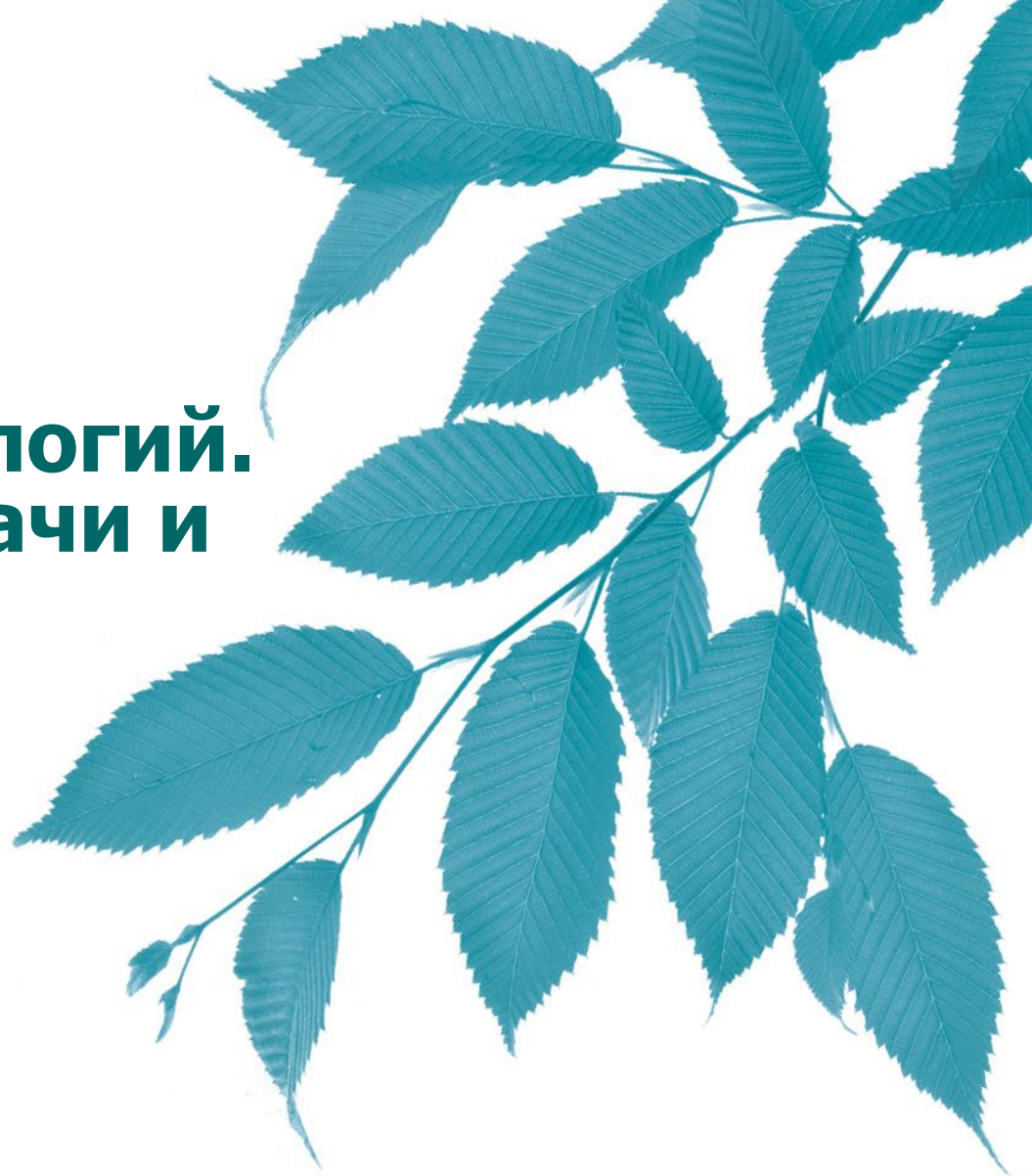


Основы сетевых технологий. Часть 1: Основы передачи и коммутации данных в компьютерных сетях

Сертификационный курс

Лекция 7

D-Link
Building Networks for People

D-Link

Лекция 7

Организация подсетей сетей IPv4 и IPv6

Лекция 7. Организация подсетей сетей IPv4 и IPv6

- Формирование IPv4-подсетей
- Бесклассовая IPv4-адресация
- Способы настройки IPv4-адреса
- Протокол IPv6
- Типы IPv6 адресов
- Формирование идентификатора интерфейса
- Способы настройки IPv6-адреса
- Планирование подсетей IPv6

Адресация сетевого уровня

Сетевой уровень

- В наиболее распространенном в настоящее время стеке протоколов TCP/IP за обработку данных на сетевом уровне отвечает ***протокол IP***, который позволяет доставлять данные в сетях TCP/IP между любыми узлами составной сети и выполняет две основные функции:
  - маршрутизация;
  - адресация узлов (IP-адресация).

- Протокол IP не гарантирует надёжной доставки пакета до адресата, эта функция выполняется протоколами более высокого уровня. Такой тип доставки данных называют *best-effort.*

Адресация сетевого уровня

В настоящее время существует две версии протокола IP:

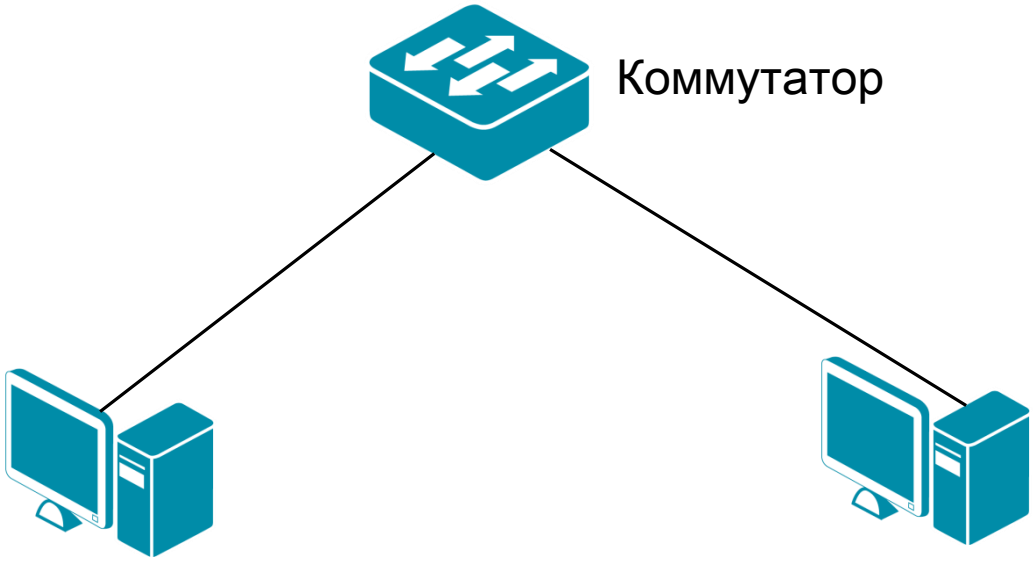
- **IP версии 4 (IPv4):**
  - описан в RFC 791 (сентябрь 1981 года), заменившем RFC 760 (январь 1980 года);
  - использует 32-битные адреса, ограничивающие адресное пространство 4 294 967 296 (2^{32}) возможными уникальными адресами.

- **IP версии 6 (IPv6):**
  - описан в серии RFC, начиная с RFC 1883;
  - использует 128-битные адреса ($3{,}4 \cdot 10^{38}$ уникальных адресов).

Адресация сетевого уровня

Обзор адресации сетевого уровня

- Каждое устройство, которое выполняет передачу данных, имеет связанный с ним **физический адрес** (MAC-адрес) на канальном уровне и назначенный ему **логический адрес** (IP-адрес) на сетевом уровне, который иногда называют *адресом третьего уровня*.



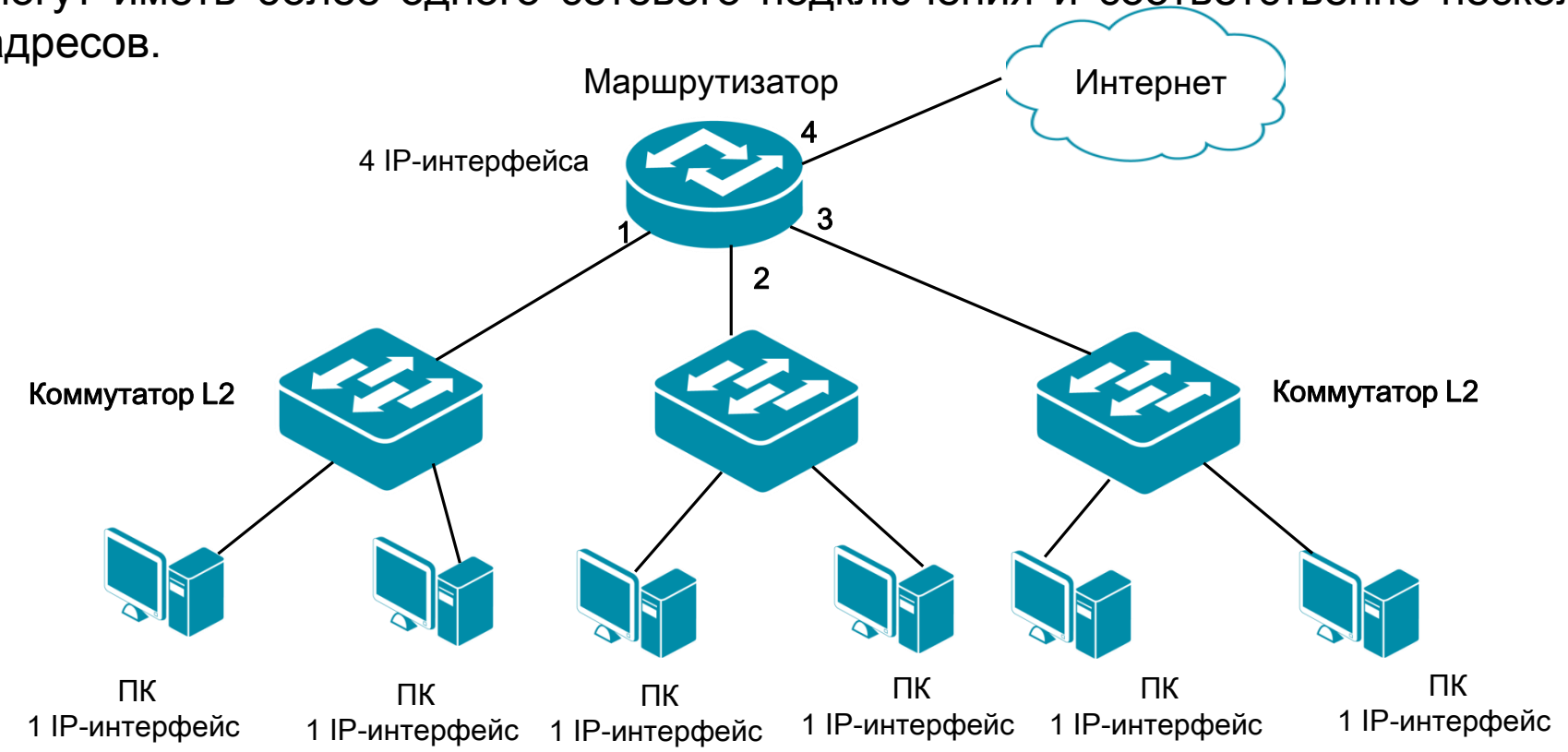
ПК 1:
Физический адрес: 11-A0-17-3D-BB-01
Логический адрес: 192.168.1.2

ПК 2:
Физический адрес: 11-A0-17-3D-BB-02
Логический адрес: 192.168.1.11

Адресация сетевого уровня

Обзор адресации сетевого уровня

- Для того чтобы устройство могло участвовать в межсетевом взаимодействии с помощью протокола IP, ему должен быть присвоен уникальный IP-адрес, который позволяет однозначно идентифицировать интерфейс между устройством и сетью.
- IP-адрес не идентифицирует непосредственно устройство.
- Некоторые устройства, например, маршрутизаторы (коммутаторы 3-го уровня), могут иметь более одного сетевого подключения и соответственно несколько IP-адресов.



Адресация сетевого уровня

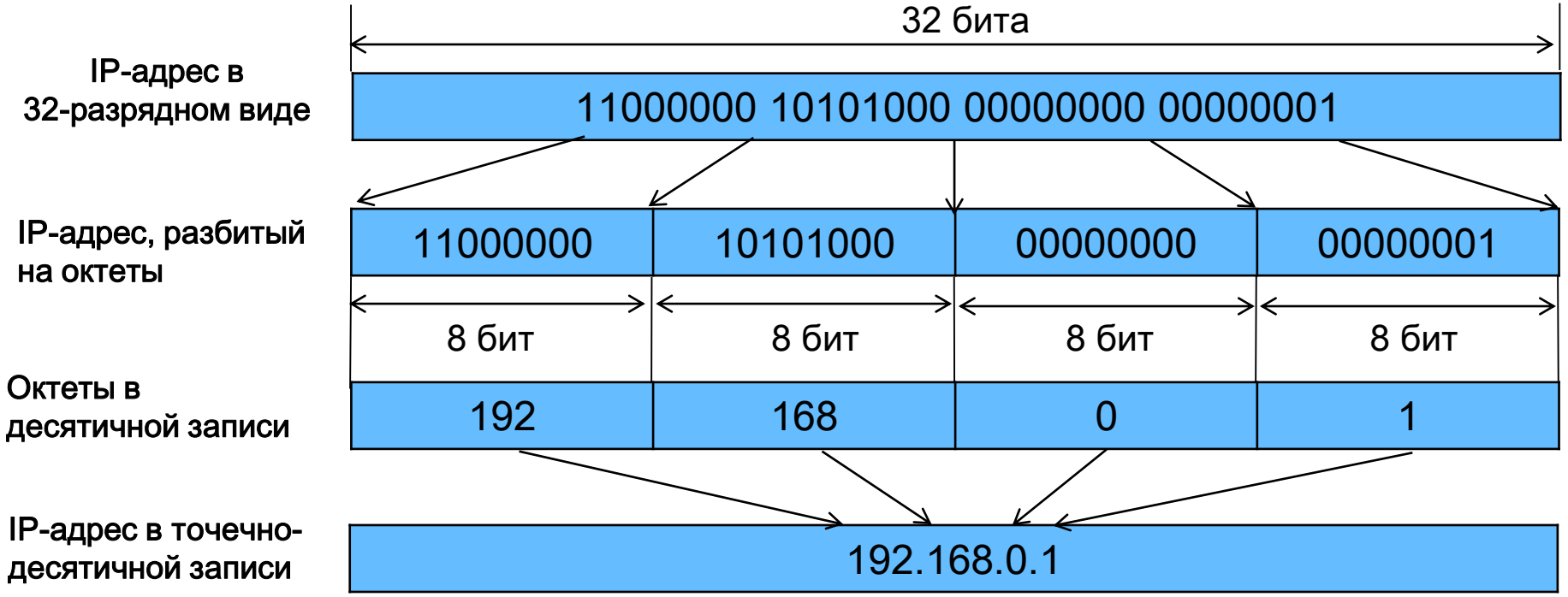
Формат пакета IPv4

- **Версия** *(Version)* — для IPv4 значение поля равно 4;
- **Длина заголовка** *(IHL, Internet Header Length)* – указывает на начало блока данных в пакете. Обычно значение для этого поля равно 5;
- **Тип сервиса** *(Type of Service)* – указывает приоритет пакета;
- **Общая длина** *(Total Length)* - общая длина пакета с учетом заголовка и поля данных;
- **Идентификатор пакета** *(Identification)* – используется для распознавания пакетов, образованных при фрагментации исходного пакета;
- **Флаги** *(Flags)* – содержит признаки, связанные с фрагментацией пакета;
- **Смещение фрагмента** *(Fragment Offset)* – значение, определяющее позицию фрагмента в потоке данных;
- **Время жизни** *(Time to Live)* – временной интервал, в течение которого пакет может перемещаться по сети маршрутизаторами;
- **Протокол** *(Protocol)* – указывает, какому протоколу верхнего уровня принадлежит информация, размещенная в поле данных пакета;
- **Контрольная сумма** *(Header Checksum)* – рассчитывается только по заголовку и позволят определить целостность пакета;
- **IP-адрес источника** *(Source IP Address)* и **IP-адрес назначения** *(Destination IP Address)* – указывают отправителя и получателя пакета;
- **Опции** *(Options)* – необязательное поле, используется при отладке сети.

