**Общие сведения о протоколах динамической маршрутизации**

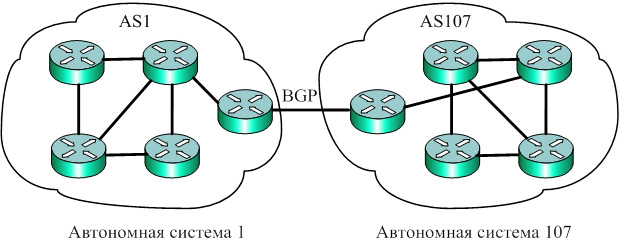
Маршрутизаторы функционируют в сетях с коммутацией пакетов, где все возможные маршруты уже существуют. Процесс прокладывания пути производится либо вручную администратором (статическая *маршрутизация*), либо автоматически маршрутизирующим **протоколом (динамическая маршрутизация)**.

Маршрутизаторы, зная информацию о пути к некоторым сетям, обмениваются этой информацией с другими устройствами. После таких **обновлений** все маршрутизаторы будут иметь согласованную информацию о маршрутах к доступным сетям. Процесс обмена обновлениями реализуют протоколы маршрутизации. Таким образом, **протоколы маршрутизации разделяют сетевую информацию между маршрутизаторами**.

При изменениях в топологии требуется некоторое время (**время сходимости или конвергенции**) для **согласования информации** в таблицах маршрутизации всех маршрутизаторов сети. Время сходимости является важным фактором при выборе протокола маршрутизации.

Маршрутная *информация* собирается *по* определенным правилам в ходе реализации алгоритма динамического обмена **обновлениями** (*update*, модификациями) между маршрутизаторами. *Протокол маршрутизации* должен **создавать и поддерживать таблицы маршрутизации**, где хранятся пути ко всем доступным сетям назначения, а также извещать другие маршрутизаторы о всех известных ему изменениях в топологии сети, т.е. решать задачу **обнаружения сетей**.

Совокупность сетей, представленных маршрутизаторами под общим административным управлением, образует **автономную систему** ([рис. 3.1](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=1#image.3.1)). Примерами автономных систем являются сети отдельных провайдеров *ISP*. Автономные системы нумеруются (AS1, AS2, …AS107, …) и в некоторых протоколах (*IGRP*, *EIGRP*) эти номера используются при конфигурировании.



**Рис. 3.1.**Взаимодействие автономных систем

В настоящем курсе рассматривается *маршрутизация* только внутри автономной системы, где работают протоколы внутренней маршрутизации (Interior *Gateway* Protocols - **IGP**), к которым относятся *RIP*, RIPv2, *EIGRP*, *OSPF*, *IS-IS*. Маршрутизацию между автономными системами производят протоколы внешней маршрутизации (*Exterior* *Gateway* Protocols - **EGP**). Примером протокола внешней маршрутизации является протокол *BGP*, который работает на пограничных маршрутизаторах автономных систем ([рис. 3.1](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=1#image.3.1)).

Совокупность протоколов маршрутизации приведена в [табл. 3.1](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=1#table.3.1), из которой следует, что протоколы динамической маршрутизации, работающие внутри автономных систем, в свою *очередь*, подразделяются на **протоколы вектора расстояния (distance-vector)** и **протоколы состояния канала (link-state)**.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 3.1. Протоколы динамической маршрутизации | | | | |
| **Протоколы внутренней маршрутизации** | | | | **Протоколы внешней маршрутизации** |
| **Вектора расстояния** | | **Состояния канала** | | **Вектора пути** |
| **RIP-2** | **EIGRP** | **OSPF** | **IS-IS** | **BGP** |

Протоколы **вектора расстояния** определяют *расстояние* и направление, т.е. *вектор* соединения в составной сети на пути к адресату. При использовании протокола **вектора расстояния** маршрутизаторы посылают всю или часть таблицы маршрутизации соседним (смежным) маршрутизаторам. В таких протоколах как **RIP** и **RIP-2** *расстояние* выражается в **количестве переходов (hop count)** в соединении на пути от узла источника к адресату назначения. Обмен обновлениями (*update*) или модификациями происходит **периодически**, даже если в сети нет никаких изменений, на что тратится значительная часть полосы пропускания. Получив обновление маршрутной информации, *маршрутизатор*может заново вычислить все известные пути и модернизировать таблицу маршрутизации.

Протоколы **состояния канала** создают полную картину топологии сети и вычисляют кратчайшие пути ко всем сетям назначения. Если путей с одинаковой метрикой несколько, то выбирается первый из вычисленных. **Рассылка обновлений** маршрутной информации производится только **при изменениях топологии сети**. Протоколы состояния канала (или соединения) быстрее реагируют на изменения в сети *по*сравнению с протоколами вектора расстояния, но при этом требуют больших вычислительных ресурсов.

Когда инкапсулированный в *кадр* пакет прибывает на *входной* *интерфейс*, *маршрутизатор* декапсулирует его, затем использует таблицу маршрутизации, чтобы определить, *по* какому маршруту направить пакет, т.е. **на какой свой выходной интерфейс передать поступивший пакет**. Выходной *интерфейс* связан с наиболее рациональным маршрутом к адресату назначения. Этот процесс называется **коммутацией** или **продвижением** пакета. На выходном интерфейсе пакет инкапсулируется в новый *кадр*, при этом *маршрутизатор*добавляет информацию для формирования кадра (см. материалы ["Принципы и средства межсетевого взаимодействия"](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31151)).

Маршрутизаторы способны одновременно поддерживать несколько независимых протоколов с разными **административными расстояниями (AD)**, которые показывают степень достоверности источника маршрута. Чем меньше *AD*, тем выше *достоверность* (см. [табл. 1.1](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=1)). В таблицу маршрутизации устанавливаются маршруты, созданные протоколами с наименьшим административным расстоянием.

*Определение* протоколом маршрутизации наиболее рационального (оптимального) пути производится на основе определенного критерия - **метрики**. *Значение* метрики используется при оценке возможных путей к адресату назначения. В настоящем курсе рассматриваются следующие протоколы маршрутизации:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **RIP (Routing Information Protocol)** | - | протокол маршрутизации на основе вектора расстояния (первая и вторая версии), |
| **EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol)** | - | расширенный протокол внутренней маршрутизации, |
| **OSPF (Open Shortest Path First)** | - | открытый протокол маршрутизации по состоянию канала. |

Перечисленные протоколы используют разные параметры метрики.

Различные протоколы маршрутизации используют разные алгоритмы при выборе маршрута, т.е. выходного интерфейса и (или) адреса следующего перехода, на который должен быть передан пакет. *Алгоритм* и *метрика* определяются целым рядом решаемых задач, таких как простота, *устойчивость*, гибкость, быстрая **сходимость** или *конвергенция*. *Сходимость* - это процесс согласования между маршрутизаторами сети информации о доступных маршрутах. При изменениях состояния сети необходимо, чтобы обмен модификациями восстановил согласованную сетевую информацию.

Каждый *алгоритм* *по* своему интерпретирует выбор наиболее рационального пути на основе **метрики**. Обычно **меньшее значение метрики соответствует лучшему маршруту**. *Метрика* может базироваться на одном или на нескольких параметрах пути. В протоколах маршрутизации наиболее часто используются следующие параметры метрики:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Полоса пропускания**(Bandwidth) | - | способность соединения передавать данные с некоторой скоростью. Например, соединения сети FastEthernet передающие данные со скоростью 100 Мбит/c, предпочтительней каналов Е1 со скоростью 2,048 Мбит/c. |
| **Задержка**(Delay) | - | это длительность времени прохождения пакета от источника до адресата назначения. Задержка зависит от количества промежуточных соединений и их типов, объема буферных устройств маршрутизаторов, сходимости сети и расстояния между узлами. |
| **Загрузка** (Load) | - | определяется количеством информации, загружающей сетевые ресурсы (маршрутизаторы и каналы). Чем больше загрузка, тем больше очереди на обслуживание, тем дольше пакет будет в пути. |
| **Надежность**(Reliability) | - | определяется интенсивностью ошибок на каждом сетевом соединении. |
| **Количество переходов** (Hop count) | - | это количество маршрутизаторов, через которые пакет должен пройти на пути к адресату назначения (число переходов от маршрутизатора к маршрутизатору). |
| **Стоимость**(Cost) | - | обобщенный параметр затрат на передачу пакета к адресату назначения. Иногда стоимость имеет произвольное значение, назначенное администратором. |

Наиболее известным в сети *Internet* протоколом вектора расстояния (distance-vector) является **Routing Information Protocol (RIP)**, который использует в качестве метрики **число переходов** (*hop count*) на пути к адресату назначения.

