

**Федеральное агентство связи**

**Государственное федеральное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

**ЭЛЕКТРОННАЯ  
БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА**

**Самара**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального  
образования  
«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и  
информатики»

Кафедра МСИБ

Методические разработки к лабораторной работе

**«Технологии функционирования мостов»**

для студентов специальностей 210406, 210400, 210403, 210404

Составители:  
к.т.н., доц. Киреева Н. В.  
ст. препод. Буранова М.А.  
инженер Малина М.А.

Редактор:  
к.т.н., доц. Крыжановский А.В.

Рецензент:  
д.т.н., проф. Росляков А.В.

Самара 2011

**Цель работы:** Изучение принципов работы мостов и коммутаторов на примере коммутатора Cisco Catalyst 2940.

## **1 Метод мостового прозрачного перенаправления**

Сегментация сетей позволяет обеспечить большую пропускную способность сети на одного пользователя. Использование мостов позволяет получить большую пропускную способность на одного пользователя путем уменьшения количества устройств, подключенных к одному сегменту и конкурирующих за пропускную способность. Кроме того, применение мостов позволяет получить дополнительную пропускную способность благодаря наличию управления потоком данных в сети. Мост посылает данные только в тот интерфейс или интерфейсы, к которым подключены устройства, для которых они предназначены. В случае трафика одноадресатных сообщений мост перенаправляет данные только в один порт, а не во все.

Метод прозрачного мостового перенаправления определен в спецификации стандарта IEEE 802.1d, которая описывает пять процессов обработки фрейма при прохождении через мост:

1. перенаправление фреймов (forwarding);
2. лавинная передача (flooding);
3. фильтрация фреймов (filtering);
4. коммутация с изучением топологии или самообучением (learning);
5. старение таблицы MAC-адресов (aging).

На рис. 1 показаны пять процессов обработки, которые используются в методе прозрачного мостового перенаправления.

Когда фрейм поступает в мост, работающий по методу прозрачного перенаправления, Ethernet MAC-адрес отправителя и порт, к которому он подключен, добавляются в таблицу MAC-адресов моста. Если адрес отправителя уже находится в таблице, то мост обновляет значение таймера старения информации для данного адреса. Далее проверяется MAC-адрес точки назначения. Если адрес получателя является широковещательным, адресом групповой передачи или адресом отдельного устройства, но отсутствует в таблице MAC-адресов, то пакет передается во все порты (лавинная передача), которые находятся в режиме использования алгоритма связующего дерева, за исключением порта, к которому подключен отправитель. Если адреса отправителя и получателя соответствуют одному порту, то мост отбрасывает (фильтрует) фрейм. В противном случае мост перенаправляет фрейм в интерфейс, который записан в таблице MAC-адресов моста и соответствует адресу получателя.

Ниже каждый из пяти вариантов обработки фреймов описывается более детально.

## Самообучение

Каждый мост поддерживает таблицу MAC-адресов, в которую заносятся записи обо всех известных рабочих станциях, подключенных ко всем интерфейсам моста. В частности, при получении фрейма от любого устройства мост заносит MAC-адрес отправителя и порт, к которому подключен отправитель, в свою таблицу MAC-адресов. Такой процесс называется *самообучением моста* или *изучением топологии*. Мост запоминает только адреса отправителей, содержащиеся в одноадресных сообщениях. Станции никогда не передают фреймы, у которых адрес отправителя является широковещательным или адресом групповой рассылки. Мост запоминает MAC-адреса отправителей для интеллектуальной пересылки фреймов в сегмент получателя. При получении фрейма мост просматривает свою таблицу MAC-адресов для определения порта, к которому подключена станция с MAC-адресом требуемого получателя. Информация в таблице MAC-адресов моста используется либо для фильтрации трафика (в случае, если станция-отправитель и станция-получатель находятся на одном сегменте), либо для отправки фрейма в соответствующий интерфейс или интерфейсы.