Адресация сетевого уровня

Представление IPv4-адреса

- Адрес IPv4 представляет собой 32-разрядное (4 байта) двоичное поле. Для удобства восприятия и запоминания этот адрес разделяют на 4 части по 8 бит (октеты), каждый октет переводят в десятичное число и при записи разделяют точками. Это представление адреса называется ***десятично-точечной нотацией***.



Адресация сетевого уровня

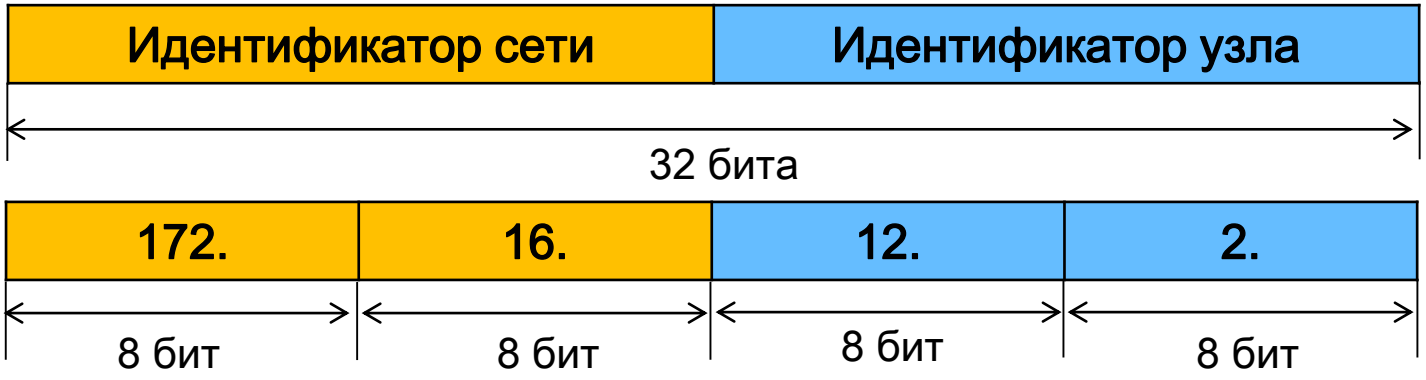
Преобразование октета из двоичного вида в десятичный:

Двоичное значение октета	Значение битов октета	Десятичное значение октета
00000000	0	0
10000000	128	128
11000000	128+64	192
11100000	128+64+32	224
11110000	128+64+32+16	240
11111000	128+64+32+16+8	248
11111100	128+64+32+16+8+4	252
11111110	128+64+32+16+8+4+2	254
11111111	128+64+32+16+8+4+2+1	255

Адресация сетевого уровня

Адрес IPv4

- IPv4-адрес структурирован и состоит из двух логических частей:
  - **Идентификатор сети** - Network Identifier (Net ID) – определяет конкретную сеть или сегмент сети, в которой находится узел и используется для маршрутизации.
  - **Идентификатор узла** - Host Identifier (Host ID) – используется для уникальной идентификации узла внутри сети или сегмента сети.



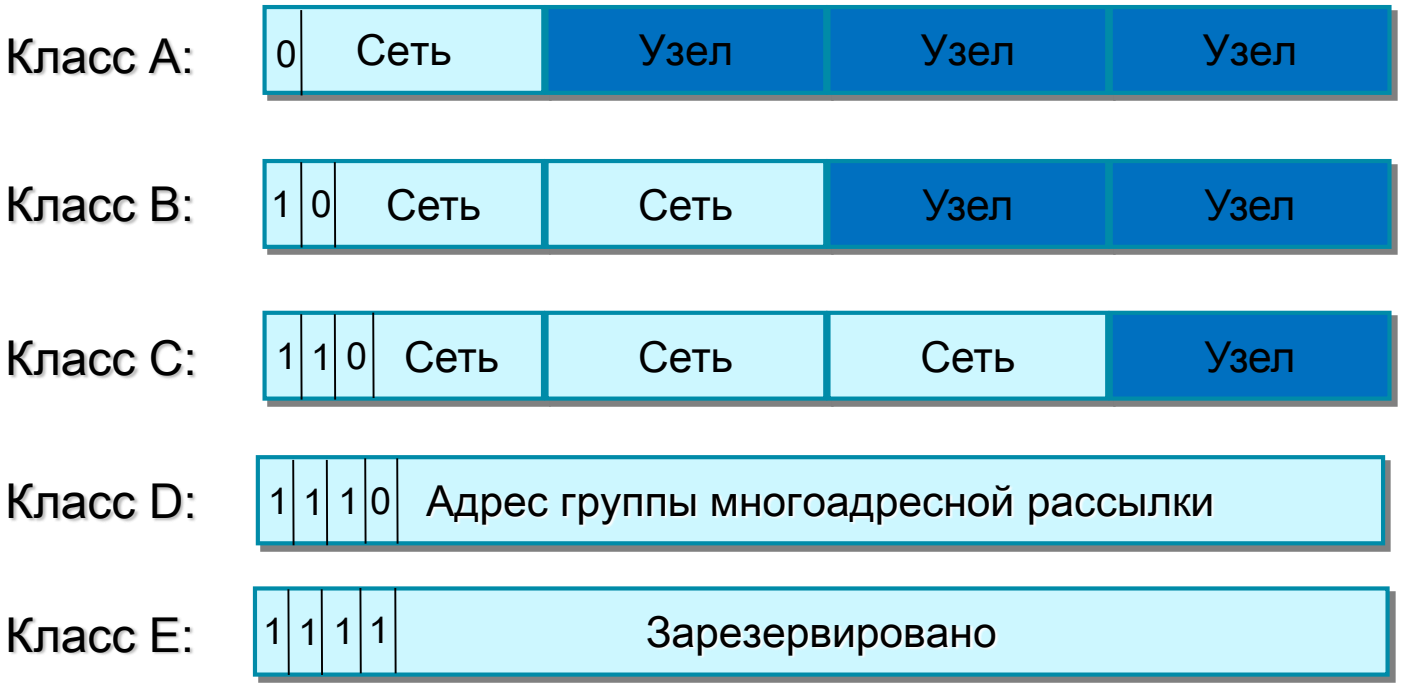
Адресация сетевого уровня

Классовая адресация IPv4

Задача: оптимизация адресов с точки зрения максимально эффективного использования IPv4-адресного пространства.

Решение: использование классовой модели IP-адресации.

- Все пространство IP-адресов делится на 5 классов в зависимости от значения первых четырех бит IPv4-адреса.
- Классам присвоены имена от A до E.



Адресация сетевого уровня

Классовая адресация IPv4

- Согласно классовой модели адресации, существует определенное количество сетей каждого класса и в сети каждого класса может быть адресовано только определенное количество сетевых узлов.

Класс адреса	Диапазон адресов	Доступное количество сетей	Доступное количество узлов
Класс A	1.0.0.0 – 126.0.0.0	126	16 777 214
Класс B	128.0.0.0 – 191.255.0.0	16 384	65 532
Класс C	192.0.0.0 – 223.255.255.0	2 097 152	254
Класс D	224.0.0.0 – 239.255.255.254	Multicast	-
Класс E	240.0.0.0 – 254.255.255.255	Зарезервировано	-

Адресация сетевого уровня

Частные и публичные адреса IPv4

- **Публичные (public) IP-адреса** – уникальные адреса, которые не должны повторяться в глобальной сети.
- **Частные (private) IP-адреса** – используются в локальных сетях и не маршрутизируются в глобальную сеть.

- Публичные адреса находятся в пределах от 1.0.0.1 до 223.255.255.254 за исключением частных адресов IPv4.

- Адресное пространство частных IPv4-адресов состоит из 3 блоков:
  - 10.0.0.0 – 10.255.255.255 (класс A);
  - 172.16.0.0 – 172.31.255.255 (класс B);
  - 192.168.0.0 – 192.168.255.255 (класс C).

Адресация сетевого уровня

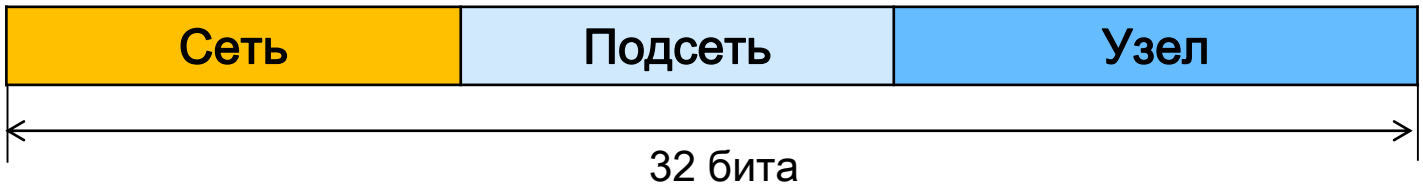
Специальные IPv4-адреса

Идентификатор сети	Идентификатор узла	Описание
Все «0»	Все «0»	0.0.0.0 – адрес узла, сгенерировавшего пакет. Используется устройством для ссылки на самого себя, если оно не знает свой IPv4-адрес. Используется, например, когда устройство пытается получить IPv4-адрес с помощью протокола DHCP
Все «0»	Идентификатор узла	Узел назначения принадлежит той же сети, что и узел-отправитель, например, 0.0.0.25
Идентификатор сети	Все «0»	Адрес сети IPv4, например 175.11.0.0
Идентификатор сети	Все «1»	Ограниченный широковещательный адрес (в пределах данной IP-сети), например 192.168.100.255
Все «1»	Все «1»	255.255.255.255 – «глобальный» широковещательный адрес
127.0.0.0		Адрес интерфейса обратной петли (loopback), предназначен для тестирования оборудования без реальной отправки пакета

Адресация сетевого уровня

Формирование подсетей

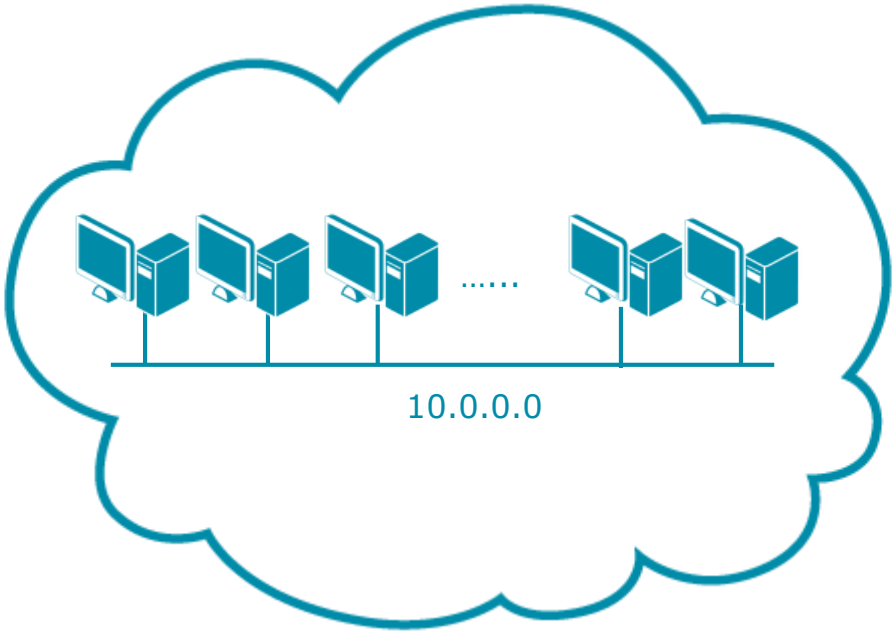
- Изначально IPv4-адрес имел два уровня иерархии: идентификатор сети и идентификатор узла.
- Каждой организации выдавался IPv4-адрес из нужного диапазона (A, B и C) в зависимости от текущего числа компьютеров и его планируемого увеличения.
- Для более эффективного использования адресного пространства были внесены изменения в существующую классовую систему адресации. В RFC 950 была описана процедура разбиения сетей на подсети, и в структуру IPv4-адреса был добавлен еще один уровень – *подсеть* (subnetwork).



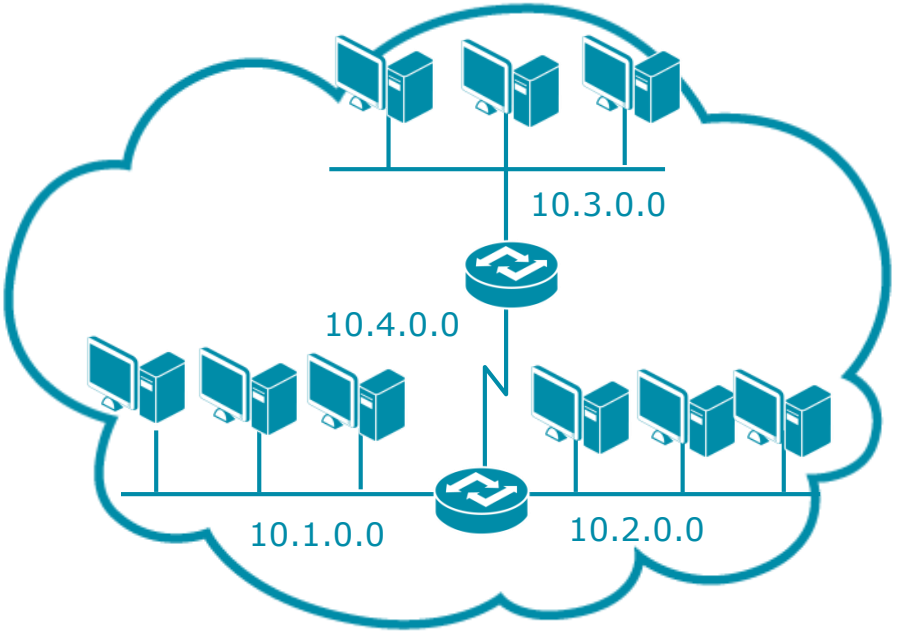
Адресация сетевого уровня

Формирование подсетей

- Разбиение одной крупной сети на несколько мелких позволяет:
  - рационально использовать адресное пространство (т.е. выбелить для сегмента сети блок адресом не целиком класса A, B или C, а только часть классовой сети);
  - повысить безопасность и управляемость сети (за счет уменьшения размеров сегментов и изоляции трафика сегментов друг от друга).