Другим простым протоколом вектора расстояния является Interior *Gateway* *Routing* *Protocol* (**IGRP**), который был разработан в корпорации Cisco. Для работы в больших сетях на смену ему пришел протокол **Enhanced IGRP (EIGRP)**, который включает много особенностей протоколов как типа link-state, так и distance-vector. Поэтому он, *по* сути, является гибридным протоколом. Однако разработчики фирмы Cisco относят его к протоколам distance-vector.

**Протоколы вектора расстояния (RIP, IGRP) периодически рассылают обновления** маршрутной информации. У протокола *RIP* этот период равен 30 сек. При этом обновляются таблицы маршрутизации, которые хранят всю информацию о маршрутах в сети. При изменении в сети *маршрутизатор*, обнаруживший такое изменение, сразу начинает обмен маршрутной информацией с соседними маршрутизаторами. Этот обмен идет последовательно от маршрутизатора к маршрутизатору с некоторой задержкой, определяемой временем модификации таблиц в каждом маршрутизаторе, а также специальным таймером. Поэтому **сходимость (конвергенция)** сети, когда все маршрутизаторы будут иметь согласованную информацию о сетевых соединениях, **происходит медленно**, что является недостатком протоколов вектора расстояния.

Таким образом, протоколы вектора расстоянияRIP характеризуются **медленной сходимостью**, т.е. длительным временем согласования информации в таблицах маршрутизации при изменениях топологии сети.

Протокол вектора расстояния *RIP* использует *счетчик* переходов (*hop count*) в качестве метрики, чтобы определить *расстояние* до определенного соединения в составной сети. Если существует несколько путей, то *RIP* выберет *путь* с наименьшим числом маршрутизаторов или переходов к адресату назначения. Однако выбранный *маршрут* не всегда является лучшим путем к адресату, поскольку выбранный *маршрут* с наименьшим числом устройств может характеризоваться меньшей скоростью передачи (более узкой полосой пропускания, меньшей пропускной способностью) *по* сравнению с альтернативными маршрутами, созданными другими протоколами. Кроме того, *RIP* не может направлять пакеты далее 15 переходов, поэтому он рекомендован для работы в малых и средних сетях. **Рассылка обновлений** протоколом первой версии RIPv1 производится в **широковещательном режиме** (*адрес* **255.255.255.255**).

Протокол первой версии RIPv1 требует, чтобы все устройства в подсети использовали одинаковую маску подсети, т.к. *RIP* не включает информацию о маске подсети в обновления маршрутизации. Такой метод получил название **маршрутизации на основе классов (classful routing)**, что ограничивает применение протокола RIPv1 в современных сетях.

Протокол вектора расстояния второй версии RIPVersion 2 (**RIPv2**) обеспечивает **бесклассовую маршрутизацию CIDR** (Classless Interdomain *Routing*), поскольку **в обновления маршрутизации включена информация о маске подсети** (о префиксе). При этом внутри одной сети могут существовать подсети с масками переменной длины (Variable-Length Subnet Mask - **VLSM**). В обновления также включена адресная *информация* о шлюзах *по* умолчанию. Рассылка обновлений протоколом версии RIPv2 производится в **многоадресном режиме** (*адрес***224.0.0.9**).

Протокол вектора расстояния *EIGRP* обеспечивает быструю *сходимость* и малое количество служебной информации, передаваемой в обновлениях (только об изменениях в сети), что экономит полосу пропускания. *EIGRP* использует ряд функций, применяемые в протоколах состояния канала (link-state). Протоколы *EIGRP* работают с оборудованием CISCO и не всегда поддерживаются программным обеспечением аппаратуры других фирм. Рассылка обновлений протоколом *EIGRP* производится в **многоадресном режиме** (*адрес* **224.0.0.10**).

Наиболее известными **протоколами состояния канала** (соединения) являются протокол **Open Shortest Path First (OSPF)** и протокол *Intermediate* *System*-to-*Intermediate* *System* (*IS-IS*). *Протокол маршрутизации* *OSPF* разработан организацией *Engineering* *Task Force* (*IETF*). Он предназначен для работы в больших гибких составных сетях, может работать с оборудованием разных фирм производителей, поэтому получил широкое распространение.

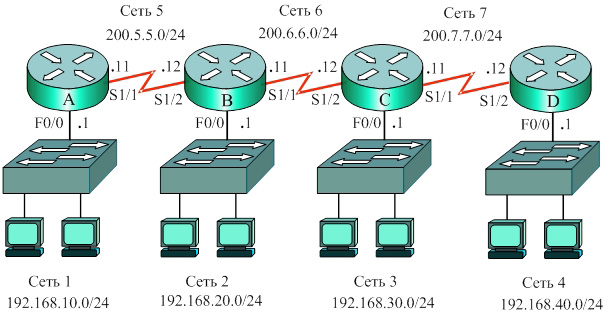
**Протокол состояния канала OSPF** использует *алгоритм* Дийкстры (Dijkstra), согласно которому устанавливаются отношения **смежности** с соседними устройствами, путем обмена с ними короткими Hello-пакетами, создаются таблицы соседних устройств, оцениваются стоимости соединений, которые хранятся в специальной **базе данных** (link-state *database*). На основе таблиц соседних устройств и информации *базы данных* формируются таблицы маршрутизации. В базе данных хранится один или несколько путей к адресату назначения, из которых выбирается **первый кратчайший путь** (Shortest *Path* *First* - *SPF*), который и помещается в таблицу маршрутизации. Если первый *путь*становится недоступным, то протокол может оперативно выбрать из *базы данных* другой без дополнительных вычислений.

Рассылка обновлений о состоянии канала производится при запуске протокола маршрутизации и при изменениях топологии сети. При этом *маршрутизатор* создает **извещение о состоянии** этого **соединения** (Link-State Advertisement - *LSA*). Сообщение *LSA* затем передается всем смежным маршрутизаторам, которые, получив *LSA*, транслируют копию *LSA* всем соседям и затем модифицируют базу данных. При таком волновом распространении пакетов все маршрутизаторы создадут *базы данных* и таблицы маршрутизации, которые будут согласованно отражать топологию перед модификацией. Такой *алгоритм* обеспечивает **быструю сходимость**.

Протокол граничного шлюза (*Border* *Gateway* *Protocol* - **BGP**) относится к внешним протоколам *External* *Gateway* *Protocol* (*EGP*). Протокол обеспечивает обмен маршрутизирующей информацией между автономными системами, гарантирует выбор пути, свободный от маршрутных петель (loop-free). Протокол *BGP* используется основными сетевыми компаниями, в том числе провайдерами *Интернет*. Протокол *BGP* принимает решение о **выборе маршрута на основе сетевой политики**.

### 3.2. Протокол RIP

Протокол *RIP* для своей работы использует *алгоритм* Беллмана-Форда. Функционирование алгоритма рассмотрено на примере сети из четырех последовательно соединенных маршрутизаторов ([рис. 3.2](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.2)), где *Сеть* 1 непосредственно присоединена к маршрутизатору А, поэтому *метрика*пути к Сети 1 из А равна 0. Протокол *RIP* каждые 30 сек. рассылает обновления.



**Рис. 3.2.**Сеть последовательно соединенных маршрутизаторов

В исходном состоянии у маршрутизаторов нет никакой информации о доступных маршрутах к сетям. **После конфигурирования адресной информации и активации интерфейсов в таблице маршрутизации объявляются прямо присоединенные сети.** Например, *таблица маршрутизации* R-А ([рис. 3.2](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.2)) содержит маршруты к двум прямо присоединенным сетям, а R-B - к трем присоединенным сетям:

R-А>show ip route

...

