(N - 1)/2$ псевдоканалов. Кроме того, добавление любого нового устройства PE требует переконфигурирования всех остальных коммутаторов. Для автоматизации этих процедур можно использовать вариант организации VPLS, описанный в RFC 4761, так как он предусматривает применение для этой цели протокола BGP. Вариант VPLS, описанный в RFC 4762, подразумевает распределение меток второго уровня иерархии с помощью протокола LDP, автоматизацию процедур конфигурирования он не поддерживает.

Ethernet поверх Ethernet

Области улучшений Ethernet

- Рассмотрим более подробно те новые свойства, которые необходимо добавить к классическому варианту Ethernet, чтобы превратить его в транспортную технологию операторского класса (Carrier Ethernet Transport, CET), способную работать в сети провайдера в качестве основного транспортного механизма.

Разделение адресных пространств пользователей и провайдера

- Адресное пространство сети современной коммутируемой сети Ethernet состоит из двух частей: значений MAC- адресов конечных узлов и значений меток локальных виртуальных сетей (VLAN), на которые логически разделена сеть. Коммутаторы Ethernet при принятии решения при продвижении кадра учитывают оба адресных параметра.
- Если сеть провайдера будет составлять с сетями пользователей единое целое на уровне Ethernet, то такая сеть окажется практически неработоспособной, так как все коммутаторы провайдера должны будут в своих таблицах продвижения содержать MAC- адреса всех конечных узлов всех пользователей, а также поддерживать принятое каждым пользователем разбиение сети на локальные виртуальные сети.

Ethernet поверх Ethernet

- Помимо очевидной проблемы с количеством MAC-адресов (для крупного провайдера это значение может достигать до нескольких миллионов), есть еще проблема с их уникальностью — хотя система назначения адресов и призвана предотвратить дублирование «аппаратных» MAC-адресов, существуют еще и программируемые адреса, да и ошибки в прошивании аппаратных адресов тоже случаются.
- Использование пользовательских меток VLAN в сети провайдера также приводит к проблемам. Во-первых, пользователям нужно договариваться о согласованном применении значений VLAN, чтобы они были уникальными для каждого пользователя, так как только тогда сеть провайдера сможет доставлять кадры нужным пользовательским сетям. Представить, как реализовать такую процедуру практически, очень непросто, ведь каждый новый пользователь приходит со своими значениями VLAN, и если заставлять его их переназначать, то можно потерять пользователя. Во-вторых, стандарт VLAN изначально не был рассчитан на глобальное применение и поэтому в нем предусмотрено только 4092 значения метки, что крайне мало для крупного провайдера.

Ethernet поверх Ethernet

- Если посмотреть, как решаются эти проблемы в сетях провайдеров, построенных на других принципах, то мы увидим, что при использовании провайдером технологии IP MAC-адреса пользователей вообще не проникают в маршрутизаторы провайдера, а IP-адреса пользователей представлены в таблицах маршрутизаторов в агрегированном виде — прием, для плоских MAC-адресов недоступный. В сетях, реализующих рассмотренную ранее технологию EoMPLS, MAC-адреса и метки VLAN пользователей применяются только в пограничных маршрутизаторах провайдера, а в магистральных маршрутизаторах они не работают — там их заменяют два уровня меток MPLS.

Маршрутизация, инжиниринг трафика и отказоустойчивость

- Операторы связи привыкли к ситуации полного контроля над путями следования трафика в своих сетях, что обеспечивает, например, технология SDH. В IP-сетях степень контроля оператора над маршрутами трафика очень низкая, и одной из причин популярности технологии MPLS служит то, что она привнесла в IP-сети детерминированность маршрутов.

Ethernet поверх Ethernet

- Другой желательной для операторов характеристикой сети является отказоустойчивость маршрутов, то есть возможность быстрого перехода на новый маршрут при отказах узлов или линий связи сети. Технология SDH всегда была в этом плане эталоном, так как обеспечивает переход с основного на заранее проложенный резервный путь за десятки миллисекунд. MPLS также обладает подобным свойством.
- В сетях Ethernet маршрутизация трафика и отказоустойчивость обеспечиваются протоколом покрывающего дерева (STP). Этот протокол дает администратору сети очень ограниченный контроль над выбором маршрута (это справедливо и для новых вариантов STP, таких как RSTP и MSTP). Кроме того, покрывающее дерево является общим для всех потоков независимо от их адреса назначения. Ввиду этих особенностей протокол STP/RTP является очень плохим решением в отношении инжиниринга трафика. Отказоустойчивость маршрутов также обеспечивается STP, и хотя новая версия RTP значительно сократила время переключения на новый маршрут (с нескольких десятков секунд до одной-двух), до миллисекундного диапазона SDH ей очень далеко. Все это требует нового подхода к маршрутизации потоков в сетях СЕТ, и IEEE работает над этой проблемой.