Адресное пространство класса A
без разбиения на подсети

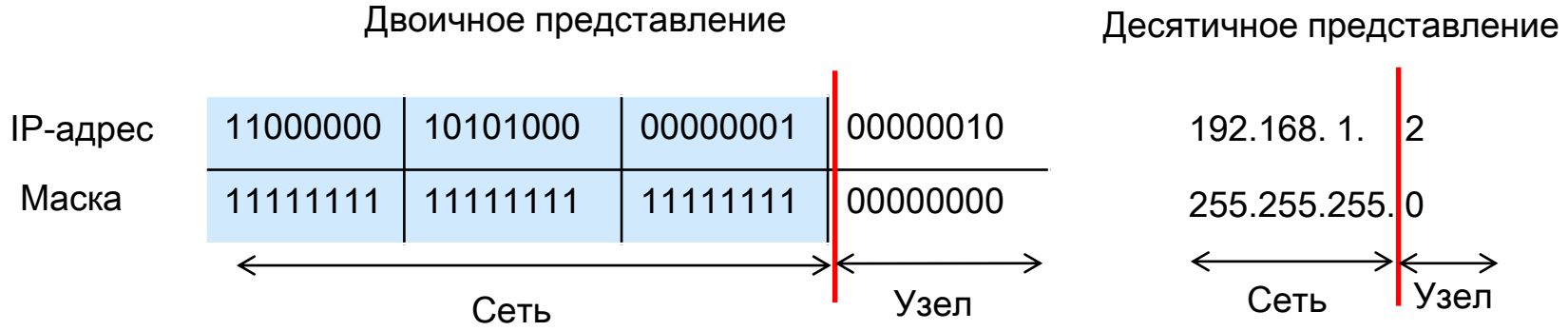


Адресное пространство класса A
после разбиения на подсети

Адресация сетевого уровня

Маска подсети

- С появлением трехуровневой иерархии IPv4-адреса потребовались дополнительные методы, которые позволяли бы определить, какая часть адреса указывает на идентификатор сети, а какая – на идентификатор узла. Было предложено использовать *маску подсети.*
- **Маска подсети** (subnet mask) – это 32-битное число, двоичная запись которого содержит единицы в тех разрядах, которые должны определяться как идентификатор сети.
- Маска подсети записывается в десятично-точечной нотации аналогично IPv4-адресу.



Адресация сетевого уровня

Маска подсети

- Чтобы получить адрес сети, зная IPv4-адрес и маску подсети, необходимо применить к ним операцию *логическое «И».* Другими словами, в тех позициях IPv4-адреса, в которых в маске подсети стоят двоичные 1, находится идентификатор сети, а где двоичные 0 – идентификатор узла.

IP-адрес	11000000	10101000	00000001	00000010	192.168. 1. 2
Маска	11111111	11111111	11111111	00000000	& 255.255.255. 0
Адрес сети	11000000	10101000	00000001	00000000	= 192.168.1.0

Во избежание проблем с адресацией и маршрутизацией все компьютеры стека TCP/IP в одном сегменте сети должны использовать одну и ту же маску подсети.

Адресация сетевого уровня

Маски подсети для стандартных классов сетей

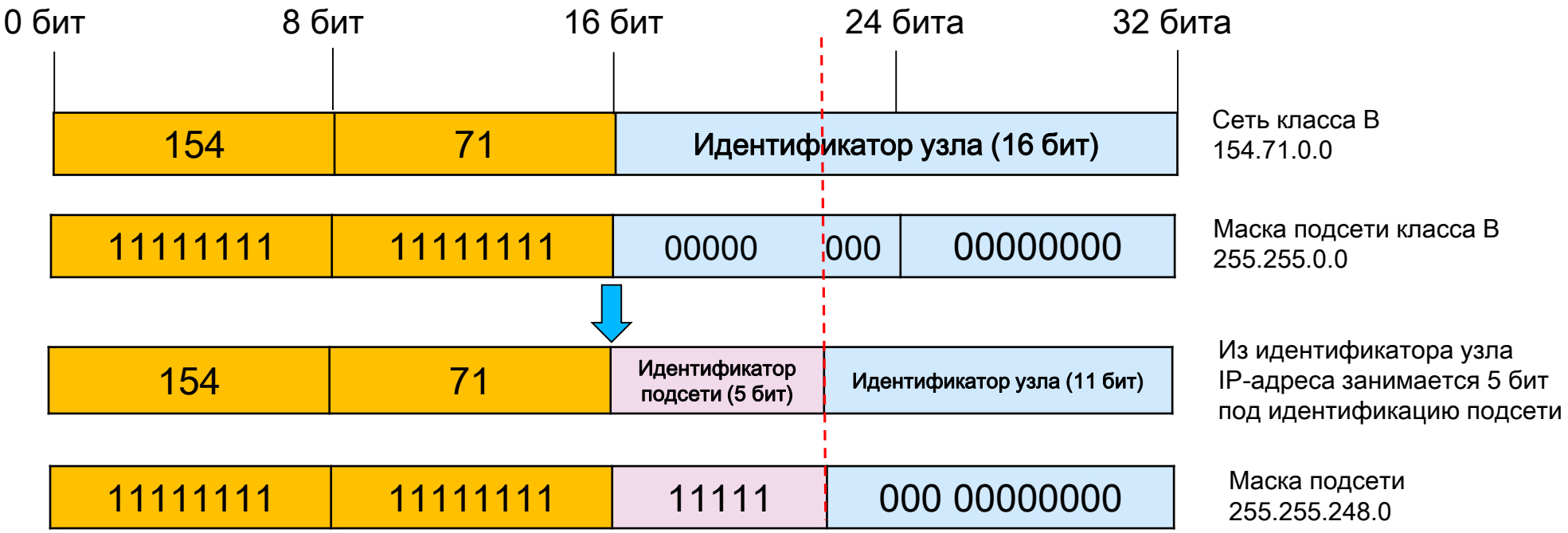
- Для сетей класса A, B и C определены фиксированные маски подсети, которые жестко определяют количество возможных IPv4-адресов и механизм маршрутизации.

Класс сети	Маска подсети	Количество бит идентификатора
Класс A	255.0.0.0	8
Класс B	255.255.0.0	16
Класс C	255.255.255.0	24

Адресация сетевого уровня

Планирование подсетей

- При использовании масок подсети сети можно разделять на меньшие по размеру подсети путем расширения сетевой части адреса и уменьшения узловой части.
- Для вычисления *количества подсетей* существует формула 2^s, где s – количество бит, занятых под идентификатор сети из части, отведенной под идентификатор узла.
- *Количество узлов* в каждой подсети вычисляется по формуле 2^n-2, где n – количество бит, оставшихся в части, идентифицирующей узел, а два адреса – адрес подсети и широковещательный адрес – в каждой полученной подсети зарезервированы.



Пример планирования подсетей

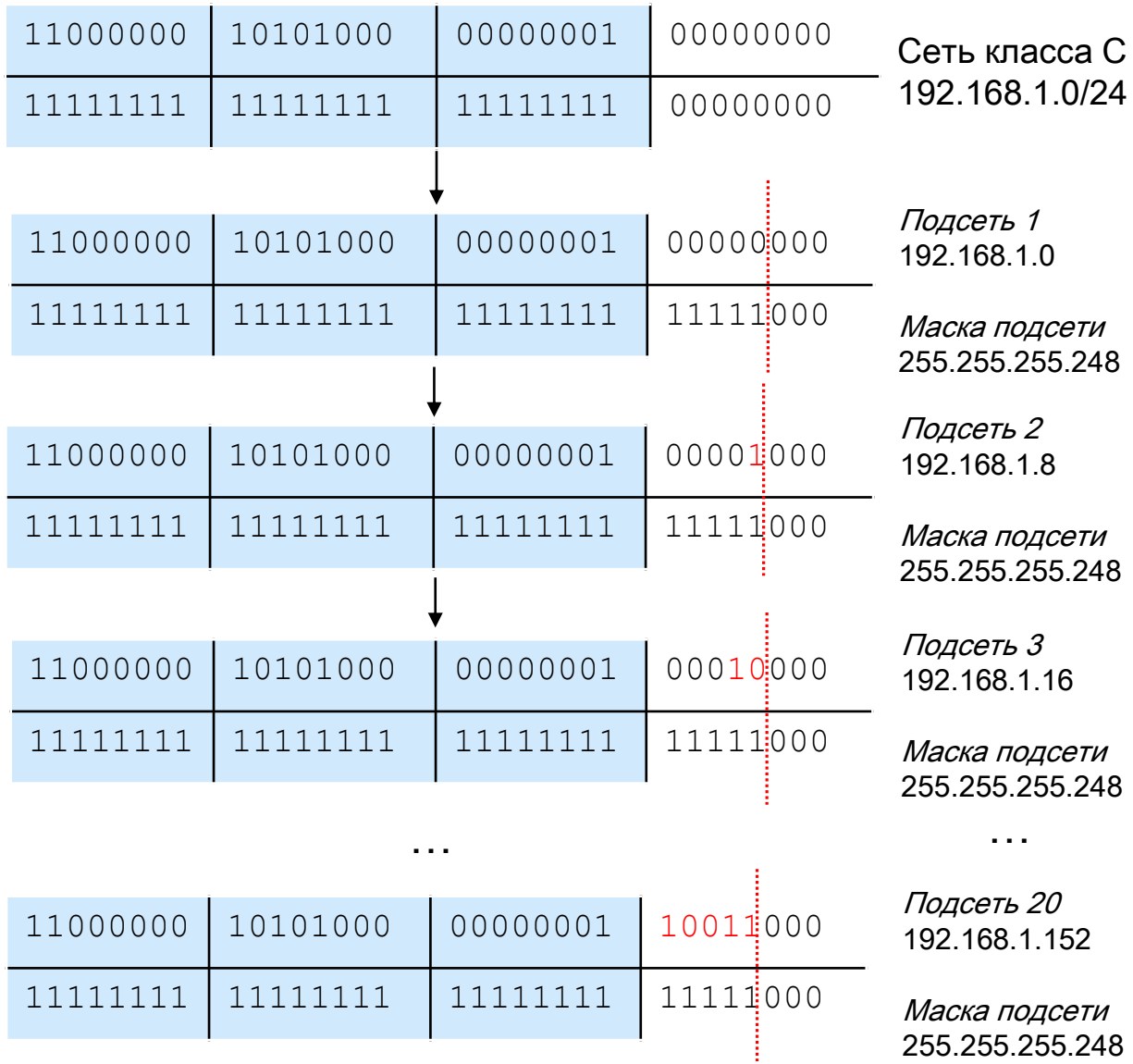
Задача: разбить сеть 192.168.1.0 на 20 подсетей по 6 компьютеров в каждой.

Решение:

1. **Определить, к какому классу относится IPv4-адрес.** 192.168.1.0 – это класс C, стандартная маска подсети класса C – 255.255.255.0;
2. **Определить количество бит, занимаемых для формирования 20 подсетей.** Поскольку найти число, при котором степень 2 будет равна 20 невозможно, выбираем ближайшее большее число $2^5 = 32$. Таким образом, количество бит подсети = 5, количество бит для идентификации узлов в подсети = 3.

Адресация сетевого уровня

Пример планирования подсетей



Адресация сетевого уровня

Бесклассовая адресация

- Классовая модель адресации оказалась нерациональной с точки зрения эффективного использования адресного пространства.
- В случае классовой адресации сеть можно разбить только на подсети одинакового размера.

- В **бесклассовой модели IPv4-адресации**:
  - отсутствует привязка к классу сети и маске подсети по умолчанию;
  - используется маски подсети переменной длины (Variable Length Subnet Mask, VLSM);
  - использует технологию бесклассовой междоменной маршрутизации (Classless Inter Domain Routing, CIDR).

- Маска VLSM позволяет разбить сеть на подсети, а потом подсеть разбить еще на подсети с различными масками подсети.