Gateway of last resort is not set

C 192.168.10.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

C 200.5.5.0/24 is directly connected, Serial1/1

R-B>show ip route

...

Gateway of last resort is not set

C 192.168.20.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

C 200.5.5.0/24 is directly connected, Serial1/2

C 200.6.6.0/24 is directly connected, Serial1/1

*Метрика* прямо присоединенных маршрутов равна 0 (количество переходов = 0).

#### Конфигурирование протокола RIP

Конфигурирование протокола RIP производится путем использования команды router rip и сообщения протоколу **адресов непосредственно присоединенных сетей**. При обмене маршрутной информацией между маршрутизаторами обновления передаются через интерфейсы прямо присоединенных сетей и адреса этих сетей объявляются соседям. Поэтому маршрутизаторы последовательно получают от соседей информацию о всех доступных сетях автономной системы.

Обмен маршрутной информацией протокол RIP производит периодически каждые 30 секунд. Таким образом, спустя некоторое время таблица маршрутизации каждого маршрутизатора будет содержать не только информацию о непосредственно присоединенных сетях, но и о путях к удаленным сетям. Ниже приведен пример конфигурирования протокола RIPv1 на маршрутизаторе R-В сети [рис. 3.2](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.2).:

R-В(config)#router rip

R-В(config-router)#network 200.5.5.0

R-В(config-router)#network 200.6.6.0

R-В(config-router)#network 192.168.20.0

В приведенном примере по командам network перечислены три сети, непосредственно присоединенные к маршрутизатору. Их адреса передаются через все интерфейсы соседним маршрутизаторам. Другие маршрутизаторы конфигурируется аналогично.

Для отключения протокола RIP используется команда:

R-В(config)#no router rip

Согласно **алгоритма Беллмана-Форда** маршрутизатор **А** посылает маршрутизатору **В** информацию о пути в Сеть 1, при этом добавляется 1 к значению вектора расстояния, т.е. метрика увеличивается до единицы. Таким образом, в таблице маршрутизации **В** будет информация, что расстояние до Сети 1 равно одному переходу [120/1]:

R-B#showiproute

...

Gateway of last resort is not set

R 192.168.10.0/24 [120/1] via 200.5.5.11, 00:00:02, Serial1/2

C 192.168.20.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

C 200.5.5.0/24 is directly connected, Serial1/2

C 200.6.6.0/24 is directly connected, Serial1/1

Первый **вход** (первая строка) таблицы маршрутизации задает путь к удаленной сети назначения. В квадратных скобках таблицы кроме значения метрики отображается административное расстояние протокола (AD = 120). В строке также показан адрес следующего перехода (200.5.5.11), выходной интерфейс (S1/2) и значение таймера, настроенного на период в 30 сек., т.е. следующее обновление маршрутной информации будет через 28 сек.

Если на маршрутизаторах R-CиR-Dтакже сконфигурирован протокол RIP, то R-В посылает копию таблицы маршрутизации маршрутизатору **С**, где метрика расстояния до Сети 1 увеличивается до 2:

R-С#show ip route

...

Gateway of last resort is not set

R 192.168.10.0/24 [120/2] via 200.6.6.11, 00:00:04, Serial1/2

R 192.168.20.0/24 [120/1] via 200.6.6.11, 00:00:04, Serial1/2

C 192.168.30.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

R 200.5.5.0/24 [120/1] via 200.6.6.11, 00:00:04, Serial1/2

C 200.6.6.0/24 is directly connected, Serial1/2

C 200.7.7.0/24 is directly connected, Serial1/1

Кроме того, в результате обмена маршрутной информацией между R-B и R-Cв таблице последнего появились маршруты к Сети 2 и Сети 5, метрика которых составляет 1.

В свою очередь, маршрутизатор **С** обменивается маршрутной информацией с маршрутизатором **D**, при этом метрика пути в Сеть 1 повышается до 3, а в Сеть 2 и Сеть 5 - до 2. То есть, результирующий вектор или расстояние поэтапно увеличивается.

R-D#show ip route

...

Gateway of last resort is not set

R 192.168.10.0/24 [120/3] via 200.7.7.11, 00:00:03, Serial1/2

R 192.168.20.0/24 [120/2] via 200.7.7.11, 00:00:03, Serial1/2

R 192.168.30.0/24 [120/1] via 200.7.7.11, 00:00:03, Serial1/2

C 192.168.40.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

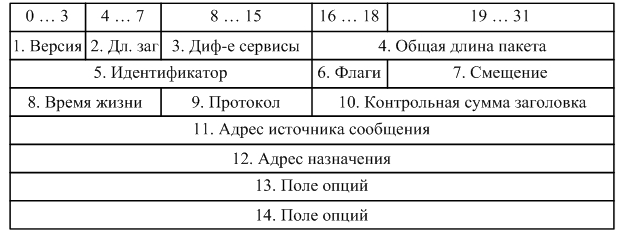
R 200.5.5.0/24 [120/2] via 200.7.7.11, 00:00:03, Serial1/2

R 200.6.6.0/24 [120/1] via 200.7.7.11, 00:00:03, Serial1/2

C 200.7.7.0/24 is directly connected, Serial1/2

Эта особенность алгоритма может приводить к появлению маршрутных петель в случае медленной конвергенции после изменений в сети. Движение пакетов по маршрутной петле теоретически может быть бесконечным. Однако в существующих протоколах имеется ряд средств, чтобы предотвратить бесконечную циркуляцию пакетов по петле маршрутизации.

1. В протоколе вектора расстояния **RIP максимальное значение метрики не может превышать 15**. Поэтому, как только при обмене маршрутной информацией возрастающая на каждом шаге движения по петле метрика достигает значения 16, сеть будет считаться недостижимой и пакет отбрасывается.
2. В **заголовке сетевого протокола IP** имеется поле времени жизни TTL, которое декрементируется при прохождении каждого маршрутизатора. Таким образом, число устройств, через которые может пройти пакет, ограничено. При обнулении значения TTL маршрутизатор отбрасывает пакет и отправителю с помощью протокола ICMP посылается сообщение о недостижимости сети.



Формат заголовка пакета IPv4

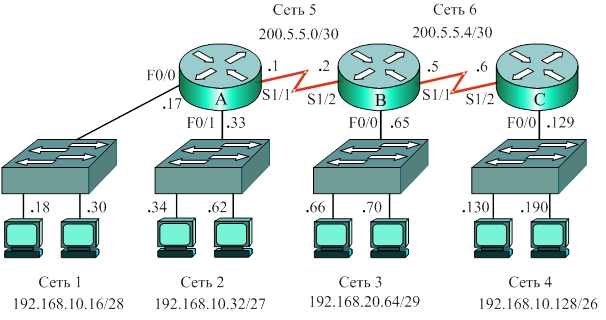
1. **Принцип расщепления горизонта** (split horizon) указывает, что **нельзя посылать информацию** маршрутизатору о недостижимости сети **в обратном направлении**, т.е. запрещается пересылать обновления на тот же интерфейс, откуда первоначально была получена информация о состоянии соединения.
2. **Пометка недоступного маршрута запрещенной метрикой** (route poisoning). В этом случае маршрутизатор сразу же после получения сообщения о недостижимости какой-то сети, включает в соответствующую строку таблицы маршрутизации запрещенное значение метрики, равное 16. Обычно этот метод используется совместно с принципом расщепления горизонта и механизмом мгновенной рассылки объявлений об изменении топологии сети.
3. Согласно **метода мгновенных обновлений** (triggered update) их рассылка производится сразу, как только маршрутизатор обнаружит какие-либо изменения в сети, не дожидаясь окончания периода обновления. Последующие маршрутизаторы также мгновенно рассылают информацию об изменении в сети. Это приводит к ускорению конвергенции сети.
4. **Таймер удержания информации** (holddown timer) запускается на маршрутизаторе, когда от соседнего устройства приходит информация о том, что ранее доступная сеть становится недоступной. Это дает больше времени для распространения информации об изменениях по всей сети. При этом возможны разные варианты действия протокола вектора расстояния:

|  |  |
| --- | --- |
| а) | если до истечения времени таймера удержания информации от того же устройства приходит обновление, что сеть снова стала достижимой, то протокол помечает сеть как доступную и выключает таймер; |
| б) | если до истечения времени таймера приходит обновление от другого маршрутизатора с лучшей метрикой, чем была ранее, то протокол помечает сеть как доступную и выключает таймер; |
| в) | если до истечения времени таймера приходит обновление от другого маршрутизатора с худшей метрикой, то это обновление игнорируется. |

Таким образом, указанные меры борьбы с маршрутными петлями позволяют маршрутизаторам избегать их. Однако время конвергенции протокола RIP велико, по сравнению с протоколами состояния канала link-state. Поэтому протокол RIP используется только в малых сетях. Однако у названного протокола есть важное достоинство. Для его функционирования требуется существенно меньше объем оперативной памяти и меньшее быстродействие центрального процессора. Поэтому данный протокол остается востребованным, он разработан и для IPv6.