Ethernet поверх Ethernet

Функции эксплуатации, администрирования и обслуживания

- Функции эксплуатации, администрирования и обслуживания (Operation, Administration, Maintenance, OAM) всегда были слабым звеном Ethernet, и это одна из главных причин, по которой операторы связи не хотят применять эту технологию в своих сетях. Новые стандарты, предлагаемые IEEE и ITU-T, призваны исправить эту ситуацию, вводя средства, с помощью которых можно выполнять мониторинг достижимости узлов, локализовывать неисправные сегменты сети и измерять уровень задержек и потерь кадров между узлами сети.
- Первая группа функций направлена на решение проблемы использования Ethernet для оказания услуги виртуальных частных сетей, а две остальные — на придание Ethernet функциональности, необходимой для применения Ethernet в качестве внутренней транспортной технологии оператора связи.

Ethernet поверх Ethernet

Функции эксплуатации, администрирования и обслуживания в Ethernet

- К настоящему времени разработано несколько стандартов Ethernet, относящихся к функциям эксплуатации, администрирования и обслуживания:
- IEEE 802.1ag. Connectivity Fault Management (CFM). Стандарт описывает протокол мониторинга состояния соединений, в какой-то степени это аналог протокола BFD.
- ITU-T Y.1731. Стандарт комитета ITU-T воспроизводит функции стандарта IEEE 802.1ag и расширяет их за счет группы функций мониторинга параметров QoS.
- IEEE 802.3ah. Стандарт тестирования физического соединения Ethernet.
- MEF E-LMI. Интерфейс локального управления Ethernet.

Интерфейс локального управления Ethernet

- Стандарт E-LMI позволяет пограничному пользовательскому устройству, то есть устройству типа CE, запрашивать информацию о состоянии и параметрах услуги, предоставляемой сетью провайдера по данному интерфейсу. Например, пограничный коммутатор Ethernet, расположенный в сети пользователя, может запросить у пограничного коммутатора провайдера (то есть устройства PE) информацию о состоянии услуги E-LINE или E-LAN, предоставляемой по данному интерфейсу. Кроме того, согласно стандарту E-LMI, по запросу можно получить такую информацию об услуге, как отображение идентификатора VLAN пользователя на соединение EVC, характеризующее номер виртуальной частной сети, или же величина пропускной способности, гарантированной для данного соединения EVC.

Ethernet поверх Ethernet

Мосты провайдера

- Стандарт IEEE 802.1ad «Мосты провайдера» (Provider Bridge, PV) был первым стандартом, который решал проблему изоляции адресного пространства сети провайдера от адресного пространства его пользователей. Этот стандарт был принят IEEE в 2005 году, и сегодня он реализован в коммутаторах Ethernet многих производителей.
- Нужно сказать, что проблема изоляции адресных пространств решается в этом стандарте только частично, так как MAC- адреса пользователей по-прежнему присутствуют в коммутаторах сети провайдера, разделяются только пространства идентификаторов VLAN.
- Стандарт PV вводит двухуровневую иерархию идентификаторов VLAN (Рис. 6-34.10). На внешнем (верхнем) уровне располагается идентификатор VLAN провайдера, называемый S-VID (от Service VLAN ID — идентификатор сервиса VLAN), а на нижнем (внутреннем) уровне — идентификатор VLAN пользователя, называемый C-VID (от Customer VLAN ID — идентификатор VLAN потребителя).