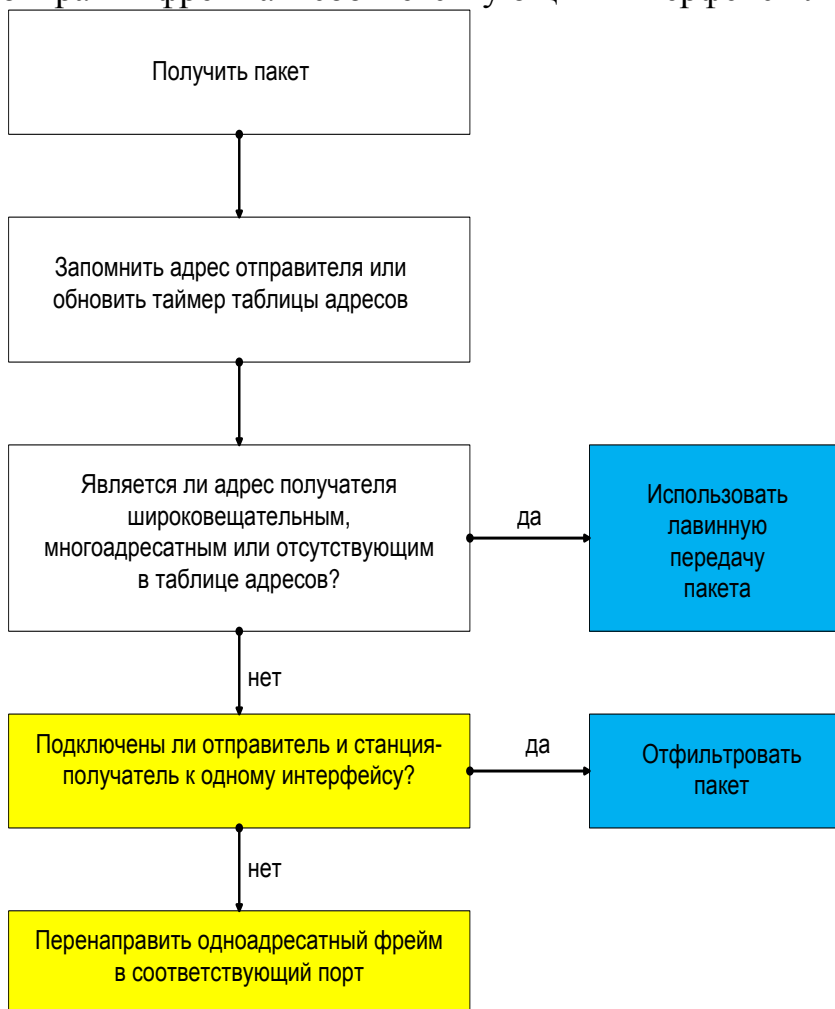


Рис. 1. Схема пути пакета, используемая в методе прозрачного мостового перенаправления

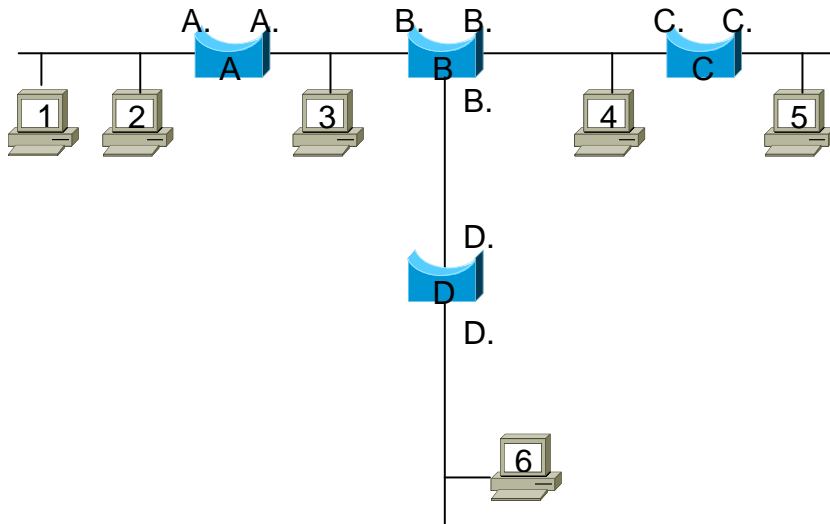


Рис. 2. Пример сети, сегментированной с помощью мостов

Однако, сразу после подачи питания на мост в его таблице MAC-адресов еще нет никаких записей. Допустим, что мосты, показанные на рис. 2, только что были включены, и ни одна станция еще успела передать никаких данных. В таком случае таблицы MAC-адресов всех четырех мостов являются пустыми. Представим теперь, что станция 1 передает одноадресатный фрейм станции 2. Все станции в соответствующем сегменте, в том числе и мост, получают переданный фрейм в связи с тем, что сегмент является по своей природе средой общего доступа. Мост А определяет, что станция 1 находится на сегменте, подключенному к порту A1, путем анализа адреса отправителя в заголовке канального уровня фрейма. После этого мост А заносит MAC-адрес отправителя и соответствующий ему порт в свою таблицу MAC-адресов.