Протокол вектора расстояния **RIP** не включает в обновления маршрутизации информацию о маске подсети (о префиксе), поэтому является протоколом маршрутизации на основе **адресов полного класса** (classfull), что является главным недостатком протокола.

В случае не корректно спроектированной сети, содержащей разделенные подсети одной сети полного класса, применение протокола RIPможет привести к проблемам маршрутизации. Примером не корректно спроектированной сети является схема [рис. 3.3](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.3).



**Рис. 3.3.**Пример составной сети

Из [рис. 3.3](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.3) следует, что Сеть 1 (192.168.10.16/28), Сеть 2 (192.168.10.32/27) и Сеть 4 (192.168.10.128/26) являются подсетями сети 192.168.10.0/24. Причем, Сети 1, 2 и Сеть 4 разделены Сетью 5 и Сетью 6. Конфигурирование адресов интерфейсов и протокола RIP приведено на примере маршрутизатора R-A:

R\_А(config)#router rip

R\_А(config-router)#network 192.168.10.16

R\_А(config-router)#network 192.168.10.32

R\_А(config-router)#network 200.5.5.0

R-А#show run

...

interface FastEthernet0/0

ip address 192.168.10.17 255.255.255.240

duplex auto

speed auto

!

interface FastEthernet0/1

ip address 192.168.10.33 255.255.255.224

duplex auto

speed auto

!

interface Serial1/1

ip address 200.5.5.1 255.255.255.252

clock rate 64000

!

router rip

network 192.168.10.0

network 200.5.5.0

Поскольку RIP относится к протоколам типа **classfull**, то он объединяет отдельные подсети в рамках сети полного класса, в данном случае сети класса С, что можно увидеть из распечатки команды show running-config. Две подсети (192.168.10.16 и 192.168.10.32), которые были заданы при конфигурировании, протокол RIP объединил в сеть класса С (network 192.168.10.0).

R-А#show ip route

...

Gateway of last resort is not set

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks

C192.168.10.16/28 is directly connected, FastEthernet0/0

C 192.168.10.32/27 is directly connected, FastEthernet0/1

R 192.168.20.0/24 [120/1] via 200.5.5.2, 00:00:05, Serial1/1

200.5.5.0/30 is subnetted, 2 subnets

C 200.5.5.0 is directly connected, Serial1/1

R 200.5.5.4 [120/1] via 200.5.5.2, 00:00:05, Serial1/1

Из распечатки команды sh ip route следует, что сеть 192.168.10.0/24 разделена на две непосредственно присоединенных подсети с масками разной длины: 192.168.10.16/28 и 192.168.10.32/27. При этом сеть полного класса 192.168.10.0/24 называется **родительской**, а подсети 192.168.10.16/28 и 192.168.10.32/27 - **дочерними**.

Кроме того, в таблице маршрутизации R-А([рис. 3.3](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.3)) отсутствует маршрут к сети 192.168.10.128/26.Поскольку протокол RIPв своих обновлениях не передает маску подсети, то подсеть 192.168.10.128/26объединена в рамках сети 192.168.10.0/24. Из-за отсутствия в таблице маршрутизации R-А маршрута к сети 192.168.10.128/26 "пингование" интерфейса 192.168.10.129 - неудачное:

R-А>ping 192.168.10.129

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.129, timeout is 2 seconds:

.....

Success rate is 0 percent (0/5)

Конфигурирование маршрутизатора В дало следующий результат:

R-В#show ip route

...

Gateway of last resort is not set

R 192.168.10.0/24 [120/1] via 200.5.5.1, 00:00:15, Serial1/2

[120/1] via 200.5.5.6, 00:00:02, Serial1/1

192.168.20.0/29 is subnetted, 1 subnets

C 192.168.20.64 is directly connected, FastEthernet0/0

200.5.5.0/30 is subnetted, 2 subnets

C 200.5.5.0 is directly connected, Serial1/2

C 200.5.5.4 is directly connected, Serial1/1

Протокол RIP объединил две подсети 200.5.5.0/30 и 200.5.5.4/30 в сеть **network 200.5.5.0**, поэтому в таблице маршрутизации R-В имеется два маршрута к сети 192.168.10.0/24, причем, один путь направлен влево через интерфейс 200.5.5.1, а другой вправо через 200.5.5.6. Поскольку оба пути характеризуются одинаковой метрикой, равной 1, то протокол RIP использует **баланс маршрутов** и поочередно посылает пакеты через два разных интерфейса одному адресату назначения, например - 192.168.10.17. Поэтому один пакет доходит до адресата, а второй - нет:

R-В#ping 192.168.10.17

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.10.17, timeout is 2 seconds:

!U!.!

Success rate is 60 percent (3/5), round-trip min/avg/max = 34/59/59 ms

Пакеты эхо запроса поочередно попадают, то к адресату назначения (ответ !), то направляются в другую сторону, где устройство назначения недоступно (U) или время ожидания превышает допустимое (.).

В таблице маршрутизации R-С отсутствует маршрут к подсетям 192.168.10.16/28 и 192.168.10.32/27, поскольку они объединены с подсетью 192.168.10.128/26 в рамках одной родительской сети 192.168.10.0:

R\_С#show ip route

...

192.168.10.0/26 is subnetted, 1 subnets

C 192.168.10.128 is directly connected, FastEthernet0/0

R 192.168.20.0/24 [120/1] via 200.5.5.5, 00:00:03, Serial1/2

200.5.5.0/30 is subnetted, 2 subnets

R 200.5.5.0 [120/1] via 200.5.5.5, 00:00:03, Serial1/2

C 200.5.5.4 is directly connected, Serial1/2

Таким образом, в некорректно спроектированной сети ([рис. 3.3](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.3)) подсети 192.168.10.16/28, 192.168.10.32/27 и 192.168.10.128/26 разделены (или, по-другому, разобщены) сетями 200.5.5.0/30 и 200.5.5.4/30. При использовании протокола RIP в такой сети ее работоспособность нарушена. Это происходит из-за того, что протокол RIP в своих **обновлениях** маршрутной информацией не передает значения маски подсетей и суммирует адреса подсетей в рамках сети полного класса.

### Протоколы RIP-2 и RIPng

Для обеспечения бесклассовой междоменной маршрутизации **CIDR** и возможности использования сетевых масок переменной длины **VLSM**разработан и эксплуатируется протокол вектора расстояния **RIPv2**, который в обновлениях передает не только *адрес* сети назначения, но и *значение* **маски подсети**, а также **адрес следующего перехода**.

При этом используется *значение* маски интерфейса, к которому присоединена *сеть*, поэтому *маска* при конфигурировании не задается, также как в RIPv1. Обмен маршрутной информацией происходит с использованием сегментов *UDP* (*адрес* порта 250). Кроме того, протокол RIPv2 поддерживает **механизм аутентификации** для обеспечения безопасности модификации таблиц. Остальные параметры RIPv2 такие же, как у протокола RIPv1.