Ethernet поверх Ethernet

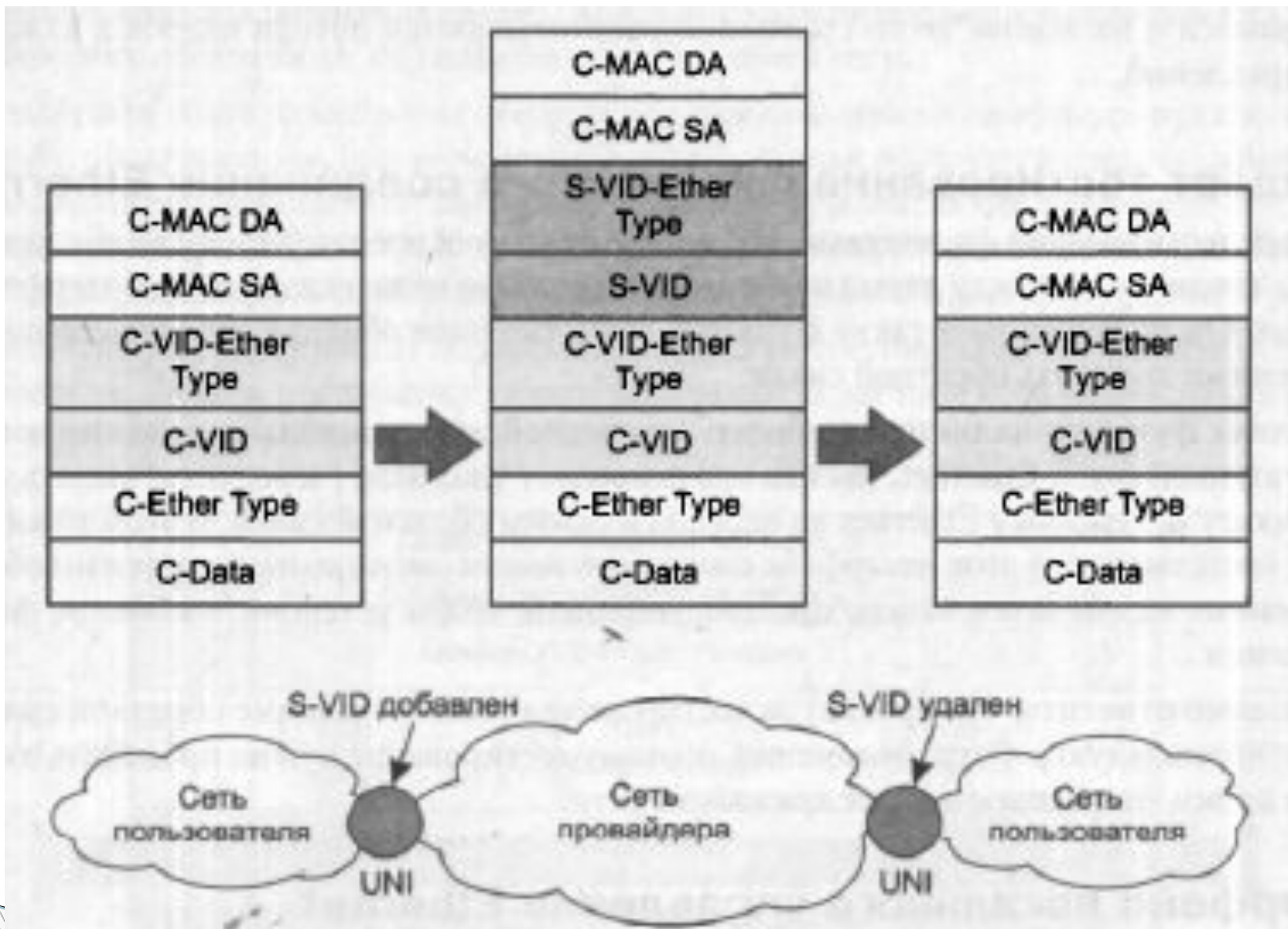


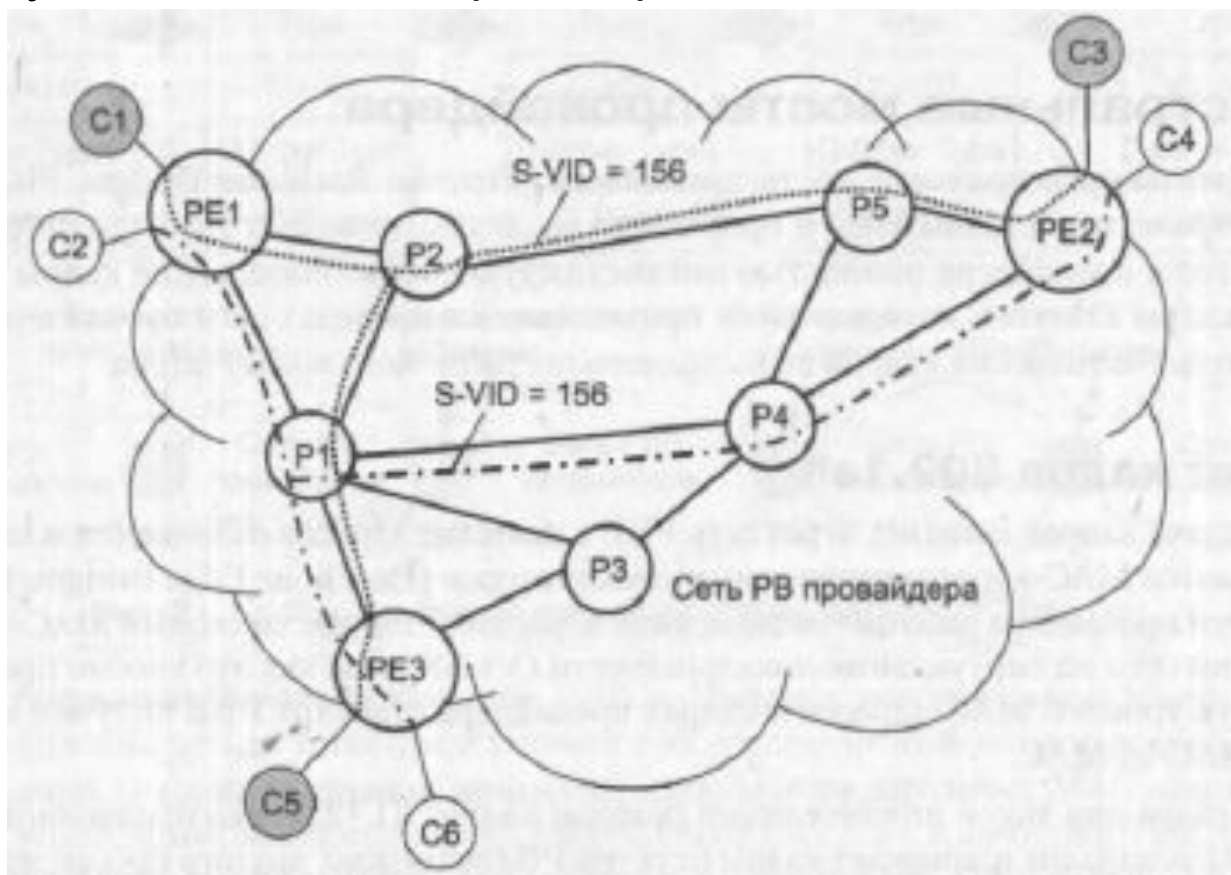
Рис. 6-34.10. Инкапсуляция идентификаторов VLAN

Ethernet поверх Ethernet

- Идентификатор S-VID помещается в пользовательский кадр пограничным коммутатором провайдера, он просто проталкивает C-VID в стек и добавляет новый идентификатор S-VID, который потребуются коммутаторам сети провайдера для разделения трафика на виртуальные локальные сети внутри сети провайдера. Этот способ инкапсуляции часто неформально называют инкапсуляцией Q-in-Q по названию стандарта 802.1Q, описывающего технику VLAN.
- После того как пограничный коммутатор сети провайдера выполняет инкапсуляцию, кадр обрабатывается магистральными коммутаторами провайдера как обычный кадр, поэтому эти коммутаторы не обязаны поддерживать стандарт 802.1ad.
- Когда кадр прибывает на выходной пограничный коммутатор провайдера, над ним выполняется обратная операция — идентификатор S-VID удаляется. После этого кадр отправляется в сеть пользователя в исходном виде, имея в своем заголовке только идентификатор C-VID.
- Внутренние сети VLAN провайдера, соответствующие значениям идентификаторов S-VID, обычно служат для конструирования услуг типа E-LAN. При этом провайдеру нет необходимости согласовывать логическую структуру своей сети с пользователями.

Ethernet поверх Ethernet

- На Рис. 6-34.11 показана сеть провайдера, которая предоставляет потребителям две услуги типа E-LAN. Сайты C1, C3 и C5 относятся к сервису E-LAN с идентификатором S-VID 156, а сайты C2, C4 и C6 — к сервису E-LAN с идентификатором S-VID 505.