### Лавинная передача

Продолжим рассмотрение случая, когда станция 1 передает данные; мост А также определяет адрес станции-получателя из заголовка канального уровня фрейма для того, чтобы найти, есть ли соответствующая запись в его таблице MAC-адресов. В рассматриваемом случае в таблице MAC-адресов моста А содержится только информация о станции 1. Когда мост получает одноадресатный фрейм (т.е. фрейм, предназначенный только одной станции-получателю), а в таблице MAC-адресов данного моста нет информации об адресе назначения, то говорят, что мост получает *неизвестный одноадресатный фрейм*. Правила работы мостов требуют, чтобы неизвестный одноадресатный фрейм отправлялся во все интерфейсы, за исключением того, к которому подключена станция-отправитель. Указанный процесс называется *лавинной передачей* (flooding). Таким образом, в рассматриваемой ситуации мост А передает фрейм во все интерфейсы, даже если станция 1 и станция 2 подключены к одному и тому же интерфейсу моста. Когда мост Б получает фрейм, он производит его обработку также, как и мост А, осуществляя процесс

изучения топологии и лавинную передачу. Мост Б передает фрейм мостам В и Г, которые также осуществляют процесс самообучения и лавинную передачу. В конечном итоге таблицы MAC-адресов всех мостов выглядят, как показано в табл. 1.

Таблица 1. Состояние таблиц MAC-адрес мостов после процесса лавинной передачи

Порт моста	А. 1	А. 2	Б.1	Б.2	Б.3	В.1	В.2	Г.1
MAC-адрес	1		1			1		1

В результате рассмотренного процесса все мосты в сети, показанной на рис. 2, имеют в своих таблицах MAC-адресов записи о станции 1 и требуемых интерфейсах, указывающих, в каком направлении необходимо посылать фрейм к станции 1. Таблицы MAC-адресов мостов указывают *относительное* положение станции, а именно, положение по отношению к определенному порту моста. Так, например, в таблице MAC-адресов моста В запись о станции 1 соответствует порту В.1. Такая запись не означает, что станция 1 непосредственно подключена к порту В.1, а всего лишь свидетельствует о том, что мост получил информацию о станции 1 через данный порт.

Кроме лавинной передачи неизвестных одноадресных фреймов обычные мосты осуществляют лавинную передачу еще двух типов фреймов: широковещательных и фреймов многоадресных сообщений. Многие мультимедийные сетевые приложения генерируют широковещательные или многоадресные сообщения, которые распространяются через сеть, сегментированную с помощью мостов (т.е. широковещательный домен). При увеличении количества пользователей мультимедийных служб возрастает количество широковещательных/многоадресных данных, которые используют пропускную способность сети.

### Фильтрация фреймов

Что произойдет, если станция 2 в сети, показанной на рис. 2, ответит станции 1? Все станции, подключенные к сегменту, который соответствует порту А1, в том числе мост А, получают переданный фрейм. Мост А получает информацию о наличии станции 2 и добавляет ее MAC-адрес вместе с идентификатором соответствующего порта (А1) в свою таблицу MAC-адресов. Мост А также анализирует MAC-адрес получателя для определения направления отправки фрейма. Теперь мост А обладает информацией о том, что станции 1 и 2 подключены к одному порту. Он принимает решение, что фрейм не нуждается в пересылке. В таком случае, мост *фильтрует фрейм*. Фильтрация осуществляется в том случае, когда станция-отправитель и станция-получатель подключены к одному интерфейсу моста. Мост А мог бы отправить фрейм и через другие интерфейсы, но т.к. в таком случае возникают ненужные затраты

пропускной способности, то алгоритм работы моста предполагает отбрасывание фрейма. Следует заметить, что в рассматриваемом случае о существовании станции 2 знает пока только мост А, поскольку фрейм от станции 2 еще не проходил через него.