При конфигурировании RIPv2 на маршрутизаторах А, В, С ([рис. 3.3](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.3)) необходимо дополнительно указать, что используется протокол версии 2. Например, при конфигурировании маршрутизатора А:

R\_А(config)#router rip

R\_А(config-router)#version 2

R\_А(config-router)#network 192.168.10.16

R\_А(config-router)#network 192.168.10.32

R\_А(config-router)#network 200.5.5.0

Кроме того, чтобы не корректно спроектированная *сеть* ([рис. 3.3](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.3)) функционировала, необходимо отменить автоматическое суммирование маршрутов. Автоматическое суммирование дает возможность сократить число входов (строк) таблицы маршрутизации, что ускоряет процесс обработки адресов назначения маршрутизатором. При этом вместо адресов нескольких подсетей будет задан один агрегированный (объединенный) *адрес*. Однако в случае не корректно спроектированной сети ([рис. 3.3](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.3)) подсети 192.168.10.16/28, 192.168.10.32/27 и 192.168.10.128/26 будут объединены в рамках адреса 192.168.10.0/24 сети полного класса, поэтому работоспособность сети будет нарушена, также как в случае функционирования протокола RIPv1.

Для нормального функционирования RIPv2 в сети ([рис. 3.3](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.3)) достаточно отменить режим автосуммирования на всех маршрутизаторах:

R\_А(config)#router rip

R\_А(config-router)#version 2

R\_А(config-router)#no auto-summary

Работоспособность сети проверяется *по* командам show run, show ip route, ping, tracert, traceroute. Ниже приведена распечатка таблицы маршрутизации R-B:

R-В#show ip route

...

Gateway of last resort is not set

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks

R 192.168.10.16/28 [120/1] via 200.5.5.1, 00:00:21, Serial1/2

R 192.168.10.32/27 [120/1] via 200.5.5.1, 00:00:21, Serial1/2

R 192.168.10.128/26 [120/1] via 200.5.5.6, 00:00:24, Serial1/1

192.168.20.0/29 is subnetted, 1 subnets

C 192.168.20.64 is directly connected, FastEthernet0/0

200.5.5.0/30 is subnetted, 2 subnets

C 200.5.5.0 is directly connected, Serial1/2

C 200.5.5.4 is directly connected, Serial1/1

R-В#

Поскольку на R-Bи на соседних маршрутизаторах сконфигурирован протокол RIPv2 и отменен режим автоматического суммирования маршрутов, то в таблицах существуют маршруты к адресам подсетей с масками переменной длины.

Распечатка показывает, что **родительская сеть** 192.168.10.0/24 включает три **дочерние подсети** (192.168.10.16/28, 192.168.10.32/27, 192.168.10.128/26) с масками переменной длины. Родительская *сеть* 200.5.5.0/30 включает дведочерние подсети (200.5.5.0, 200.5.5.4) с масками одинаковой длины, поэтому *префикс* (/30) задан для родительской сети.

Пути к сетям, *маска* которых равна или меньше маски сети полного класса, называются маршрутами **уровня 1**. Примером маршрута уровня 1 из приведенной распечатки является *маршрут* к прямо присоединенной сети (C 192.168.20.64 is directly connected, FastEthernet0/0). *Путь* к родительской сети 192.168.10.0/24 тоже является маршрутом уровня 1. К маршрутам уровня 1 также относятся маршруты *по*умолчанию и маршруты к объединенным сетям (supernet).

Пути к дочерним сетям являются маршрутами **уровня 2**.

Выбор маршрута осуществляется на **принципе максимально длинного совпадения сетевой части адреса назначения пакета и строки таблицы маршрутизации.**

Если в маршруте указан *адрес* следующего перехода или выходной *интерфейс*, то такой *маршрут* называет **окончательным** (*ultimate*). Например, *маршрут* R 192.168.10.16/28 [120/1] via 200.5.5.1, 00:00:21, Serial1/2 является окончательным.

Важную информацию об используемом протоколе дает распечатка команды show ip protocols:

R-B>show ip protocols

Routing Protocol is "rip"

Sending updates every 30 seconds, next due in 21 seconds

Invalid after 180 seconds, hold down 180, flushed after 240

Outgoing update filter list for all interfaces is not set

Incoming update filter list for all interfaces is not set

Redistributing: rip

Default version control: send version 2, receive 2

Interface Send Recv Triggered RIP Key-chain

FastEthernet0/0 2 2

Serial1/1 2 2

Serial1/2 2 2

Automatic network summarization is not in effect

Maximum path: 4

Routing for Networks:

192.168.20.0

200.5.5.0

Passive Interface(s):

Routing Information Sources:

Gateway Distance Last Update

200.5.5.1 120 00:00:16

200.5.5.6 120 00:00:03

Distance: (default is 120)

Из распечатки следует, что используется протокол *RIP* с административным расстоянием 120. Распечатка показывает, что это протокол RIPv2, который посылает и принимает обновления версии 2 (send version 2, receive 2) через все свои интерфейсы. Автоматическое суммирование выключено. *Маршрутизация* реализована для присоединенных сетей 192.168.20.0 и 200.5.5.0, пассивные интерфейсы отсутствуют. Шлюзами для пересылки пакетов являются 200.5.5.1 и 200.5.5.6.

Через **пассивный интерфейс** *маршрутизатор* может получать обновления, но отправлять обновления не может. В остальном - это обычный *интерфейс*, через который передаются пакеты данных. Например, в схеме [рис. 3.3](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=2#image.3.3) через *интерфейс* F0/0 нет смысла передавать обновления из маршрутизатора R-B, поскольку в локальной сети 3 (192.168.20.64/29) нет маршрутизаторовRIP. Поэтому *интерфейс* F0/0 можно сконфигурировать как *пассивный*:

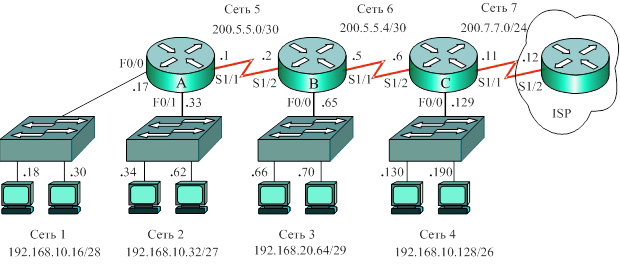
R-B(config)#router rip

R-B(config-router)#passive-interface f0/0

*Команда* passive-interface default делает все интерфейсы пассивными. Отмена пассивного режима интерфейса производится *по* команде no passive-interface.

Следует отметить, что *команда* passive-interface используется и в других протоколах маршрутизации.

При рассмотрении статической маршрутизации отмечалось, что на граничных с сетью *ISP* маршрутизаторах (R-C на [рис. 3.4](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=3#image.3.4)) обычно конфигурируется статический *маршрут* *по* умолчанию.



**Рис. 3.4.**Пример распределенной сети

Например, в сети [рис. 3.4](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=3#image.3.4) такой *маршрут* о умолчанию формируется на маршрутизаторе R-C:

R-С(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 200.7.7.12

При этом *таблица маршрутизации* R-C будет включать *маршрут* *по* умолчанию, который помечен символом S\*:

R-С#>sh ip route

...

Gateway of last resort is 200.7.7.12 to network 0.0.0.0

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks

R 192.168.10.16/28 [120/2] via 200.5.5.5, 00:00:19, Serial1/2

R 192.168.10.32/27 [120/2] via 200.5.5.5, 00:00:19, Serial1/2

C 192.168.10.128/26 is directly connected, FastEthernet0/0

192.168.20.0/29 is subnetted, 1 subnets

R 192.168.20.64 [120/1] via 200.5.5.5, 00:00:19, Serial1/2

200.5.5.0/30 is subnetted, 2 subnets

R 200.5.5.0 [120/1] via 200.5.5.5, 00:00:19, Serial1/2

C 200.5.5.4 is directly connected, Serial1/2

C 200.7.7.0/24 is directly connected, Serial1/1

S\* 0.0.0.0/0 [1/0] via 200.7.7.12

После создания маршрута *по* умолчанию в таблице маршрутизации формируется *шлюз* последней надежды (Gateway of last resort is 200.7.7.12 to network 0.0.0.0).