- Маски подсети являются основой метода бесклассовой маршрутизации и записываются в виде нотации «IP-адрес/длина префикса». Число после символа «/» означает количество единичных разрядов в маске подсети.
- Например, адрес 192.168.1.8 с маской подсети 255.255.255.248 может быть записан 192.168.1.8/29

Адресация сетевого уровня

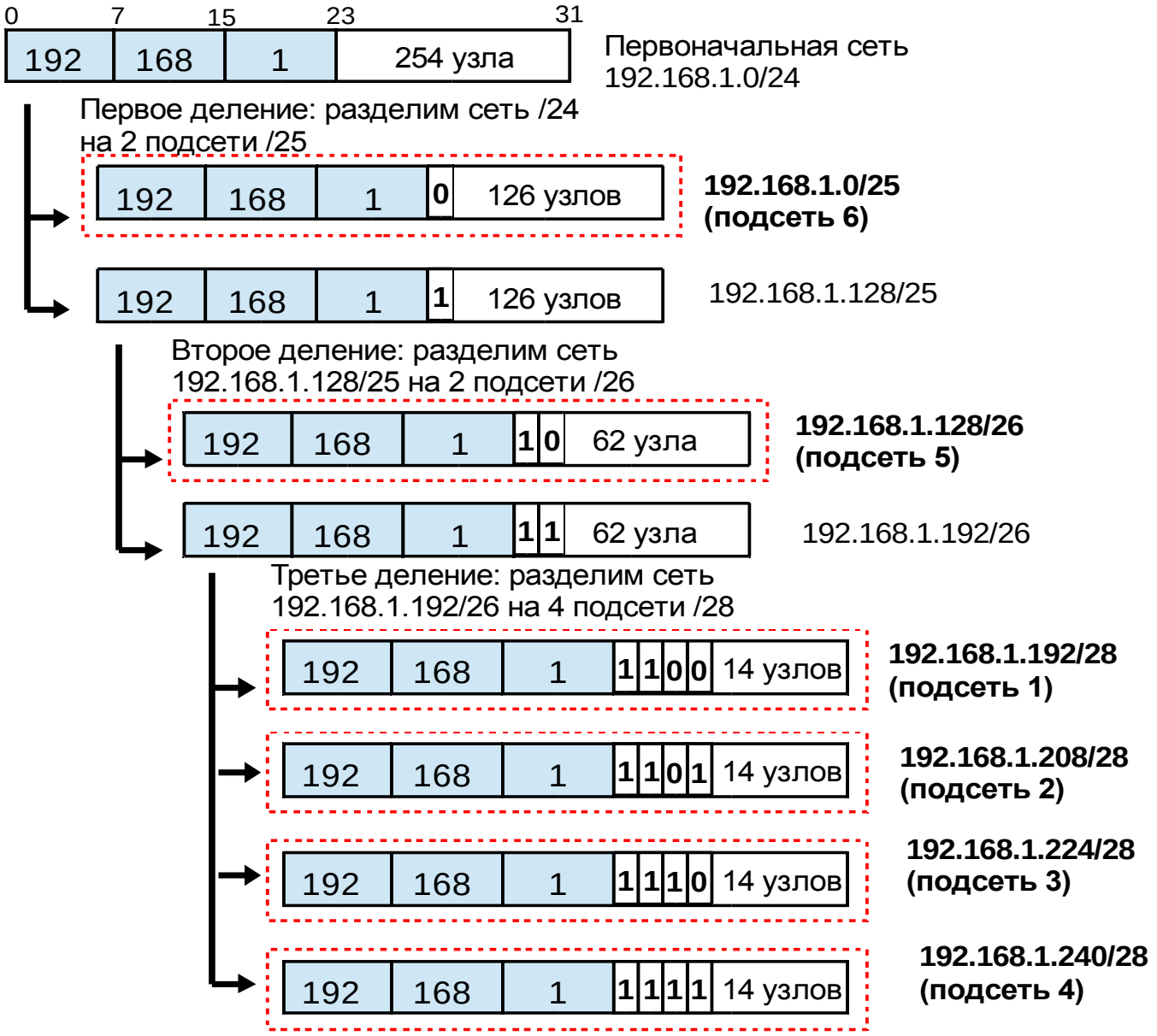
Маски подсети переменной длины

Задача: организации выделена сеть класса C 192.168.1.0/24. Требуется разделить ее на 6 подсетей. В подсетях 1, 2, 3 и 4 должно быть 10 узлов, в 5-й подсети – 50, в 6-й подсети – 100.

- Теоретически для сети 192.168.1.0/24 допустимое количество узлов равно 254, и разбить такую сеть на подсети с требуемым количеством узлов без использования VLSM невозможно.

Адресация сетевого уровня

Маски подсети переменной длины

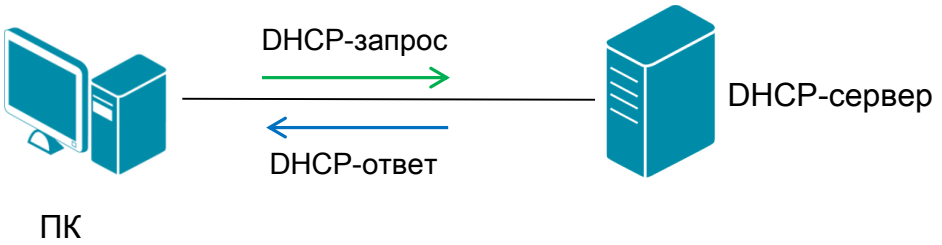


Адресация сетевого уровня

Способы настройки IPv4-адреса

- **Статическая настройка:**
  - IP-адрес называют статическим (постоянным, неизменяемым), если он назначается пользователем в настройках устройства.
  - администратор вручную вводит IP-адрес, маску посети и адрес шлюза по умолчанию.

- **Динамическая настройка:**
  - IP-адрес называют динамическим (непостоянным, изменяемым), если он назначается автоматически при подключении устройства к сети и используется в течение ограниченного промежутка времени, указанного в сервисе назначавшем IP-адрес (DHCP).



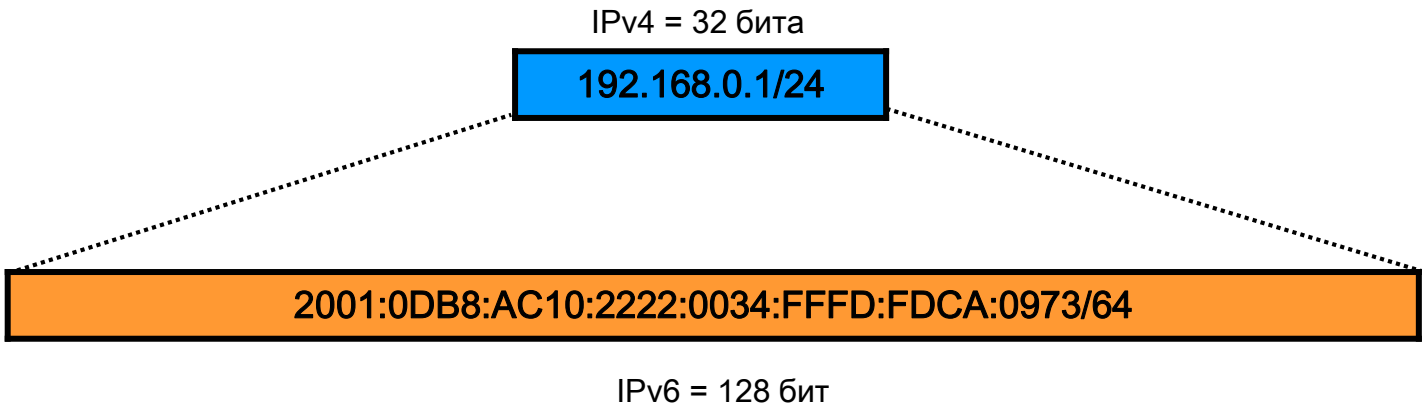
Адресация сетевого уровня

Протокол IPv6

- **Протокол IPv6 –** это новая версия протокола IP, которая разработана в качестве приемника IPv4 и призвана решить проблему исчерпания адресного пространства.

Основным отличием протокола IPv6 от IPv4 является:

- Большее адресное пространство:
  - размер адреса IPv6 составляет 128 бит;
  - поддерживает 2^{128} (примерно $3{,}4 \times 10^{38}$) адресов.
- улучшенные механизмы автоматического назначения адресов узлов;
- упрощение маршрутизации;
- улучшенные механизмы обеспечения качества обслуживания (QoS) и безопасности (IPSec);
- упрощенный заголовок пакета.



Адресация сетевого уровня

Формат заголовка IPv6

Фиксированный заголовок состоит из 40 байт и имеет следующий формат:

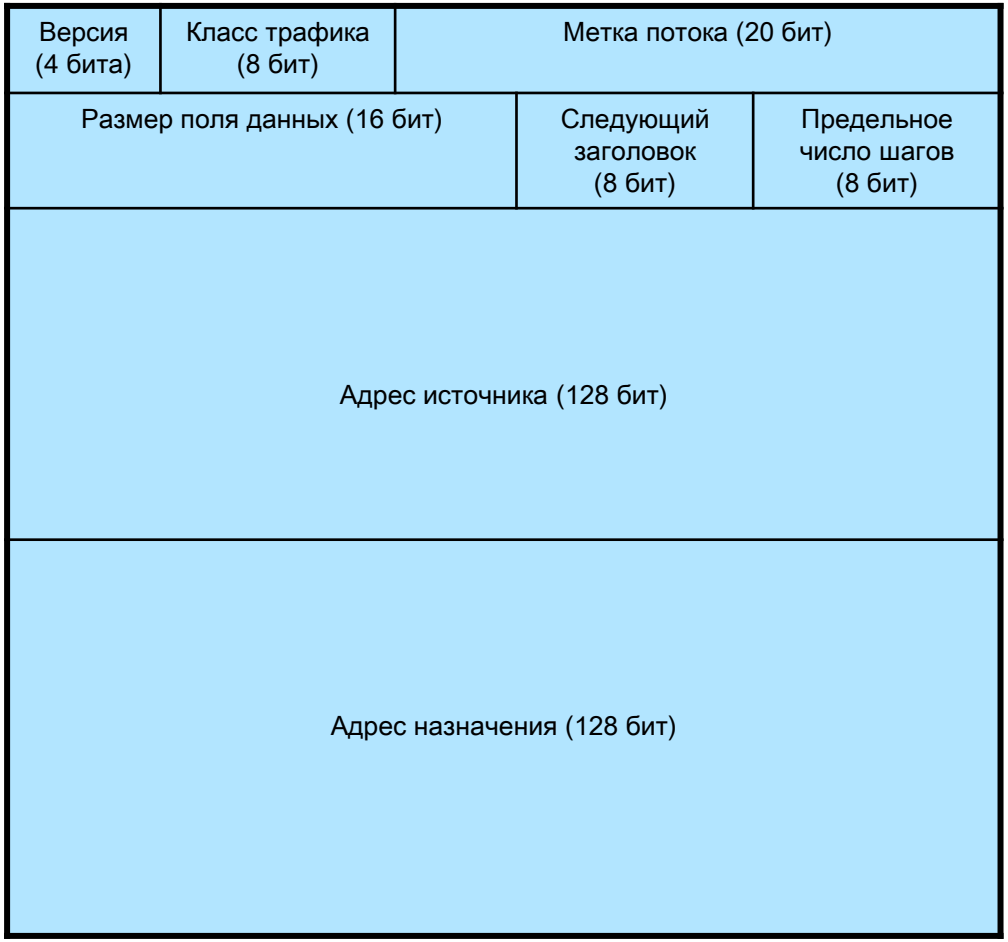
- **Версия** (Version) — для IPv6 значение поля равно 6;
- **Класс трафика** (Traffic Class) – поле приоритета пакета;
- **Метка потока** (Flow Label) – используется отправителем для обозначения последовательности пакетов, которые должны быть подвергнуты определенной обработке маршрутизаторами;
- **Размер поля данных** (Payload Length) - число, указывающее длину поля данных, идущего за заголовком пакета (с учетом расширенного заголовка);
- **Следующий заголовок** (Next Header) – задает тип расширенного заголовка IPv6, который следует за фиксированным;
- **Предельное число шагов** (Hop Limit) – уменьшается на 1 каждым маршрутизатором, через который передается пакет. При значении, равном 0, пакет отбрасывается;
- **Адрес источника** (Source Address) – 128-битный адрес отправителя пакета;
- **Адрес назначения** (Destination Address) – 128-битный адрес получателя пакета.

Адресация сетевого уровня

Сравнение форматов пакетов IPv4 и IPv6

Заголовок IPv4 (20 байт)

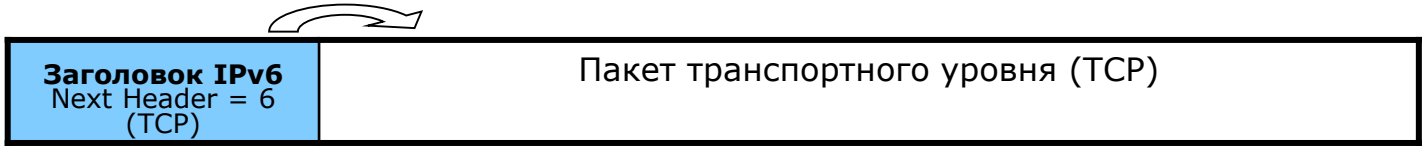
Заголовок IPv6 (40 байт)

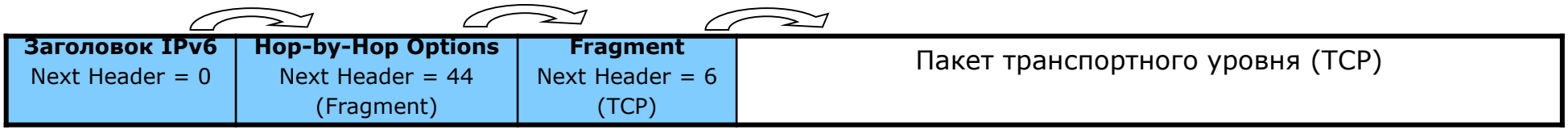


Расширенные заголовки IPv6

- Используются для поддержки механизмов безопасности, фрагментации, сетевого управления и расположены между фиксированным заголовком и заголовком протокола более высокого уровня.
- Пакет IPv6 может содержать 0, 1 или несколько расширенных заголовков, каждый из которых идентифицируется значением поля Next Header предшествующего заголовка.

Расширенный заголовок	Тип	Описание
Hop-by-Hop Options	0	Параметры которые должны быть обработаны каждым транзитным узлом
Routing	43	Позволяет отправителю определять список узлов, которые пакет должен пройти
Fragment	44	Содержит информацию по фрагментации пакета
Encapsulating Security Payload (ESP)	50	Обеспечивает шифрование данных с помощью IPSec
Destination Options	60	Определяет произвольный набор опций, которые должны быть обработаны получателем пакета
Authentication Header (AH)	51	Содержит информацию для проверки подлинности зашифрованных данных при использовании IPSec





Адресация сетевого уровня

Представление адреса IPv6

- Адрес IPv6 имеет длину 128 бит и записывается как восемь групп по четыре шестнадцатеричные цифры, разделенные двоеточием. Например,

2001:0DB8:AC10:FE01:0018:8BFF:FED8:E3E0

- Существует несколько способов, которые позволяют сократить запись IPv6-адреса:

- нули в начале группы можно заменить одним;
- одна или несколько идущих подряд групп, состоящих из нулей, может быть заменена знаком «::»;

0001:0123:0000:0000:0000:ABCD:0000:0001

0001:0123:0:0:0:ABCD:0:1

1:123::ABCD:0:1

- конечные нули в группе должны присутствовать.

2001:1000:0000:0000:0000:ABCD:0000:0001

2001:1000::ABCD:0:1

Представление адреса IPv6

- Альтернативной формой записи адреса, которая удобна для использования в смешанной среде с узлами IPv4 и IPv6, является запись вида

x:x:x:x:x:x:d.d.d.d

«x»- шестнадцатеричное значение 6 первых групп адреса, «d» - десятичное значение 4 последних групп адреса (стандартное представление адреса IPv4).