### Перенаправление фреймов

Рассмотрим ситуацию, в которой станция 2 в сети, показанной на рис. 2, отправляет фрейм станции 6. В таком случае все мосты осуществляют лавинную передачу фрейма, потому что для станции 6 еще нет записей в таблицах МАС-адресов мостов. Все мосты запоминают МАС-адрес станции 2, а также ее относительное положение. Когда станция 6 отправляет ответ станции 2, мост Г просматривает записи в своей таблице МАС-адресов и определяет, что для того, чтобы фрейм достиг станции 2, его нужно перенаправить через интерфейс Г1. Мост осуществляет *перенаправление фрейма* в том случае, если адрес получателя известен (т.е. в нем есть запись в таблице МАС-адресов моста), фрейм представляет собой одноадресное сообщение и станция-отправитель и станция-получатель подключены к разным интерфейсам моста. Когда указанный выше фрейм достигает моста В, он перенаправляет его через интерфейс Б.1. Мост А при получении фрейма соответственно отправляет его через порт А1. Таким образом, в рассматриваемом случае только мосты А, Б и Г хранят информацию о станции 6. В табл. 2 показаны текущие состояния таблиц МАС-адресов всех мостов в рассматриваемом случае.

Таблица 2. Состояние таблиц МАС-адресов мостов после процесса перенаправления фрейма

Порт моста	А. 1	А. 2	Б.1	Б.2	Б.3	В.1	В.2	Г.1	Г.2
МАС-адрес	1	2	6	2*	6	2*	2*	2*	6

\* Мосты Б, В и Г не имеют информации о станции 2 до тех пор, пока данная станция не начнет передачу фрейма станции 6.

### Старение таблицы МАС-адресов

Когда мост определяет адрес отправителя в процессе изучения топологии, то в соответствующую запись в таблице его МАС-адресов заносится также отметка времени, когда данное событие произошло. Каждый раз при получении фреймов от указанного отправителя мост обновляет значение временной отметки. Если мост не получает никаких фреймов от данного узла-отправителя в течение определенного времени (истекает время так называемого *таймера старения*), то мост удаляет соответствующую запись из своей таблицы МАС-адресов.

Для чего необходимо удаление записей? Мост имеет конечное количество памяти, что, соответственно, ограничивает количество адресов, которое он может запомнить в своей таблице MAC-адресов. Например, мосты самого высокого класса имеют возможность запоминать более 16000 адресов, тогда как устройства более низкого класса имеют таблицы с емкостью менее 4096 записей. Что же произойдет, если все 16000 записей уже заполнены, а в сети работает 16001 устройство? Мост передает фреймы от такого последнего устройства с помощью лавинной передачи до тех пор, пока не освободится место в его таблице MAC-адресов и мост не сможет запомнить информацию о нем. Записи в таблице MAC-адресов уничтожаются, когда для соответствующего адреса истекает таймер старения записи. Таймер старения таблицы MAC-адресов позволяет ограничить количество актов лавинной передачи благодаря запоминанию адресов наиболее активных станций. Если к сети подключено меньше устройств, чем можно разместить записей в таблице MAC-адресов моста, т.е. смысл увеличить временной интервал старения записей. В таком случае мост будет запоминать адреса станций на более длительное время и тем самым число актов лавинной передачи будет уменьшаться.

Старение таблиц MAC-адресов также необходимо для того, чтобы мосты могли приспособиться к перемещению станций. Исходя из информации, показанной в табл. 2, мосты обладают информацией о положении станций 1, 2 и 6. При подключении станции 6 к другому интерфейсу другие сетевые устройства могут потерять возможность передавать данные этой станции. Например, если станция 6 изменила свое положение и теперь подключена к порту С.2, а станция 1 передает данные станции 6, то переданные фреймы никогда не достигнут станции 6. Действительно, мост А будет передавать фреймы мосту Б, а мост Б все еще содержит запись в своей таблице MAC-адресов о том, что станция 6 подключена к порту Б.3. Старение таблиц MAC-адресов позволяет мостам "забыть" информацию о станции 6. Мост Б при этом начнет использовать метод лавинной передачи для отправки фреймов, адресованных станции 6, пока в процессе самообучения не определит ее нового положения. С другой стороны, как только станция 6 начнет передачу фреймов станции 1, то мосты сразу же определят и запомнят новое положение станции 6. Таким образом, если значение интервала времени старения слишком большое, то могут возникать проблемы с достигаемостью станций в сети.

## **2. Режимы коммутации**

Коммутаторы также, как и мосты, принимают решение по перенаправлению фреймов в соответствии с методом прозрачного мостового перенаправления. Однако производители предлагают несколько различных режимов коммутации, чтобы определить, когда именно необходимо коммутировать фрейм. В промышленности наиболее употребительными являются три режима: режим с промежуточным хранением (store-and-forward), сквозная коммутация (cut-through) и режим с контролем фрагментов (fragment-



free). Каждый из режимов имеет свои преимущества и в чем-то является компромиссным вариантом. В результате использования различных моментов времени для коммутации фреймов наиболее существенным образом три режима отличаются с точки зрения обработки ошибок и временами задержек.