Чтобы не конфигурировать маршруты *по* умолчанию на R-А и R-В, на них можно распространить уже созданный *маршрут* *по* следующей команде:

R-С(config)#router rip

R-С(config-router)#default-information originate

При этом в таблицах маршрутизации R-А и R-В будет сформирован *маршрут* *по* умолчанию, помеченный символом R\*:

R-В>sh ip route

...

Gateway of last resort is 200.5.5.6 to network 0.0.0.0

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks

R 192.168.10.16/28 [120/1] via 200.5.5.1, 00:00:22, Serial1/2

R 192.168.10.32/27 [120/1] via 200.5.5.1, 00:00:22, Serial1/2

R 192.168.10.128/26 [120/1] via 200.5.5.6, 00:00:06, Serial1/1

192.168.20.0/29 is subnetted, 1 subnets

C 192.168.20.64 is directly connected, FastEthernet0/0

200.5.5.0/30 is subnetted, 2 subnets

C 200.5.5.0 is directly connected, Serial1/2

C 200.5.5.4 is directly connected, Serial1/1

R\* 0.0.0.0/0 [120/1] via 200.5.5.6, 00:00:06, Serial1/1

R-А>sh ip route

...

Gateway of last resort is 200.5.5.2 to network 0.0.0.0

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks

C 192.168.10.16/28 is directly connected, FastEthernet0/0

C 192.168.10.32/27 is directly connected, FastEthernet0/1

R 192.168.10.128/26 [120/2] via 200.5.5.2, 00:00:07, Serial1/1

192.168.20.0/29 is subnetted, 1 subnets

R 192.168.20.64 [120/1] via 200.5.5.2, 00:00:07, Serial1/1

200.5.5.0/30 is subnetted, 2 subnets

C 200.5.5.0 is directly connected, Serial1/1

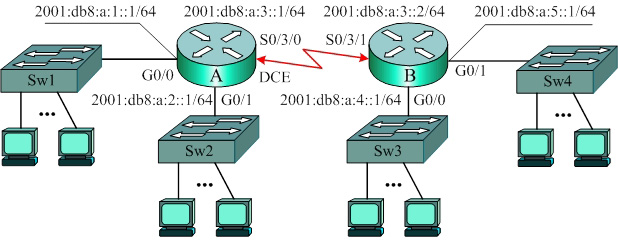
R 200.5.5.4 [120/1] via 200.5.5.2, 00:00:07, Serial1/1

R\* 0.0.0.0/0 [120/2] via 200.5.5.2, 00:00:07, Serial1/1

То есть, *маршрут* R\* распространен протоколом *RIP*. Аналогичные *механизмы* есть и в других протоколах.

#### Протокол RIPng

Для работы в сетях IPv6 на базе RIPv2 разработан **протокол RIPng** с административным расстоянием AD = 120 и допустимым количеством переходов - 15. Конфигурирование протокола RIPng приведено на примере сети [рис. 3.5](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=4#image.3.5), где сформировано пять подсетей (2001:db8:a:1::/64, 2001:db8:a:2::/64, 2001:db8:a:3::/64, 2001:db8:a:4::/64, 2001:db8:a:5::/64).



**Рис. 3.5.**Пример сети IPv6

Для работы любого маршрутизирующего протокола в сети IPv6 необходимо разрешить маршрутизаторам передачу пакетов сетевого протокола IPv6, для чего используется команда:

R-A(config)#ipv6 unicast-routing

Формирование маршрутизирующего протокола RIPng производится в режиме конфигурирования интерфейса, что является главным отличием RIPng от RIP-2. При этом используется следующая последовательность команд:

R-A(config)#int1g0/0

R-A(config-if)#ipv6 rip RIP6 enable

где RIP6 - доменное имя протокола.

Аналогично настраиваются все другие интерфейсы маршрутизаторов сети. Таким образом, при конфигурировании RIPng прямо присоединенные сети по команде network не задаются. Протокол конфигурируется на каждом интерфейсе.

Сетевой протокол IPv6 является бесклассовым, поэтому все пути в таблице маршрутизации являются окончательными маршрутами уровня 1.

**3.4. Протокол EIGRP**

В настоящее время на аппаратуре Cisco рекомендовано использовать расширенный дистанционно-векторный маршрутизирующий протокол (*Enhanced* Interior *Gateway* *Routing* *Protocol* - **EIGRP**). Административное *расстояние* *EIGRP* равно 90 (см. [табл. 1.1](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=5)). Протокол *EIGRP*используется внутри автономных систем (АS), в которых группы маршрутизаторов разделяют маршрутную информацию (см. [рис. 3.1](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=1#image.3.1)). Протокол обеспечивает до 255 переходов, в отличие от протокола *RIP*, который обеспечивает 15 переходов.

Автономные системы объединяют сети под общим административным управлением. Поскольку все маршрутизаторы в АS должны совместно использовать маршрутную информацию, то у них конфигурируется одинаковый **номер автономной системы**.

При формировании маршрутов протокол *EIGRP* использует специально разработанный для этих целей **алгоритм** (Diffusing *Update* *Algorithm* - **DUAL**). Согласно алгоритма *DUAL* протокол *EIGRP* не проводит периодический обмен объемными обновлениями (*update*) маршрутной информации, а использует небольшие **пакеты Hello** для контроля связи с соседними маршрутизаторами (**механизм keepalive**).

Обмен маршрутной информацией производится только при возникновении изменений в сети (появление новых связей, недоступных узлов и сетей, изменение метрики). При обмене используется групповой *адрес* 224.0.0.10, в отличие от протокола *RIP*, который использует широковещательный *адрес* 255.255.255.255. Причем, производится обмен **неполной** (partial) маршрутной информацией, касающейся только изменений в сети, и с **ограниченным** (bounded) числом тех маршрутизаторов, которых затрагивают эти изменения. Кроме того, *алгоритм**DUAL* не использует таймеры удержания информации *holddown* (см. ["Динамическая маршрутизация"](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155)), как это делает *алгоритм* Беллмана-Форда протокола *RIP*. Поэтому **сходимость** (*convergence*) сетей *EIGRP* более быстрая.

При обмене маршрутной информацией алгоритма *DUAL* создает топологическую таблицу, в которой хранятся не только наилучшие маршруты, но и *альтернативные*. При выходе из строя основного маршрута *алгоритм* *DUAL* использует резервный из топологической таблицы без дополнительных вычислений и обмена с другими маршрутизаторами. Это также ускоряет *сходимость*.

Протоколы маршрутизации используют метрику, чтобы определить кратчайший *маршрут* к устройству назначения. **Метрика протоколаEIGRP**учитывает совокупность параметров. *Алгоритм* DUALпротокола рассчитывает *значение* метрики для каждого пути через *сеть*. Меньшее число указывает лучший *маршрут*. **Полоса пропускания** и **задержка** являются статическими параметрами метрики, они остаются неизменными для каждого интерфейса, пока не будет перестроена *сеть* или реконфигурирован *маршрутизатор*. Параметры **загрузка** (*load*) и **надежность**(*reliability*) являются динамическими, они могут рассчитываться маршрутизатором для каждого интерфейса в реальном времени.

Чем больше факторов, которые составляют метрику, тем больше гибкость протокола, чтобы учитывать особенности сети. *По* умолчанию, протокол **EIGRP использует статические параметры (полосу пропускания и задержки)**, чтобы вычислить *значение* метрики. Но при вычислении метрики могут также использоваться динамические факторы загрузки и надежности, т.е. *маршрутизатор* может принять решение, основанное на текущем состоянии сети. Если соединение становится сильно загруженным или ненадежным, *метрика* увеличится. При этом может использоваться запасной *маршрут*.