0:0:0:0:0:0:13.1.68.3 или ::13.1.68

0:0:0:0:0:FFFF:129.144.52.38 или ::FFFF:129.144.52.38

Структура адреса IPv6

IPv6-адрес состоит из двух логических частей:

- **Префикс** (Prefix) – первые 64 бита адреса – часть адреса, отведенная под идентификатор сети/подсети (аналог идентификатора сети в IPv4). Представление префикса идентификатора для сети и подсети IPv6 аналогично записи префикса адреса IPv4 в нотации CIDR. Префикс адреса IPv6 записывается в виде

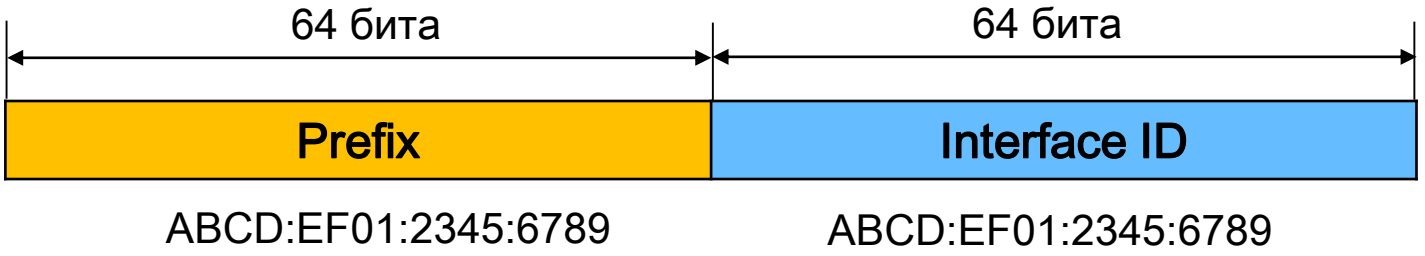
адрес IPv6/длина префикса

Пример:

`21DA:D3::/48` – префикс сети

`21DA:D3:0:2F3B::/64` – префикс подсети

- **Идентификатор интерфейса** (Interface ID) – последние 64 бита IPv6-адреса, используемые для идентификации интерфейса в сегменте сети (аналог идентификатора узла в IPv4). Он должен быть уникальным внутри сети/подсети.



Адресация сетевого уровня

Типы IPv6-адресов

Адресное пространство протокола IPv6 разделено на три типа адресов:

- **Индивидуальные адреса** (unicast) идентифицируют один интерфейс устройства. Пакете, отправленные на этот адрес, доставляются только на этот интерфейс;
- **Групповые адреса** (multicast) идентифицируют группу адресов. Пакеты, посылаемые на этот адрес, доставляются всем интерфейсам – участникам группы;
- **Альтернативные адреса** (anycast) позволяют адресовать группу интерфейсов (обычно принадлежащих разным узлам). Однако в отличие от групповых адресов, пакеты, передаваемые на альтернативный адрес, доставляются на один из интерфейсов (обычно «ближайший» интерфейс, согласно метрике маршрутизации), определяемых этим адресом.

- *Широковещательные адреса* (broadcast), которые используются в IPv4, в IPv6 отсутствуют, что способствует уменьшению сетевого трафика и снижению нагрузки на большинство систем. Широковещательные адреса заменены групповыми.

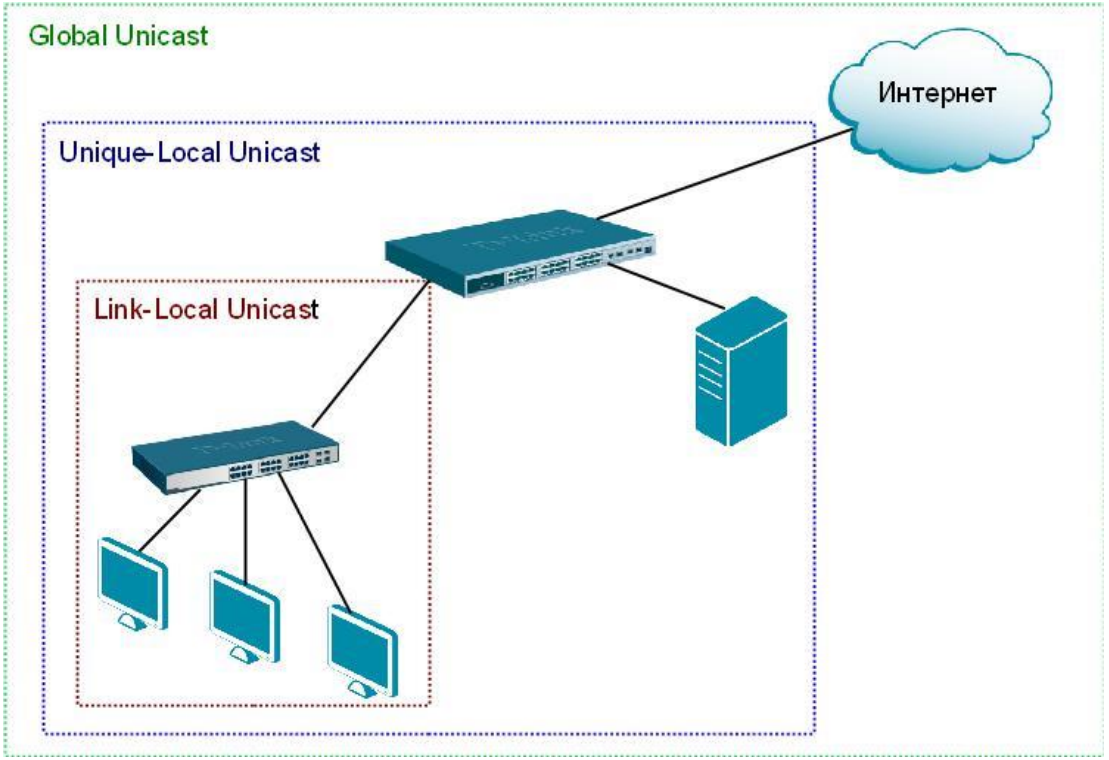
Адресация сетевого уровня

Индивидуальные IPv6-адреса

Существует несколько типов индивидуальных IPv6-адресов:

- **Global Unicast**;
- **Unique-Local Unicast**;
- **Link-Local Unicast**.

- Интерфейс всегда имеет адреса Link-Local, Unique-Local и Global.
- Для каждого типа индивидуальных адресов определен свой диапазон:

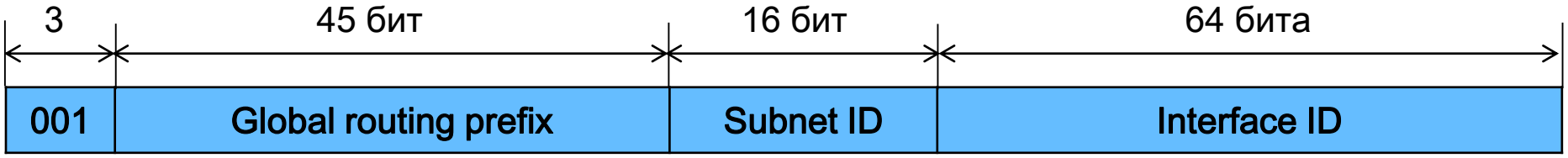


Адресация сетевого уровня

Global Unicast-адреса:

- используются для идентификации устройств в глобальной сети и являются аналогом публичных IPv4-адресов;
- назначаются локальными интернет-регистраторами;
- в настоящее время назначаются с префикса 2000::/3.

- Общий формат Global Unicast IPv6-адреса следующий:



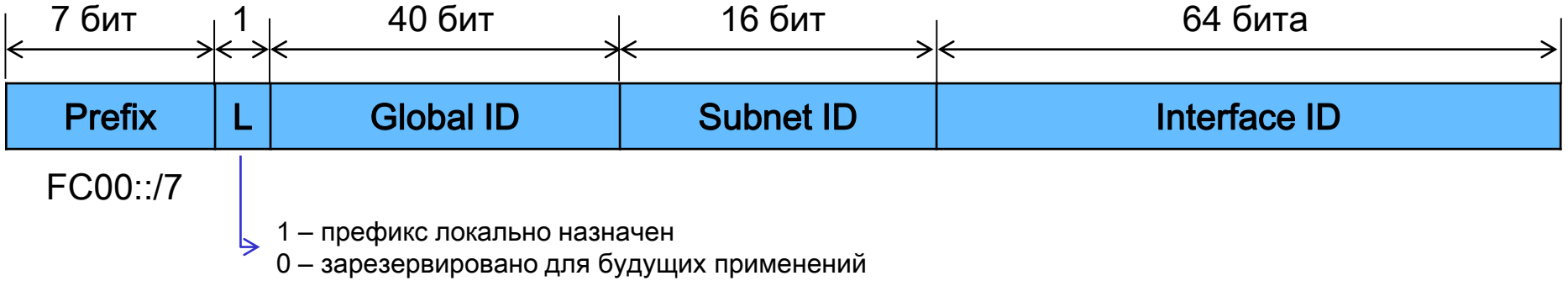
- **Global routing prefix** – глобальный адрес, назначенный сети;
- **Subnet ID** – идентификатор подсети внутри сети;
- **Interface ID** – идентификатор интерфейса.

Адресация сетевого уровня

Unique-Local Unicast-адреса:

- используются для идентификации устройств внутри организации и не передаются через интернет;
- эквивалентны частным IPv4-адресам, однако в отличие от них являются уникальными в рамках глобальной сети;
- начинаются с префикса FC00::/7.

❑ Общий формат Unique-Local Unicast IPv6-адреса следующий:



❑Бит L разбивает префикс FC00::/7 на два поддиапазона:
- FD00::/8 – локально назначенный уникальный адрес;
- FC00::/8 – зарезервирован для будущих применений.

➢**Global ID** – глобальный идентификатор, который определяет организацию (назначается с помощью псевдослучайного алгоритма);
➢**Subnet ID** – идентификатор подсети внутри сети;
➢**Interface ID** – идентификатор интерфейса.

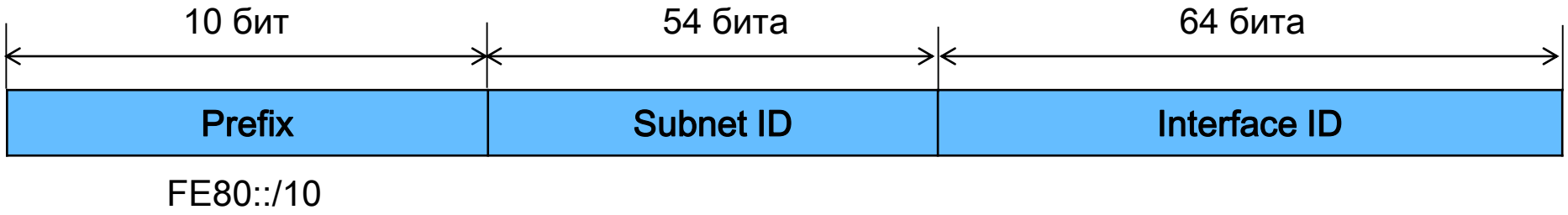
Алгоритм для генерации уникального локального адреса можно найти в сети Интернет
https://www.ultratools.com/tools/rangeGenerator

Адресация сетевого уровня

Link-Local Unicast-адреса:

- предназначены для взаимодействия внутри сегмента сети или по каналу связи «точка-точка»;
- используются только в пределах канала связи;
- маршрутизаторы не передают Link-Local Unicast-пакеты через другие каналы связи;
- автоматически назначаются узлы независимо от наличия в сети маршрутизатора или DHCPv6-сервера;
- начинаются с префикса FE80::/10.

- Общий формат Link-Local Unicast IPv6-адреса следующий:



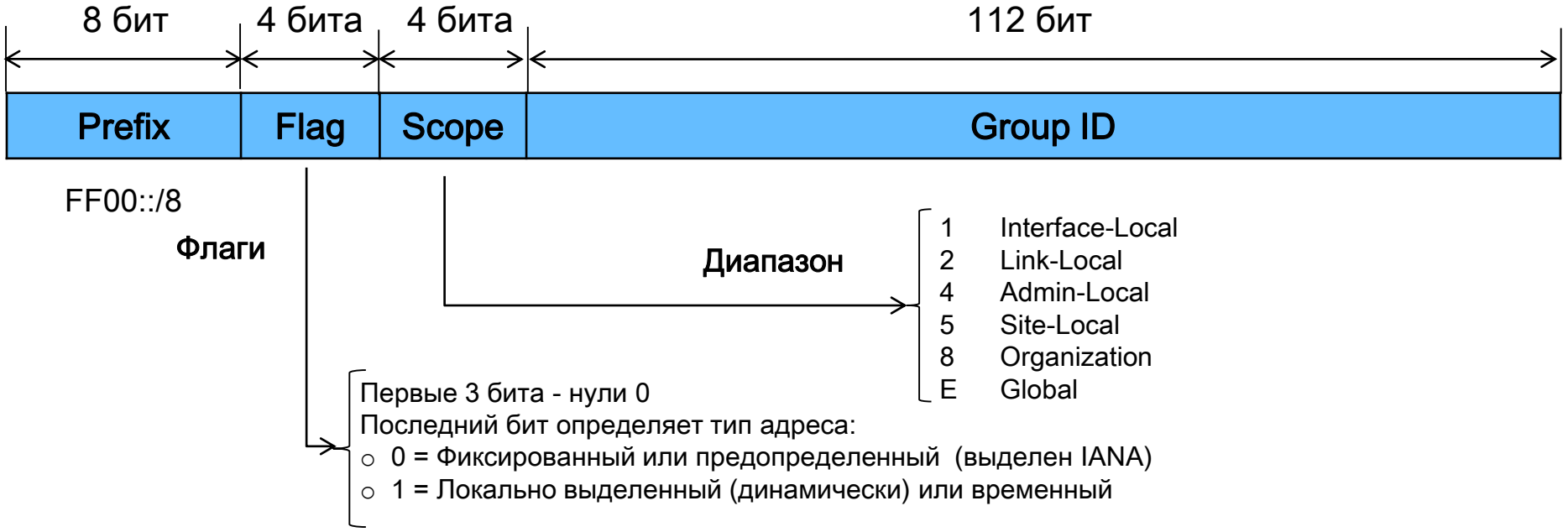
- **Subnet ID** – идентификатор подсети внутри сети (заполняется нулями);
- **Interface ID** – идентификатор интерфейса.

Адресация сетевого уровня

Групповые IPv6-адреса:

- идентифицируют группу интерфейсов, участвующую в получении одного и того же контента (например, видео);
- начинаются с префикса FF00::/8.