Одна из главных целей, для которых применяется коммутация — это обеспечение большей пропускной способности для конечного пользователя. Каждый порт коммутатора задает новый домен коллизий, в котором доступна полная пропускная способность физической среды передачи. Если только одна станция подключена к интерфейсу, то такая станция может полностью использовать выделенную ей пропускную способность, и нет необходимости в разделении пропускной способности между несколькими устройствами.

## **2.1 Режим коммутации с промежуточным хранением**

В режиме с промежуточным хранением данных перед тем, как начинать процесс коммутации, фрейм принимается целиком. После получения всего содержимого фрейма коммутатор определяет его адрес отправителя и адрес получателя, проверяет содержимое фрейма на наличие возможных ошибок и затем, в случае необходимости, выполняет какой-либо из видов специальной фильтрации согласно стандартных правил, установленных администратором, с целью модификации процесса перенаправления фреймов. При обнаружении каких-либо ошибок коммутатор отбрасывает фрейм, тем самым предотвращая затраты пропускной способности на передачу в сегмент-получатель фреймов, содержащих ошибки. Если сеть характеризуется высокой частотой ошибок несовпадения контрольной суммы фрейма (FCS — Frame Check Sequence) или большой частотой наложения фреймов, то наилучшим решением будет использование режима коммутации с промежуточным хранением. Абсолютно правильным решением, конечно, является устранение причин ошибок, а использование режима с промежуточным хранением можно сравнить с наложением повязки на ногу при болящей голове, что, соответственно, не может быть решением проблемы.

Поскольку перед тем, как начать передачу фрейма, коммутатор должен получить все его содержимое, задержка передачи изменяется в зависимости от размера фрейма. Например, минимальный размер фрейма в сетях стандарта 10BaseT составляет 64 октета, и для его получения необходимо время 51,2 микросекунды. В другом случае, когда размер фрейма равен 1512 октетам, то его получение занимает 1,2 миллисекунды. Задержка передачи для сетей стандарта 100BaseX составляет одну десятую от значений, полученных для сетей, построенных по стандарту 10BaseT.

## **2.2 Сквозная коммутация**

В режиме сквозной коммутации коммутатор начинает процесс перенаправления фрейма сразу же после того, как будет принят октет, содержащий адрес получателя, что позволяет снизить задержку во времени до

необходимого для приема шести октетов адресата данных, т.е., до величины 4,8 мкс для сетей стандарта 10BaseT. Однако в данном режиме коммутатор не может проверить фрейм на наличие ошибок до тех пор, пока не будет передано все содержимое фрейма. Фреймы, содержащие ошибки, передаются коммутатором в сегмент получателя, что, соответственно, требует затрат пропускной способности. Отбрасывается фрейм приемным устройством станции-получателя.

При увеличении пропускной способности сети и скорости процессоров проблема задержек передачи становится менее существенной. В сетях с большой скоростью передачи информации время, необходимое для приема и обработки фрейма, существенно сокращается, что снижает ценность режима сквозной коммутации. Таким образом, для большинства сетей режим коммутации с промежуточным хранением является более предпочтительным.

Некоторые коммутаторы поддерживают как режим сквозной коммутации, так и режим коммутации с промежуточным хранением. Такие устройства обычно могут работать также и в третьем режиме, который называется *адаптивным режимом сквозной коммутации* (adaptive cut-through). Такие коммутаторы обычно работают в режиме сквозной коммутации, при этом выборочно активируя режим коммутации с промежуточным хранением. Коммутатор проверяет фреймы на наличие ошибок в процессе перенаправления. Т.к. в режиме сквозной коммутации фрейм, содержащий ошибки, не может быть остановлен, то коммутатор использует счетчик числа ошибок. Если число фреймов с ошибками превышает некоторый порог, коммутатор автоматически переходит в режим работы с промежуточным хранением. Именно такой алгоритм работы и называют адаптивным режимом сквозной коммутации. Преимуществом такого режима является обеспечение малого времени задержки в случае, если сеть работает без ошибок, кроме того, он позволяет защитить выходной сегмент при наличии ошибок во входном сегменте.