Для вычисления метрики М протоколов *IGRP*, *EIGRP* используется следующая обобщенная формула:

M = [k1 \* *Bandwidth* + (k2 \* *Bandwidth*)/(256-*load*) + k3\*Delay] \* [k5/(*reliability* + k4)],

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| где | \* | - | обобщенный оператор, |
|  | k | - | коэффициенты, которые могут принимать значения 0 или 1. |

*По* умолчанию *коэффициенты* k1 = k3 = 1 и k2 = k4 = k5 = 0, при этом *метрика* *EIGRP* вычисляется следующим образом:

\text{Метрика} = (10 000 000/Bandwidth + \Sigma delay/10)\times 256

При вычислении значения метрики **полоса пропускания (Bandwidth)** задается в **кбит/с**, а **суммарная задержка** - в **мкс**. **Задержка**определяется **типом выходного интерфейса** маршрутизатора и технологией среды передачи данных. Задержка интерфейсов FastEthernet равна 100 мкс, *Ethernet* - 1000 мкс, интерфейсов первичных потоков Е1, Т1 - 20 000 мкс. Задержка интерфейсов ОЦК (64 кбит/с) также составляет 20 000 мкс.

**Метрика маршрута, состоящего из нескольких соединений, определяется полосой пропускания самого "медленного" соединения и суммарной задержкой всех выходных интерфейсов маршрутизаторов.**

Например, если сообщение передается с узла локальной сети через *интерфейс* FastEthernet маршрутизатора и далее через последовательный *интерфейс*, предназначенный для передачи первичного цифрового потока с полосой пропускания 2048 кбит/с, то *метрика* будет равна:

10^7 \times\cdot 256/2048 + (20 000 + 100) \times\cdot 256/10 = 125\cdot104 + 514560 = **1 764 560**.

*Метрика* соединения со скоростью передачи 64 кбит/с будет равна 40 \cdot 10^6, а при скорости 128 кбит/с *метрика* - 20 \cdot 10^6.*По*умолчанию на соединениях задана либо скорость 128 кбит/с, либо скорость Е1 или Т1.

Значения коэффициентов k1, k2, k3, k4, k5 можно изменить *по* команде:

Router(config-router)#metric weights tosk1 k2 k3 k4 k5

Значения k1, k2, k3, k4, k5 передается в пакете протокола *EIGRP*.

**Заголовок пакета EIGRP** располагается следом за заголовком IP-пакета и содержит код типа пакета, номер автономной системы. В самом *EIGRP*-пакете содержится *информация* о значениях коэффициентов k1, k2, k3, k4, k5,задержки, ширины полосы пропускания, надежности, загрузки, префиксе, т.е. о маске переменной длины и другая *информация*.

Особенностью протокола *EIGRP* является использование собственного **протокола надежной доставки** (*Reliable* *Transport* *Protocol* - **RTP**), поскольку *EIGRP* взаимодействует не только с IP-протоколом, но и с протоколами *IPX*, Apple-Talk, которые не поддерживают *TCP* и *UDP*. Протокол надежной доставки *RTP* может работать с подтверждением доставки (*reliable*) и без подтверждения (unreliable).

Для обмена информацией между маршрутизаторами протокол *EIGRP* использует пять типов пакетов:

1. Hello
2. Update
3. Acknowledgment
4. Query
5. Replay

**Hello**-пакеты используются, чтобы поддерживать **отношения смежности** (*adjacency*) между соседними устройствами. Они передаются периодически с использованием многоадресного режима(*адрес* 224.0.0.10) и без подтверждения доставки. В большинстве случаев период рассылки Hello-пакетов составляет 5 сек. Если в течение утроенного периода времени рассылки Hello-пакет не будут получены, то это будет означать, что *связь* с устройством потеряна. Результатом обмена Hello-пакетами является построение таблицы соседних устройств (Neighbor *Table*). **Таблицу соседних устройств**, например, маршрутизатора R-B ([рис. 3.6](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=5#image.3.6)) можно посмотреть *по* команде:

R\_В#show ip eigrp neighbors

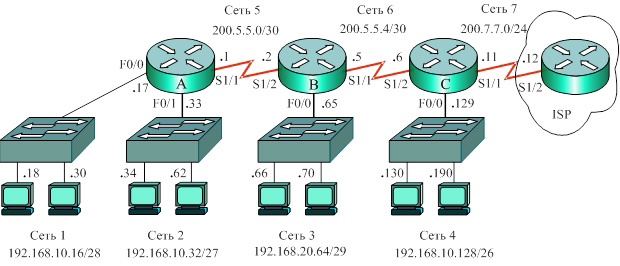
IP-EIGRP neighbors for process 1

H Address Interface Hold Uptime SRTT RTO Q Seq

(sec) (ms) Cnt Num

0 200.5.5.1 Ser1/2 10 00:01:09 40 500 0 12

1 200.5.5.6 Ser1/1 11 00:01:09 40 500 0 17



**Рис. 3.6.**Сеть с протоколом EIGRP

В таблице указаны адреса входных интерфейсов соседних маршрутизаторов (Address), типы собственных выходных интерфейсов (*Interface*), *значение* текущего времени (Holdtime) и другая *информация*.

Второй тип **пакетовUpdate** рассылается не периодически, а только *по* мере возникновения изменений в сети. Пакеты могут рассылаться в одноадресном (*unicast*) или многоадресном (multiicast) режиме. Рассылка пакетов *Update* проводится с **подтверждением доставки**(*Acknowledgment*), сами пакеты подтверждения *Acknowledgment* рассылаются в одноадресном режиме без подтверждения доставки.

Пакеты **Query** и **Replay** используются алгоритмом *DUAL* для начального создания топологии сети и при ее изменениях. При этом всегда применяется надежная доставка. Пакеты Query могут рассылаться в одноадресном или многоадресном режимах, Replay - всегда в одноадресном.

Для эффективного функционирования помимо **таблицы соседних устройств** (Neighbor *Table*) протокол *EIGRP* строит и поддерживает **таблицу топологии** сети (*Topology* *Table*) и **таблицу маршрутизации** (*Routing* *Table*). При любых изменениях топологии, которые фиксируются в таблицах соседних устройств и топологии сети, *алгоритм* *DUAL* либо включает в таблицу маршрутизации запасные маршруты из таблицы топологии, либо вычисляет новые маршруты и затем включает их в таблицу маршрутизации. *Алгоритм* *DUAL* обеспечивает *вычисление***маршрутов свободных от маршрутных петель** (loop-free).

#### Конфигурирование протокола EIGRP

Составная сеть ([рис. 3.6](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=5#image.3.6)) может быть интерпретирована, как автономная система, например, номер 30. Адреса сетей, интерфейсов и узлов составной сети приведены на схеме. При адресации типа classless в сетях EIGRP можно адресовать подсети с использованием масок переменной длины, поскольку протокол EIGRP передает значение масок в своих пакетах Update. Причем используется **маска переменной длины типа wildcard-mask**. Подобная маска получается путем инвертирования обычной маски подсети. Если при конфигурировании ввести обычную маску, то операционная система IOS исправит маску на инвертированную, например, маску 255.255.255.240операционная система исправит на 0.0.0.15, что будет отображено по команде show running-config.

Ниже приведен пример конфигурирования на маршрутизаторах А, В, С протокола EIGRP. Активизация протокола EIGRP производится командой router eigrp 30 в режиме глобального конфигурирования с указанием номера автономной системы (в данном примере 30). После перехода маршрутизатора в режим детального конфигурирования вводятся адреса непосредственно присоединенных сетей с указанием инвертированной маски.

Маршрутизатор R\_А:

R\_A(config)#router eigrp 30

R\_A(config-router)#network 192.168.10.16 0.0.0.15

R\_A(config-router)#network 192.168.10.32 0.0.0.31

R\_A(config-router)#network 200.5.5.0 0.0.0.3

Маршрутизатор R\_B:

R\_В(config)#router eigrp 30

R\_В(config-router)#network 192.168.20.64 0.0.0.7

R\_В(config-router)#network 200.5.5.0 0.0.0.3

R\_В(config-router)#network 200.5.5.4 0.0.0.3

Маршрутизатор R\_С:

R\_С(config)#router eigrp 30

R\_С(config-router)#network 192.168.10.128 0.0.0.63

R\_С(config-router)#network 200.5.5.4 0.0.0.3

Результат конфигурирования можно посмотреть по команде show ip route. Ниже приведены распечатки таблиц маршрутизации всех маршрутизаторов. Маршруты, созданные протоколом EIGRP, помечены символом D.