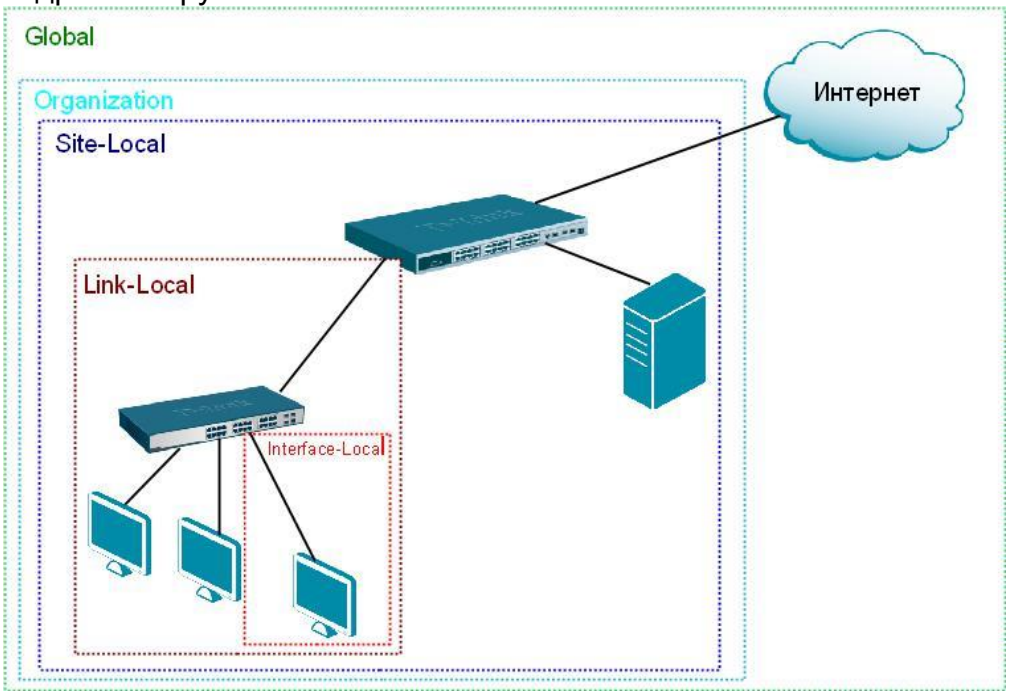
- Общий формат группового IPv6-адреса следующий:



Групповые IPv6-адреса

- Поле **Scope** определяет область действия данного группового адреса, т. е. показывает, как далеко друг от друга могут находится члены одной многоадресной группы.
- На данный момент определено шесть значений этого поля, остальные зарезервированы для будущих применений:

- **Interface-Local** – многоадресная группа определена в рамках одного узла;
- **Link-Local** – многоадресная группа определена в пределах канала связи;
- **Admin-Local** – многоадресная группа определена внутри области, задаваемой администратором сети;
- **Site-Local** – многоадресная группа определена в рамках локальной сети;
- **Organization** – многоадресная группа определена в рамках распределенной сети;
- **Global** – глобальная многоадресная группа.



Адресация сетевого уровня

Групповые IPv6-адреса

- Функцию широковещательных адресов в протоколе IPv6 выполняют специальные групповые адреса, которые не назначаются многоадресным группам:
  - **FF01::1** – идентифицирует группу, включающую в себя все IPv6-узлы в пределах диапазона Interface-Local;
  - **FF02::1** – идентифицирует группу, включающую в себя все IPv6-узлы в пределах диапазона Link-Local;
  - **FF01::2** – идентифицирует группу всех IPv6-маршрутизаторов в пределах диапазона Interface-Local;
  - **FF02::2** – идентифицирует группу всех IPv6-маршрутизаторов в пределах диапазона Link-Local;
  - **FF05::2** – идентифицирует группу всех IPv6-маршрутизаторов в пределах диапазона Site-Local.

Адресация сетевого уровня

Специальный групповой адрес Solicited-Node:

- используется в процессе разрешения IPv6-адресов для сегмента сети;
- присваивается каждому интерфейсу вместе с индивидуальными адресами;
- используется только на канале связи или в сегментах сети.

- **Генерация адреса:**

младшие 24 бита поля Interface ID индивидуального или альтернативного адреса
+
префикс FF02:0:0:0:0:1:FF00::/104

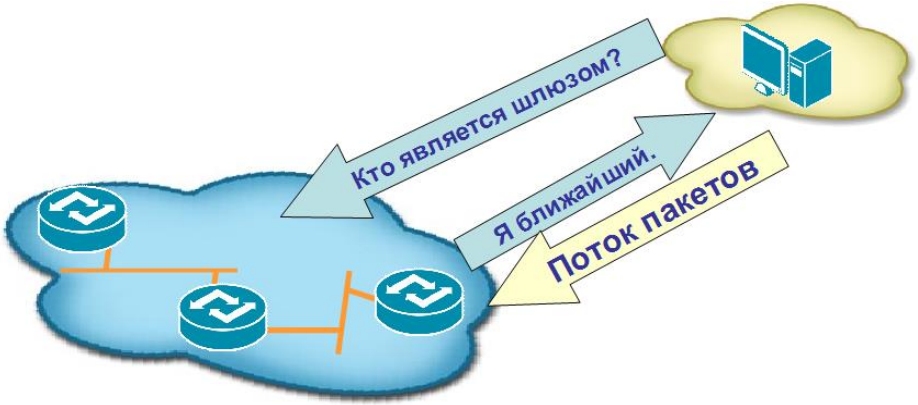
Пример:

Адрес IPv6:	FE80::0202:B3FF:FE1E:8329
Префикс Solicited-Node:	FF02:0000:0000:0000:0000:0001:FF00:0000
Групповой адрес Solicited-Node:	FF02:0000:0000:0000:0000:0001:FF1E:8329 или FF02::1:FF1E:8329

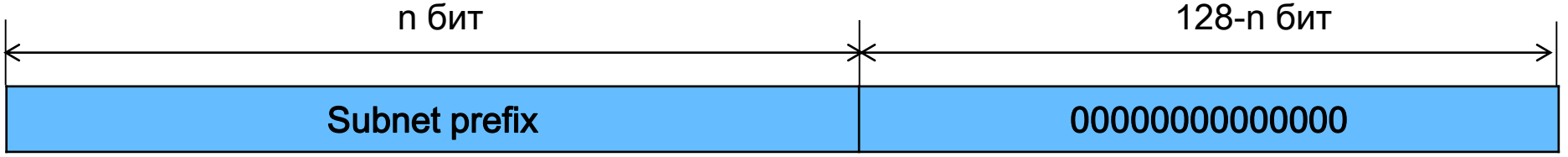
Адресация сетевого уровня

Альтернативные IPv6-адреса

- Альтернативный IPv6-адрес назначается нескольким интерфейсам. При этом пакет, отправленный на этот адрес, направляется на «ближайший» (имеющий минимальную метрику маршрутизации) интерфейс.



- Формат альтернативного адреса следующий:



- Альтернативный адрес:

•входит в адресное пространство индивидуальных адресов;

•не может использоваться в качестве адреса отправителя пакета;

•назначается только маршрутизаторам и может применяется для идентификации группы маршрутизаторов, принадлежащих интернет-провайдеру.

Адресация сетевого уровня

Идентификатор интерфейса

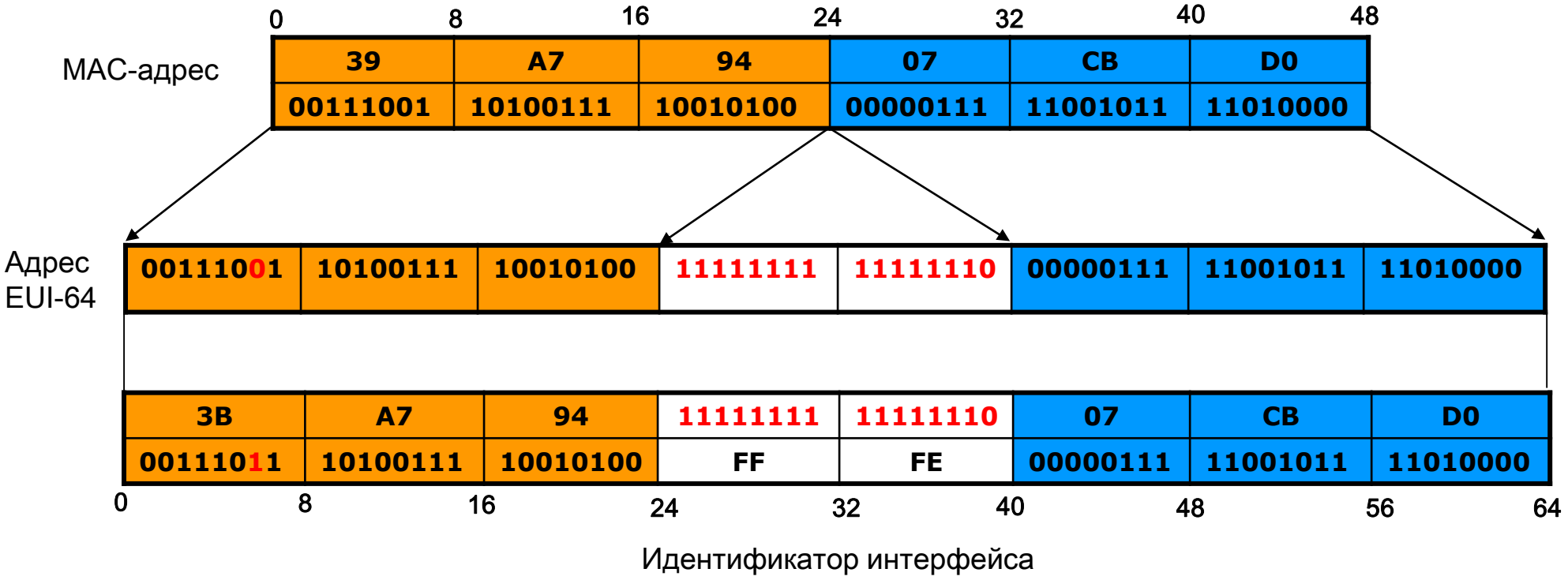
- **Идентификатор интерфейса** – 64-битное поле IPv6-адреса, используемое для идентификации интерфейса в сегменте сети.

- Уникальный идентификатор интерфейса может быть получен несколькими способами:
  - настроен вручную;
  - назначен с помощью протокола DHCPv6;
  - сгенерирован автоматически случайным образом;
  - сформирован из 48-битного MAC-адреса путем его преобразования в формат Modified EUI-64.

Адресация сетевого уровня

Формирование идентификатора интерфейса из MAC-адреса

- MAC-адрес состоит из 48-бит, для идентификатора необходимо 64 бита, поэтому требуется расширение MAC-адреса преобразованием его в адрес EUI-64:
  1. MAC-адрес делится не две части по 24 бита;
  2. Между ними вставляется блок битов FFEF;
  3. Бит «universal/local» (7 бит слева) изменяется с 0 на 1 (бит, определяющий является ли MAC-адрес универсальным или локально администрируемым).



слайд анимирован

Адресация сетевого уровня

Генерация псевдослучайного идентификатора интерфейса

- Когда идентификатор формируется из MAC-адреса, существует возможность идентификации и отслеживания трафика конкретного узла.
- Для обеспечения определенного уровня анонимности в RFC 3041 описан метод генерации узлом псевдослучайного идентификатора интерфейса, изменяемого с течением времени.
- Итоговый IPv6-адрес, основанный на таком псевдослучайном идентификаторе интерфейса, называют *временным адресом*, который рекомендуется для использования в интернете.

Адресация сетевого уровня

Способы настройки IPv6-адреса

- **Автоматическая конфигурация:**
  - Stateless autoconfiguration;
  - Stateful autoconfiguration;
- **Статическая конфигурация.**

Адресация сетевого уровня

Автоматическая конфигурация IPv6-адреса

- В отличие от протокола IPv4, где настройка параметров узла проводилась либо вручную, либо с помощью протокола DHCP, в протоколе IPv6 узел может практически самостоятельно сконфигурировать параметры своих интерфейсов.

- В протоколе IPv6 определены два механизма автоконфигурации:
  - **Stateless autoconfiguration:**
    - описан в RFC 4862;
    - позволяет узлам генерировать свой собственный адрес на основе комбинации доступной информации, объявляемой маршрутизаторами. Маршрутизаторы объявляют префиксы, идентифицирующие подсеть (или подсети), а узлы самостоятельно генерируют идентификаторы интерфейсов. При отсутствии маршрутизаторов узлы могут автоматически генерировать Link-Local Unicast IPv6-адрес.
  - **Stateful autoconfiguration:**
    - описан в RFC 3315;
    - позволяет узлам получать адрес интерфейса и/или конфигурационные параметры с помощью протокола DHCPv6.

- Механизмы автоконфигурации stateless и stateful могут дополнять друг друга и использоваться совместно.

Адресация сетевого уровня

Stateless autoconfiguration

- Рассмотрим последовательность действий, которые выполняются в процессе автоконфигурации узла:

Шаг 1. Генерация Link-Local Unicast-адреса с префиксом FE80::/10;

Шаг 2. Тестирование адреса на уникальность. Узел проверяет используется ли уже такой адрес а локальном сегменте. Для этого он отправляет сообщение *Neighbor Solicitation* протокола Neighbor Discovery Protocol (NDP). Если в ответ на него получено сообщение *Neighbor Advertisement*, значит этот адрес уже используется другим узлом. В этом случае процесс автоконфигурации завершается и требуется ручная настройка;

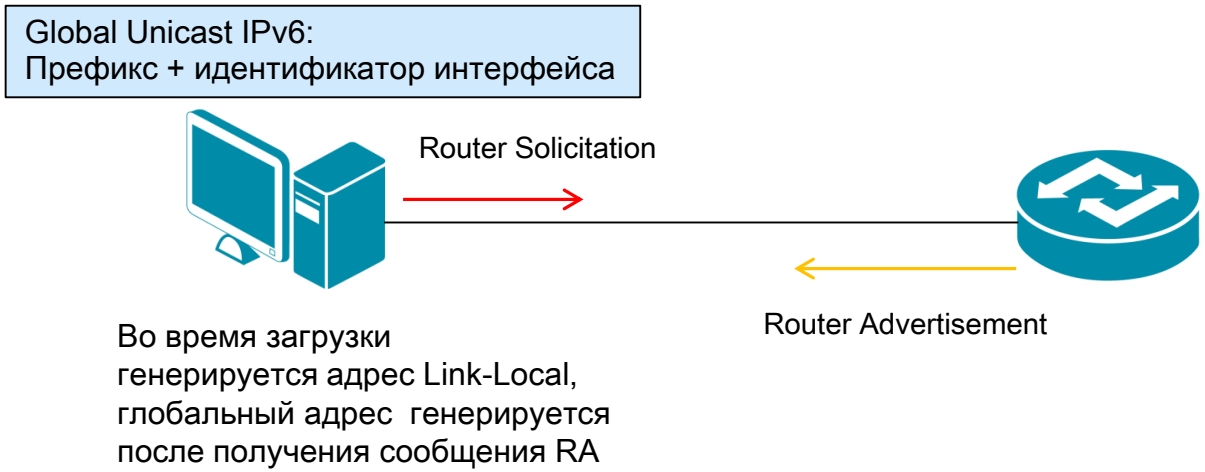
Шаг 3. Присвоение адреса Link-Local Unicast. Если тест на уникальность пройден успешно, узел присваивает сгенерированный на шаге 1 IPv6-адрес;

Шаг 4. Обнаружение маршрутизатора. После присвоения интерфейсу Link-Local-адреса узел отправляет сообщение *Router Solicitation* (RS) протокола NDP. Если в сети имеются маршрутизаторы, они отвечают сообщением *Router Advertisement* (RA) и сообщают узлам, каким образом продолжать процесс автоконфигурации;

Stateless autoconfiguration

Шаг 5. Генерация Global Unicast-адреса.