- Рис. 6-34.11. Сеть стандарта РВ, предоставляющая две услуги типа E-LAN

Ethernet поверх Ethernet

- Конфигурирование услуг E-LAN 156 и 505 выполнено без учета значений пользовательских идентификаторов VLAN на основании подключения сайта пользователя к некоторому физическому интерфейсу коммутатора провайдера. Так, например, весь пользовательский трафик, поступающий от сайта C1, классифицируется пограничным коммутатором PE1 как принадлежащий к виртуальной частной сети с S-VID 156.
- В то же время стандарт PV позволяет провайдеру предоставлять услуги и с учетом значений пользовательских идентификаторов VLAN. Например, если внутри сайта C1 выполнена логическая структуризация и существуют две пользовательские сети VLAN, трафик которых нельзя смешивать, провайдер может организовать для этого две сети S-VLAN и отображать на них поступающие кадры в зависимости от значений C-VID.

Ethernet поверх Ethernet

- При своей очевидной полезности стандарт РВ имеет несколько недостатков.
 - Коммутаторы сети провайдера, как пограничные, так и магистральные, должны изучать MAC -адреса узлов сетей пользователей. Это не является масштабируемым решением.
 - Максимальное количество услуг, предоставляемых провайдером, ограничено числом 4096 (так как поле S-VID имеет стандартный размер в 12 бит).
 - Инжиниринг трафика ограничен возможностями протокола покрывающего дерева RSTP/MSTP. (большое время перехода на резервные пути.)
 - Для разграничения деревьев STP, создаваемых в сетях провайдера и пользователей, в стандарте 802.1ad пришлось ввести новый групповой адрес для коммутаторов провайдера. Это обстоятельство не позволяет задействовать в качестве магистральных коммутаторов провайдера те коммутаторы, которые не поддерживают стандарт 802.1ad.
- Некоторые из этих недостатков были устранены в стандарте IEEE 802.1ah, который был принят летом 2008 года.

Ethernet поверх Ethernet

Магистральные мосты провайдера

- В стандарте 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 802.1 ah

- При передаче кадров Ethernet через сеть PBB в качестве адресов назначения и источника используются MAC -адреса пограничных коммутаторов (Backbone Edge Bridges, BEB). По сути, в сети провайдера работает независимая иерархия Ethernet со своими MAC- адресами и делением сети на виртуальные локальные сети (VLAN) так, как это удобно провайдеру.
- Из-за двух уровней MAC- адресов в кадрах провайдера стандарт PBB получил также название MAC-in-MAC.

Ethernet поверх Ethernet

- Формат кадра при такой инкапсуляции показан на Рис. 6-34.12. 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 интерфейсы между сетью PBB и сетями PB носят название NNI (Network to Network Interface — интерфейс «сеть-сеть»). В поступающих на пограничные коммутаторы сети PBB кадрах имеется идентификатор S-VID, добавленный входным пограничным коммутатором сети PB (и не удаленный выходным пограничным коммутатором сети PB, так как такое удаление выполняется для интерфейсов UNI, но не для интерфейсов NNI). Наличие идентификатора S-VID во входных кадрах не является необходимым условием работы сети PBB, это только возможный вариант; если сеть PBB непосредственно соединяет сети пользователей, то входящие кадры поля S-VID не имеют.