Таблица маршрутизации R\_А:

R\_А#sh ip route

...

Gateway of last resort is not set

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 3 masks

D 192.168.10.0/24 is a summary, 00:02:05, Null0

C 192.168.10.16/28 is directly connected, FastEthernet0/0

C 192.168.10.32/27 is directly connected, FastEthernet0/1

D 192.168.20.0/24 [90/20514560] via 200.5.5.2, 00:01:05, Serial1/1

200.5.5.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks

D 200.5.5.0/24 is a summary, 00:01:27, Null0

C 200.5.5.0/30 is directly connected, Serial1/1

D 200.5.5.4/30 [90/21024000] via 200.5.5.2, 00:01:27, Serial1/1

R\_А#

Из таблицы следует, что путь в сеть 192.168.10.128/26 отсутствует, поскольку он входит в суммарный маршрут 192.168.10.0/24. Протокол EIGRP автоматически формирует суммарные маршруты, которые в таблицах отмечены интерфейсом Null0, что показывает вторая строка таблицы маршрутизации. **Пакеты, поступающие на интерфейс Null0, уничтожаются.** То есть, пакет адресованный подсети 192.168.10.128/26 при поступлении в маршрутизатор R\_А будет уничтожен.

То, что в протоколе RIP **называлось адресом следующего перехода** (next hop) или шлюзом, в терминах протокола EIGRP **называется преемником** (successor). Например, для маршрута к сети 192.168.20.0/24 (строка 5 таблицы) преемником будет интерфейс 200.5.5.2 маршрутизатора R\_В. Административное расстояние EIGRP равно 90, а метрика составляет 20514560, выходным интерфейсом маршрутизатора R\_А является Serial1/1.

Таблица маршрутизации R\_B:

R\_В#sh ip route

...

Gateway of last resort is not set

D 192.168.10.0/24 [90/20514560] via 200.5.5.1, 00:01:45, Serial1/2

[90/20514560] via 200.5.5.6, 00:00:23, Serial1/1

192.168.20.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks

D 192.168.20.0/24 is a summary, 00:01:18, Null0

C 192.168.20.64/29 is directly connected, FastEthernet0/0

200.5.5.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks

D 200.5.5.0/24 is a summary, 00:00:43, Null0

C 200.5.5.0/30 is directly connected, Serial1/2

C 200.5.5.4/30 is directly connected, Serial1/1

Из анализа таблицы маршрутизации R\_В следует, что путь в объединенную сеть192.168.10.0/24 может быть как влево через 200.5.5.1, так и вправо через 200.5.5.6, т.е. ситуация аналогична протоколу RIP.

Таблица маршрутизации Router\_С:

R\_С#sh ip route

...

Gateway of last resort is not set

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks

D 192.168.10.0/24 is a summary, 00:00:11, Null0

C 192.168.10.128/26 is directly connected, FastEthernet0/0

D 192.168.20.0/24 [90/20514560] via 200.5.5.5, 00:00:07, Serial1/2

200.5.5.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks

D 200.5.5.0/24 is a summary, 00:00:07, Null0

D 200.5.5.0/30 [90/21024000] via 200.5.5.5, 00:00:07, Serial1/2

C 200.5.5.4/30 is directly connected, Serial1/2

Из таблицы маршрутизации R\_С следует, что маршрут к сетям 192.168.10.16/28 и 192.168.10.32/27 отсутствует, вследствие того что протокол EIGRP автоматически суммировал маршруты и использовал выходной интерфейс Null0. Функцию автоматического суммирования маршрутов (auto-summary) можно видеть по команде show running-config. Например, для маршрутизатора R\_B:

R\_В#sh run

Building configuration...

...

!

router eigrp 30

network 192.168.20.64 0.0.0.7

network 200.5.5.0 0.0.0.3

network 200.5.5.4 0.0.0.3

auto-summary

!

...

Чтобы протокол EIGRP мог обеспечить маршрутизацию в сети ([рис. 3.6](https://www.intuit.ru/studies/courses/3646/888/lecture/31155?page=5#image.3.6)), необходимо отменить авто-суммирование маршрутов на всех маршрутизаторах, как в протоколе RIPv2. Например, на маршрутизаторе R\_B отмена авто-суммирования производится по следующей команде:

R\_B(config)#router eigrp 30

R\_B(config-router)#no auto-summary

Проверка подтверждает отмену авто-суммирования:

R\_В#sh run

Building configuration...

...

router eigrp 30

network 192.168.20.64 0.0.0.7

network 200.5.5.0 0.0.0.3

network 200.5.5.4 0.0.0.3

no auto-summary

...

Отмена авто-суммирования приводит к увеличению количества строк в таблице маршрутизации, что повышает нагрузку на процессор при обработке маршрутов. Однако пятая строка таблицы R\_А теперь содержит маршрут к подсети 192.168.10.128/26, которого ранее не было, что можно видеть из распечатки команд sh ip route:

R\_А#sh ip route

...

Gateway of last resort is not set

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 4 subnets, 4 masks

D 192.168.10.0/24 is a summary, 00:05:09, Null0

C 192.168.10.16/28 is directly connected, FastEthernet0/0

C 192.168.10.32/27 is directly connected, FastEthernet0/1

D 192.168.10.128/26 [90/21026560] via 200.5.5.2, 00:00:14, Serial1/1

192.168.20.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks

D 192.168.20.0/24 [90/20514560] via 200.5.5.2, 00:00:32, Serial1/1

D 192.168.20.64/29 [90/20514560] via 200.5.5.2, 00:00:32, Serial1/1

...

В остальном, таблица маршрутизации не изменилась.

Аналогичная ситуация и в маршрутизаторе R\_В. Если раньше путь в объединенную сеть 192.168.10.0/24 мог быть как влево через 200.5.5.1, так и вправо через 200.5.5.6, то после отмены авто-суммирования, путь к подсетям 192.168.10.16/28 и 192.168.10.32/27 лежит влево через интерфейс 200.5.5.1, а к подсети 192.168.10.128/26 - вправо, через 200.5.5.6.

R\_В#sh ip route

...

Gateway of last resort is not set

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 4 subnets, 4 masks

D 192.168.10.0/24 is a summary, 00:01:44, Null0

D 192.168.10.16/28 [90/20514560] via 200.5.5.1, 00:01:30, Serial1/2

D 192.168.10.32/27 [90/20514560] via 200.5.5.1, 00:01:30, Serial1/2

D192.168.10.128/26 [90/20514560] via 200.5.5.6, 00:01:13, Serial1/1

...

В остальном, таблица маршрутизации не изменилась.

В маршрутизаторе R\_С появились пути к подсетям 192.168.10.16/28 и 192.168.10.32/27:

R\_С#sh ip route

...

192.168.10.0/24 is variably subnetted, 4 subnets, 4 masks

D 192.168.10.0/24 is a summary, 00:02:18, Null0

D 192.168.10.16/28 [90/21026560] via 200.5.5.5, 00:02:02, Serial1/2

D 192.168.10.32/27 [90/21026560] via 200.5.5.5, 00:02:02, Serial1/2

C 192.168.10.128/26 is directly connected, FastEthernet0/0

192.168.20.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks

D 192.168.20.0/24 is a summary, 00:02:18, Null0

D 192.168.20.64/29 [90/20514560] via 200.5.5.5, 00:02:02, Serial1/2

200.5.5.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks

D 200.5.5.0/24 is a summary, 00:02:18, Null0

D 200.5.5.0/30 [90/21024000] via 200.5.5.5, 00:02:02, Serial1/2

C 200.5.5.4/30 is directly connected, Serial1/2

Таким образом, протокол **EIGRP** обеспечивает бесклассовую междоменную маршрутизацию **CIDR** и возможность использования сетевых масок переменной длины **VLSM**. Протокол EIGRP в обновлениях передает адрес сети назначения, значение сетевой маски подсети, а также адрес следующего перехода (шлюза).