### **2.3 Коммутация с контролем фрагментов**

Данный режим является еще одной альтернативой сочетания преимуществ сквозной коммутации и коммутации с промежуточным хранением. В режиме *коммутации с контролем фрагментов* коммутатор ведет себя так же, как и в режиме сквозной коммутации в том плане, что он не ожидает, пока будет принято все содержимое фрейма, до того, как начать перенаправление. При этом в режиме с контролем фрагментов коммутатор начинает перенаправление после получения первых 64 октетов фрейма (это значение больше, чем в режиме сквозной коммутации, что ведет к увеличению задержки). Коммутатор, работающий в режиме сквозной коммутации, позволяет защитить сегмент получателя от фрагментов фреймов, которые возникают в процессе коллизий в сетях Ethernet, работающих в полудуплексном режиме. В правильно спроектированной сети, работающей по технологии Ethernet, устройства определяют наличие коллизии до того, как

станция-отправитель заканчивает передачу фрейма размером 64 байта (что определяется значением канального интервала). При обнаружении коллизии возникает фрагмент (фрейм размером меньше 64 байт). Такие фреймы не несут никакой полезной информации и отбрасываются коммутатором, работающим в режиме с промежуточным хранением. Коммутатор, работающий в режиме сквозной коммутации, осуществляет перенаправление подобного фрейма, если в нем существует адрес получателя. Поскольку коллизии могут возникать только при передаче первых 64 октетов и большинство ошибок передачи фреймов сказываются именно на этих октетах, то коммутатор, работающий в режиме с контролем фрагментов, позволяет обнаружить большинство фреймов, содержащих ошибки, и отбросить их вместо того, чтобы осуществлять их передачу дальше. В режиме с контролем фрагментов задержка передачи фреймов выше, чем в режиме сквозной коммутации, поскольку коммутатор должен ожидать, пока не будут приняты дополнительные 58 байт, до того, как начать передачу фрейма. Как было описано выше в разделе, посвященном режиму коммутации с промежуточным хранением, преимущества режима с контролем фрагментов становятся незначительными при использовании высокоскоростных сетей и быстрых процессоров для обработки фреймов в коммутаторах.

Коммутатор Cisco Catalyst 2940 использует только режим передачи с промежуточным хранением.

ЭБС.Ю.И.

## Ход работы:

Часть I. Получение сведений о работе алгоритма прозрачного моста.

1. Подключитесь к коммутатору по протоколу Telnet или через консольный порт. Если подключаетесь по протоколу Telnet уточните текущий IP-адрес коммутатора у преподавателя.

2. Загрузите с сервера TFTP конфигурационный файл созданный в предыдущей работе.

3. Просмотрите таблицу MAC-адресов коммутатора (команда **show mac address-table**).

4. Найдите в таблице MAC-адрес ПК за которым вы работаете. На каком порту он изучен, в какой VLAN?

Для того что бы узнать MAC-адрес компьютера надо в командной строке набрать команду **ipconfig /all**.

Часть II. Управление механизмом продвижения кадров.

1. Измените время хранения записей в таблице MAC-адресов на 1000 секунд (по умолчанию 300 с.). Используйте команду **mac address-table aging-time [параметр]** в режиме глобального конфигурирования.

Пример: **mac address-table aging-time 1000**

2. Просмотрите установленное значение (**show mac address-table aging-time**).

3. Добавьте в таблицу статическую запись с адресом ПК с которого вы работаете (команда **mac address-table static [параметры]**).

Пример: **mac address-table static 0013.2a34.8acв vlan 2 interface fa 0/2**

4. Просмотрите таблицу MAC-адресов. Проверьте сделанную ранее статическую запись.

Сохраните конфигурационный файл на TFTP сервер.

## Отчет по работе:

Отчет должен содержать:

1. Таблицу MAC-адресов с указанием порта на котором изучен каждый адрес.
2. Сохраненный на сервере TFTP конфигурационный файл.

## Контрольные вопросы:

1. Сегмент сети?
2. Для чего нужен мост?
3. Сущность MAC-адресации?
4. Метод мостового прозрачного перенаправления (схема пути)?
5. Лавинная передача?
6. Фильтрация фреймов. Перенаправление фреймов?
7. Старение таблицы MAC-адресов (зависимость )?
8. Режим коммутации с промежуточным хранением?
9. Режим сквозной коммутации?
10. Режим коммутации с контролем фрагментов?

## Рекомендуемые источники

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – Спб.: Питер, 2006. - 958 с.: ил.
2. Столлингс В. Передача данных. - 4-е изд. Спб.: Питер, 2009.
3. Ричард Стивене. Протоколы TCP/IP. Практическое руководство. - Спб.: БХВ, 2003.

ЭБС