Ethernet поверх Ethernet

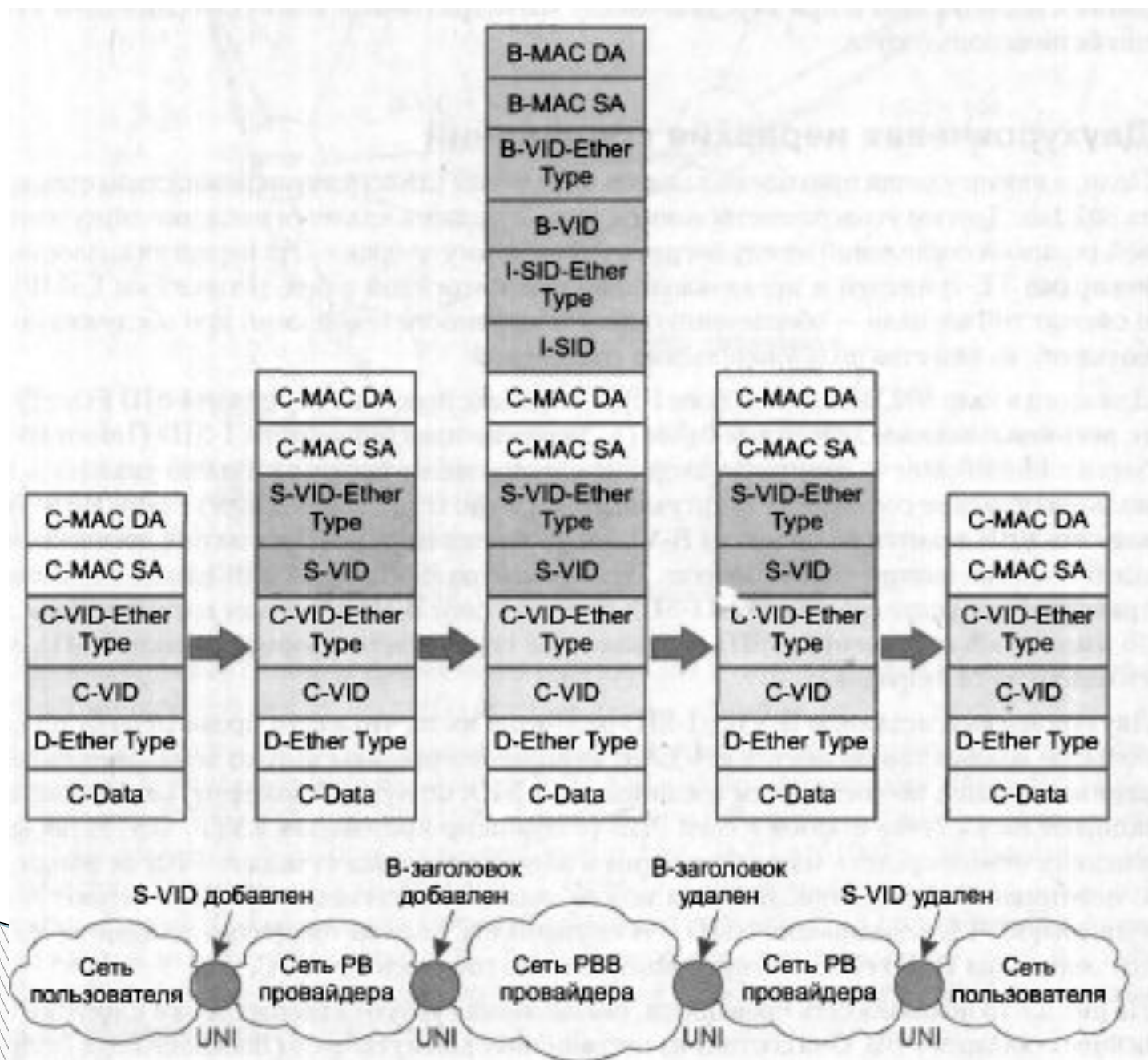


Рис. 6-34.12. Формат кадров при инкапсуляции MAC-in-MAC 802.1 ah

Ethernet поверх Ethernet

- Входной пограничный коммутатор сети PBB добавляет к принимаемому кадру 6 новых полей, из которых четыре поля представляют собой стандартный заголовок нового кадра, в поле данных которого упакован принятый кадр. В этом заголовке MAC-адресами назначения и источника являются адреса интерфейсов входного и выходного пограничных коммутаторов сети, которые на Рис. 6-34.12 обозначены как B-MAC DA и B-MAC SA соответственно (буква «B» в этих обозначениях появилась от слова «backbone» — магистральный).
- Эти адреса используются в пределах сети PBB вместе с идентификатором виртуальной локальной сети B-VID для передачи кадров в соответствии со стандартной логикой локальной сети, разделенной на сегменты VLAN, и при этом совершенно независимо от адресной информации сетей пользователя.
- Пользовательские MAC-адреса, а также идентификаторы S-VID и C-VID находятся в поле данных нового кадра и при передаче между магистральными коммутаторами сети PBB никак не используются.

Список использованных источников

- В.Г. Олифер, Н.А. Олифер Компьютерные сети, 3-е издание, 2009г.