- В случае *Stateless autoconfiguration* Global Unicast-адреса состоит из префикса, предоставленного маршрутизатором и идентификатора интерфейса, созданного на шаге 1.



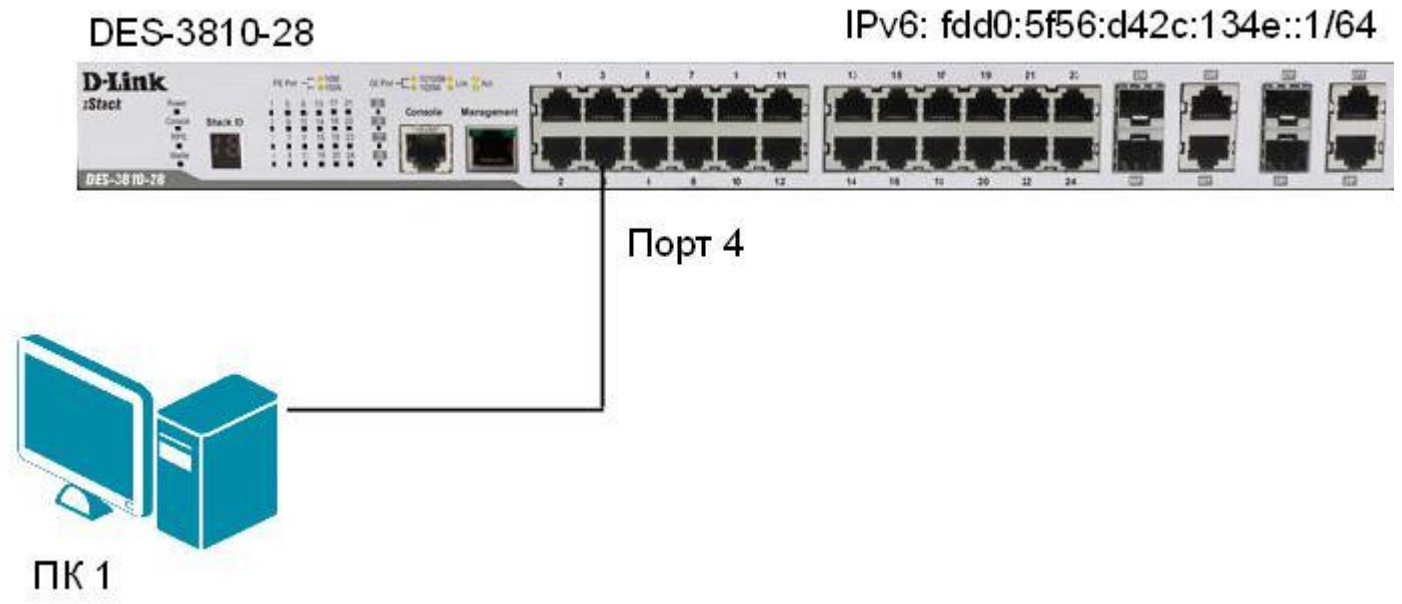
- В случае *Stateful autoconfiguration* узел отправляет запрос к DHCPv6-серверу об аренде IPv6-адреса/длины префикса и других сетевых параметров. Главное отличие протокола DHCPv6 от DHCPv4 заключается в том, что DHCPv6-сервер не рассылает DHCPv6-клиентам информацию о шлюзе по умолчанию.

слайд анимирован

Настройка Stateless autoconfiguration

Пример:

- Рассмотрим пример реализации автоматической настройки (Stateless autoconfiguration) Unique-Local Unicast-адресов узлов локальной сети с помощью коммутатора 3-го уровня DES-3810-28.
- Коммутатор отправляет узлам локальной сети информацию о префиксе после получения от них сообщения RS. Узлы автоматически формируют свои Unique-Local Unicast-адреса на основе данных, полученных от коммутатора.



Адресация сетевого уровня

Настройка коммутатора DES-3810-28

- Настроить Unique-Local Unicast-адрес на интерфейсе System:

```
config ipif System ipv6 ipv6address fdd0:5f56:d42c:134e::1/64
```

- Активизировать автоматическую конфигурацию адреса на интерфейсе System:

```
config ipif nd ra ipif System state enable
```

➢ В качестве префикса, рассылаемого узлам, будет использоваться префикс адреса интерфейса System (в данном случае fdd0:5f56:d42c:134e::1/64)

Статическая конфигурация IPv6-адреса

- В протоколе IPv6, так же как и в протоколе IPv4, существует возможность ручной настройки на интерфейсе IPv6-адреса, шлюза по умолчанию, длины префикса.

- Ручная настройка обычно используется для конфигурации интерфейсов маршрутизаторов или других сетевых устройств.
- Ручная настройка для конфигурации интерфейсов узлов может использоваться:
  - если в сети нет маршрутизаторов, которые рассылают объявления с информацией, требуемой для автоматической конфигурации;
  - в случае обнаружения дублирования адресов при автоматической конфигурации узлов.

Планирование подсетей IPv6

Задача:

- Организация планирует использовать в своей сети Unique-Local Unicast-адреса и хочет разбить сеть на 5 подсетей.

Решение:

1. Формируется префикс сети. Unique-Local Unicast-адреса начинаются с префикса FD00::/8;
2. С помощью генератора локальных адресов IPv6 получаем Global ID (40 бит), например 895a473947.
3. Назначаем 5 номеров подсети (Subnet ID) разрядностью 16 бит. Можно также воспользоваться генератором для получения номера подсети.

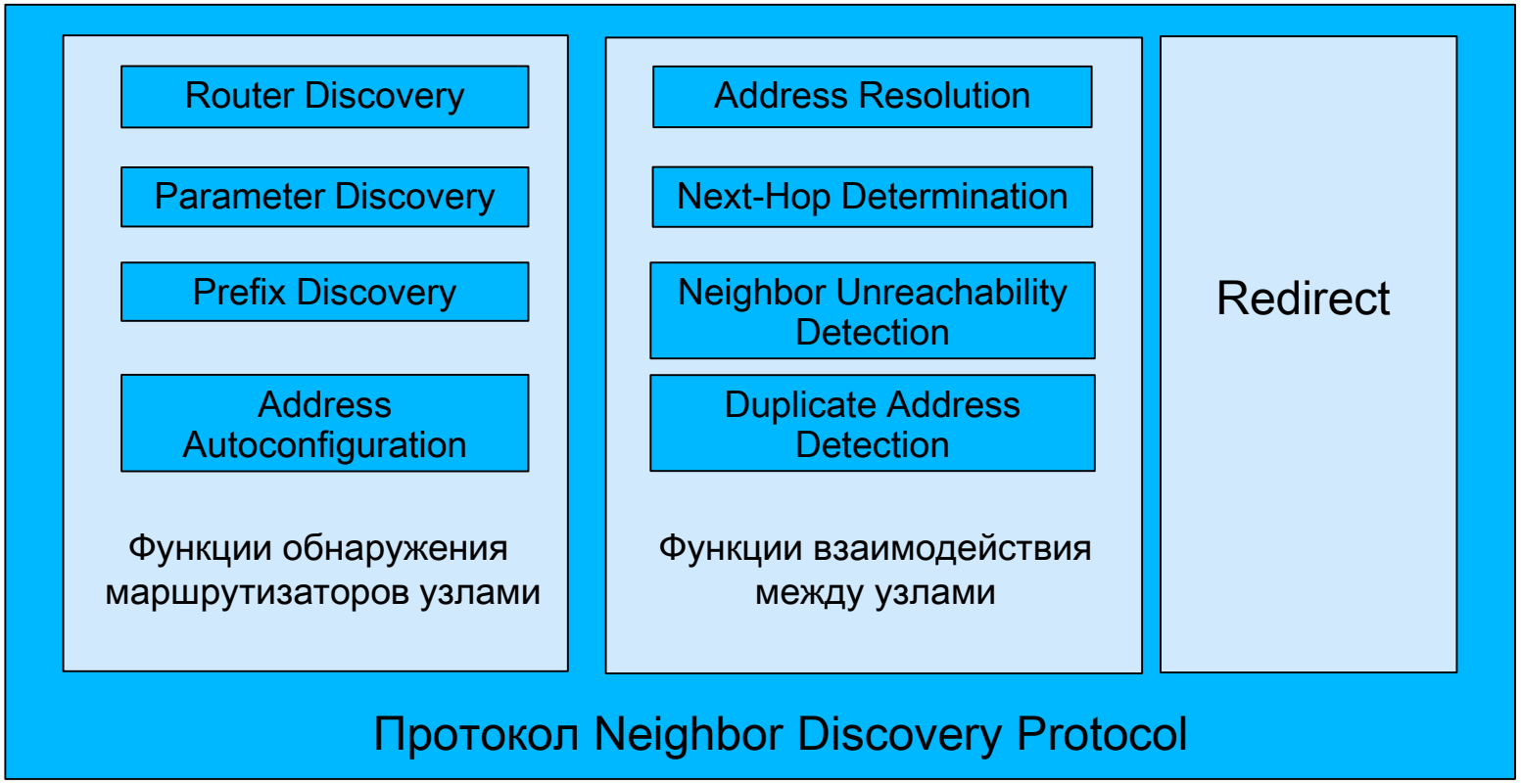
Номер подсети	Префикс сети	Диапазон адресов
0710	fd89:5a47:3947:0710::/64	fd89:5a47:3947:710:0:0:0:0 – fd89:5a47:3947:710:ffff:ffff:ffff:ffff
0711	fd89:5a47:3947:0711::/64	fd89:5a47:3947:711:0:0:0:0 – fd89:5a47:3947:711:ffff:ffff:ffff:ffff
0712	fd89:5a47:3947:0712::/64	fd89:5a47:3947:712:0:0:0:0 – fd89:5a47:3947:712:ffff:ffff:ffff:ffff
0713	fd89:5a47:3947:0713::/64	fd89:5a47:3947:713:0:0:0:0 – fd89:5a47:3947:713:ffff:ffff:ffff:ffff
0714	fd89:5a47:3947:0714::/64	fd89:5a47:3947:714:0:0:0:0 – fd89:5a47:3947:714:ffff:ffff:ffff:ffff

Идентификаторы в каждой подсети могут быть сформированы динамически одним из описанных ранее способов или вручную.

Neighbor Discovery Protocol

Протокол Neighbor Discovery Protocol (NDP)

- Протокол Neighbor Discovery Protocol (NDP) – протокол стека TCP/IPv6. Определен в RFC 4861.
- Протоколом NDP реализованы ряд функций, относящихся к взаимодействию устройств локальной сети и функция разрешения адресов.
- В RFC 4861 определены девять функций, выполняемых протоколом NDP:



Neighbor Discovery Protocol

Функции обнаружения маршрутизаторов узлами:

- **Router Discovery** – позволяет узлам локальной сети обнаруживать маршрутизаторы и получать от них сетевые параметры, необходимые для автоконфигурации;
- **Parameter Discovery** – позволяет узлам получать параметры локальной сети и/или маршрутизаторов, например MTU локального канала связи;
- **Prefix Discovery** – используется для определения префикса сети;
- **Address Autoconfiguration** – необходима для автоконфигурации узлов и взаимодействия между ними.

Функции взаимодействия между узлами:

- **Address Resolution** – функция разрешения IPv6-адресов в адресе канального уровня;
- **Next-Hop Determination** – позволяет определить IPv6-адрес назначения пакета и его путь до следующего маршрутизатора;
- **Neighbor Unreachability Detection** – позволяет отслеживать состояние каналов связи между соседними узлами локальной сети;
- **Duplicate Address Detection** – позволяет определить дублирование адресов узлов локальной сети.

- **Redirect** – используется маршрутизаторами для уведомления узлов о наилучшем маршруте к пункту назначения.

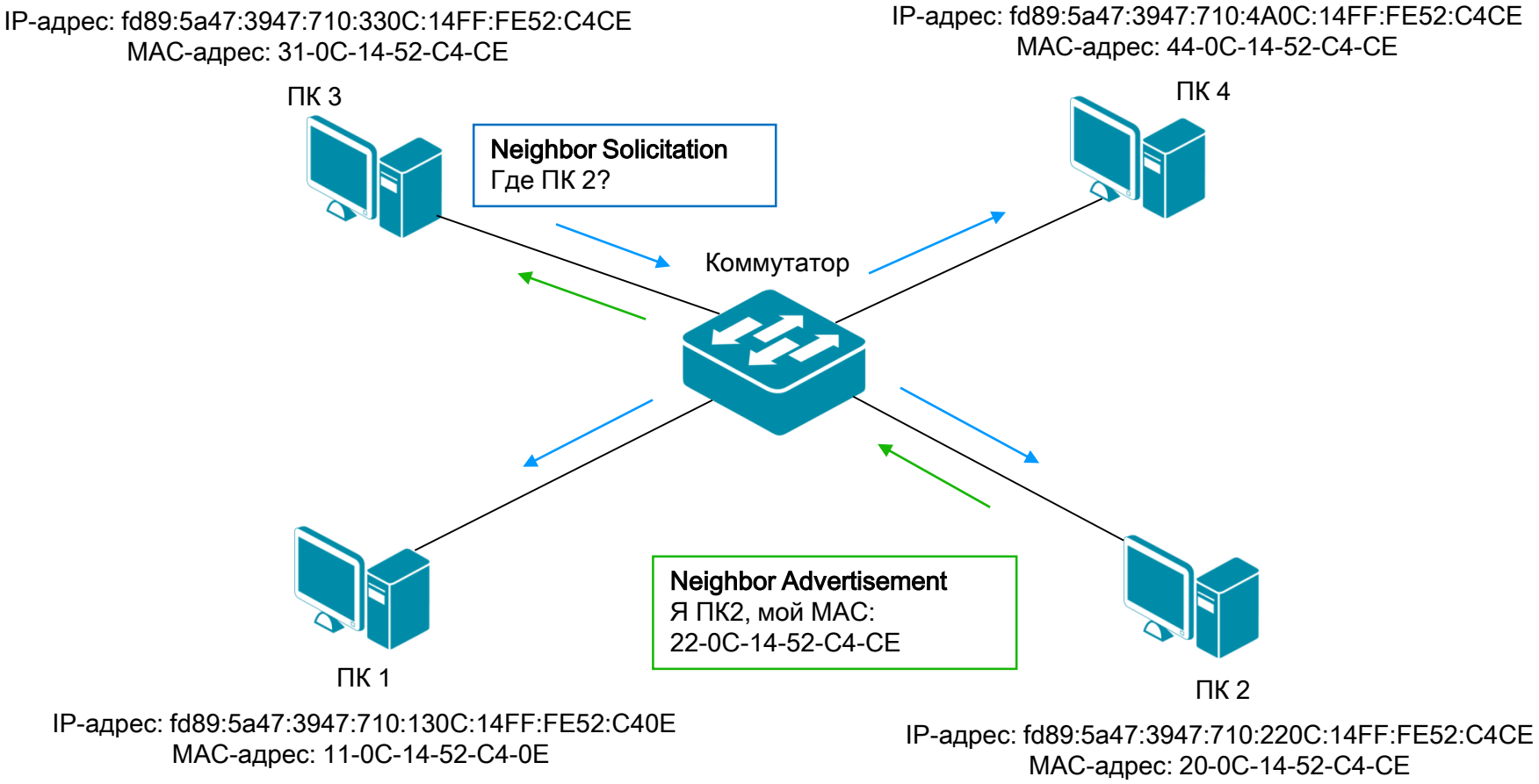
Neighbor Discovery Protocol

Протокол Neighbor Discovery Protocol (NDP)

- Большинство функций протокола NDP выполняется с использованием пяти сообщений протокола ICMPv6:
  - **Router Solicitation** – отправляется узлами для того, чтобы запросить любой локальный маршрутизатор отправить сообщение Router Advertisement, не дожидаясь момента следующего периодического объявления. Используется при автоконфигурации узла;
  - **Router Advertisement** – регулярно отправляются маршрутизаторами для того, чтобы объявить о своем существовании в сети и предоставить узлам информацию о префиксе и/или дополнительных параметрах. Это сообщение также может быть отправлено в ответ на сообщение Router Solicitation;
  - **Neighbor Solicitation** - отправляется узлом для того, чтобы определить адрес канального уровня соседнего устройства или проверить доступность соседа с помощью адреса канального уровня, хранимый в NDP-таблице. Также используется для определения дублирования адресов (Duplicate Address Detection);
  - **Neighbor Advertisement** - отправляется в ответ на сообщение Neighbor Solicitation. Это сообщение может быть отправлено узлом при изменении адреса канального уровня.
  - **Redirect** - используется маршрутизаторами для уведомления узлов о наилучшем маршруте к пункту назначения.

Разрешение IPv6-адресов с помощью протокола NDP

- Для выполнения функции разрешения адресов в протоколе NDP используется два сообщения ICMPv6:
  - **Neighbor Solicitation** (NS) – для того чтобы узнать адрес канального уровня, узел отправляет сообщение на групповой адрес Solicited-Node.
  - **Neighbor Advertisement** (NA) – ответ на сообщение Neighbor Solicitation, в котором содержится адрес канального уровня.



слайд анимирован

Neighbor Discovery Protocol

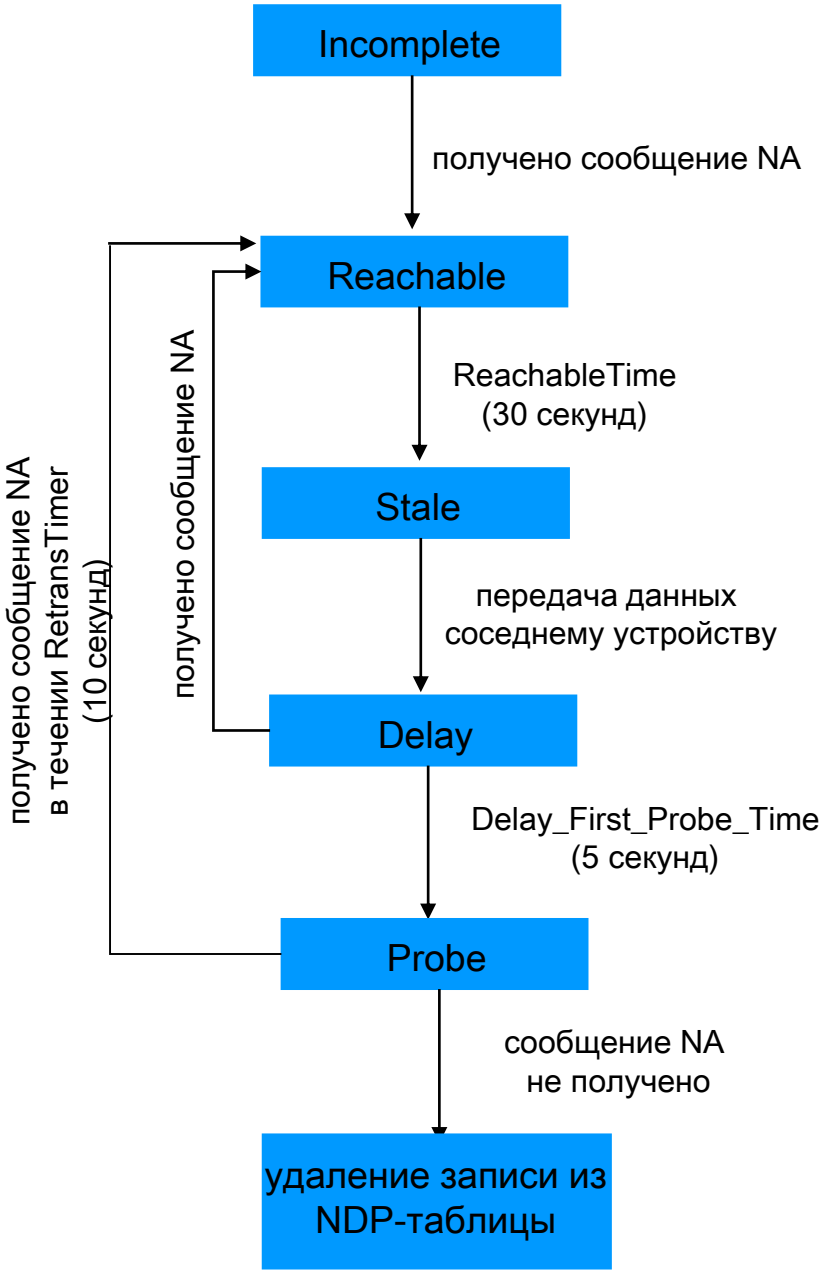
Разрешение IPv6-адресов с помощью протокола NDP

- На основании полученного сообщения Neighbor Advertisement устройство добавляет в NDP-таблицу (neighbor cache) новую запись, связывающую IPv6-адрес с соответствующим MAC-адресом соседнего устройства, от которого это сообщение получено.
- Так же, как и в ARP-таблице, в NDP-таблице могут храниться и *статические*, и *динамические* записи.

Neighbor Discovery Protocol

- Динамическая запись в NDP-таблице может находиться в одном из пяти состояний:

- **Incomplete** – состояние, когда сообщение Neighbor Solicitation отправлено на групповой адрес Solicited-Node, но ответное сообщение Neighbor Advertisement еще не получено;
- **Reachable** – состояние, когда сообщение Neighbor Advertisement получено. Продолжительность этого состояния записи в NDP-таблице ограничено таймером ReachableTime (по умолчанию 30 секунд);
- **Stale** – состояние, в которое переходит запись по истечении времени таймера ReachableTime с момента последнего получения сообщения Neighbor Advertisement;
- **Delay** – состояние, в которое переходит запись при передаче данных соседнему устройству. При этом устанавливается таймер Delay_First_Probe_Time (по умолчанию 5 секунд). Если по истечении времени таймера запись все еще остается в состоянии Delay, статус записи меняется на Probe. Если же подтверждение достижимости было получено, состояние записи меняется на Reachable.
- **Probe** – состояние записи, при котором устройство отправляет сообщение Neighbor Solicitation через промежутки времени, определяемые таймером RetransTimer (по умолчанию 10 секунд). Если в течение трех последовательных передач сообщения Neighbor Solicitation получено сообщение Neighbor Advertisement, то запись переходит в состояние Reachable, в противном случае запись удаляется из NDP-таблицы.



Neighbor Discovery Protocol

Определение недоступности соседа (Neighbor Unreachability Detection, NUD)

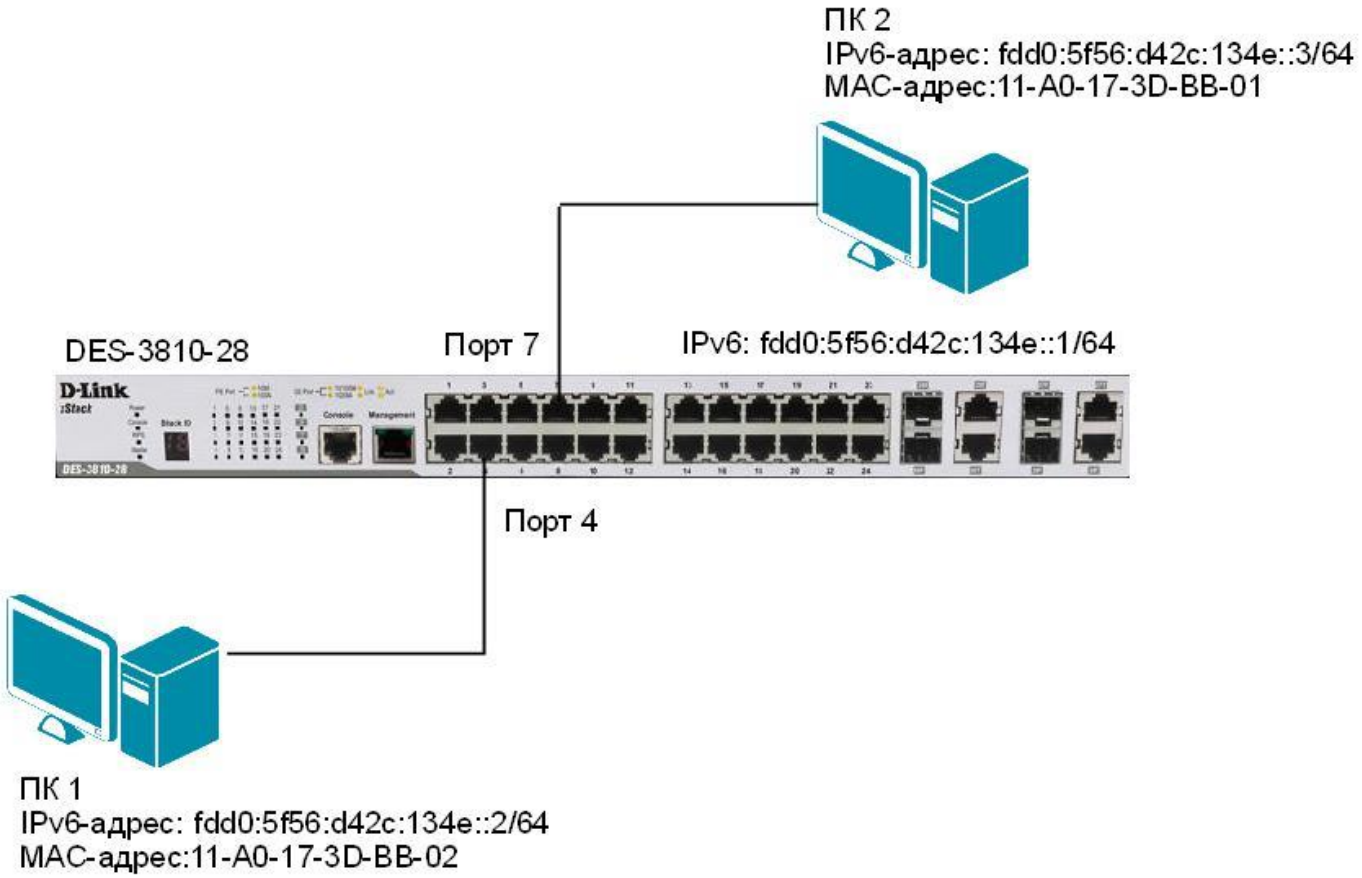
- Функция NUD позволяет отслеживать состояние каналов связи между соседними узлами локальной сети.
- Функция NUD использует сообщения Neighbor Solicitation и Neighbor Advertisement.
- Операции функции NUD выполняются параллельно с отправкой пакетов соседним устройствам, и если между ними нет обмена данными, то сообщения Neighbor Solicitation и Neighbor Advertisement не отправляются.

Neighbor Discovery Protocol

Настройка разрешения IPv6-адресов с помощью протокола NDP

Пример:

- Рассмотрим пример формирования NDP-таблицы (neighbor cache) на коммутаторе 3-го уровня DES-3810-28.



Neighbor Discovery Protocol

Настройка коммутатора DES-3810-28

- Создать статическую запись для ПК1 в NDP-таблице:

```
create ipv6 neighbor_cache ipif System fdd0:5f56:d42c:134e::2
   11:A0:17:3D:BB:02
```

- Настроить время периодической отправки сообщений Neighbor Solicitation с интерфейса System для создания динамических записей в NDP-таблице:

```
config ipv6 nd ns ipif System retrans_time 400
```

- Посмотреть информацию о соседних устройствах, подключенных к интерфейсу System (NDP-таблицу):

```
show ipv6 neighbor_cache ipif System all
```

Neighbor Discovery Protocol

Определение дублирования адресов (Duplicate Address Detection, DAD)

- При использовании механизма автоконфигурации IPv6-адреса необходимо определить, что адрес Link-Local, который сегментирован узлом, уже не используется другим узлом, т. е. проверить *дублирование адресов* (Duplicate Address Detection, DAD).
- Для этого в сеть отправляется сообщение Neighbor Solicitation, если в ответ на него получено сообщение Neighbor Advertisement, это означает, что данный адрес уже используется другим узлом.
- В этом случае процесс автоконфигурации завершается и требуется ручная настройка интерфейса.

Neighbor Discovery Protocol

Обнаружение маршрутизатора (Router Discovery)

- Одной из важных функций протокола NDP является реализация процесса обнаружения узлами локальных маршрутизаторов – *Router Discovery*. При этом узлы локальной сети обнаруживают соседние маршрутизаторы и получают от них сетевые параметры, необходимые для автоконфигурации.
- Операция обнаружения узлами маршрутизаторов выполняется с помощью сообщений ICMPv6 *Router Advertisement* и *Router Solicitation*.
- В процессе обнаружения маршрутизаторов (коммутаторов 3-го уровня) узлы выполняют следующие функции:
  - **Рассылка объявлений**. Узлы прослушивают объявления Router Advertisement, передаваемые маршрутизаторами (коммутаторами L3) в локальной сети через определенные интервалы времени и обрабатывают их. Объявления содержат список префиксов, в том числе необходимых для автоконфигурации, а также могут включать информацию о шлюзе по умолчанию;
  - **Генерация запросов.** При определенных условиях (например, узел загружается и ему требуются параметры для конфигурации интерфейса) узлы могут генерировать сообщения Router Solicitation. С помощью этого сообщения узел запрашивает любой локальный маршрутизатор о мгновенном предоставлении информации, т.е. отправке сообщения Router Advertisement;
  - **Автоконфигурация.** Если в сети настроен механизм автоконфигурации Stateless autoconfiguration, то узел будет использовать информацию, полученную от локального маршрутизатора, чтобы автоматически сконфигурировать свой IPv6-адрес и другие сетевые параметры.

Спасибо за внимание!

D-Link®
Building Networks for People