

# Компьютерные сети (NET101)

Сетевой уровень. Сети TCP/IP.

# Содержание лекции

---

- Обзор сетевого уровня
  - Функции сетевого уровня
  - Общие вопросы маршрутизации
    - Типы маршрутизации
    - Алгоритмы динамической маршрутизации
- Сетевой уровень сетей TCP/IP
  - Адресация в TCP/IP-сетях
    - Типы адресов
    - Преобразование адресов
      - Протокол ARP
      - Служба DNS
    - Назначение IP-адресов
      - Протокол DHCP
  - Протокол IPv4
    - Формат IP-пакета
  - Маршрутизация в IP-сетях
    - Таблица маршрутизации и протоколы динамической маршрутизации
  - Диагностика сети
    - Протокол ICMP



# Функции сетевого уровня

---

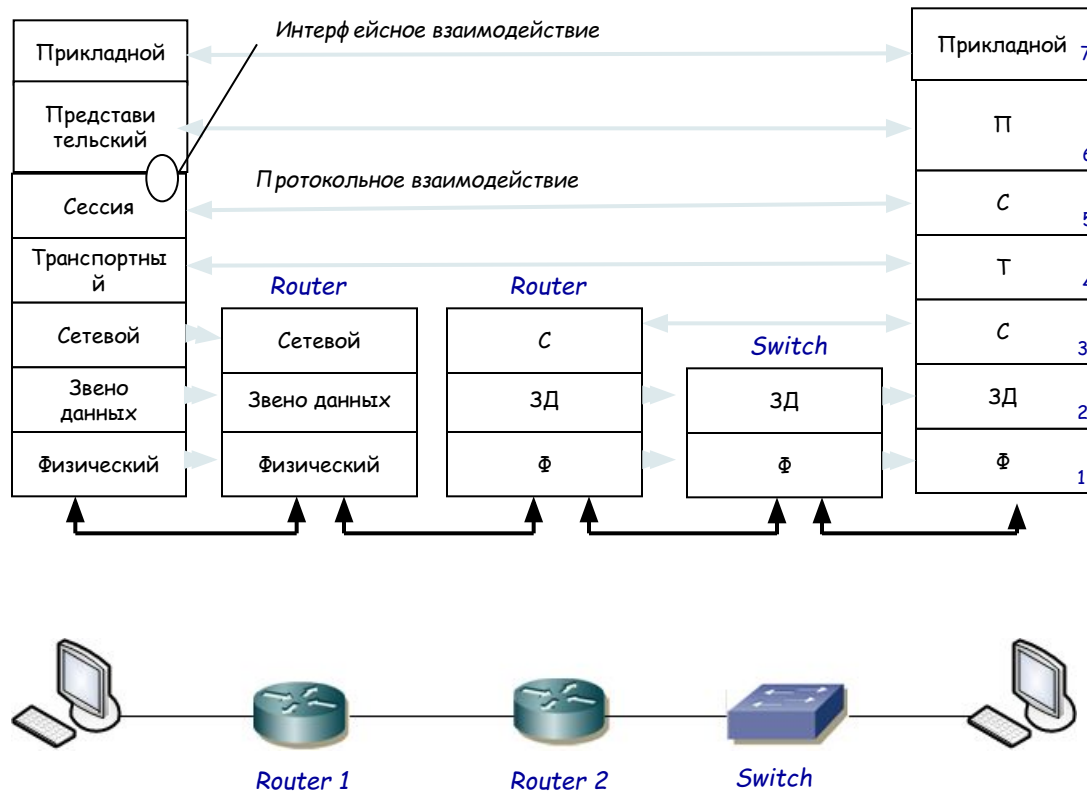
Прикладно й
Представи тельный
Сессия
Транспортн ый
<b>Сетевой</b>
Звено данных
Физический

- Базовые функции
  - Адресация
  - Маршрутизация
  - Управление потоком
- Дополнительные функции
  - Фрагментация
  - Диагностика сети



# Маршрутизатор

## Маршрутизатор (Router)



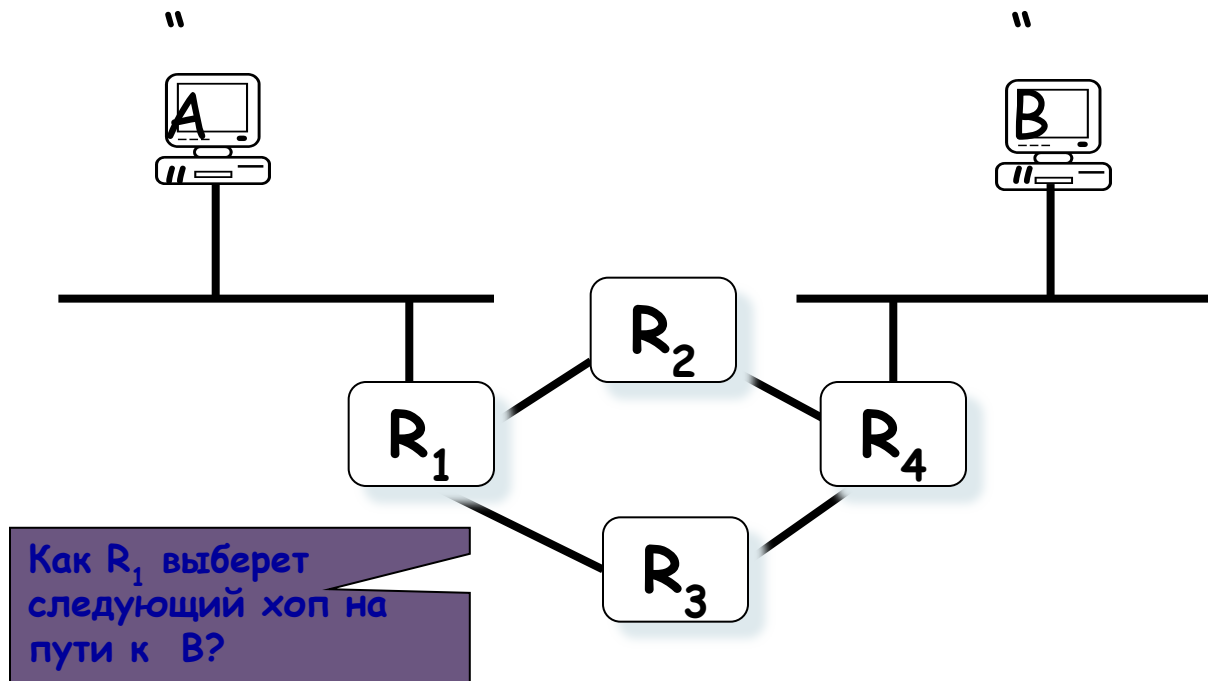
Сколько здесь сетей?



# Маршрутизация (routing)

Процессы:

- выбор маршрута до узла назначения при пересылке пакета (forwarding)
- распространение информации о существующих в сети маршрутах (route information exchange)



# Типы маршрутизации

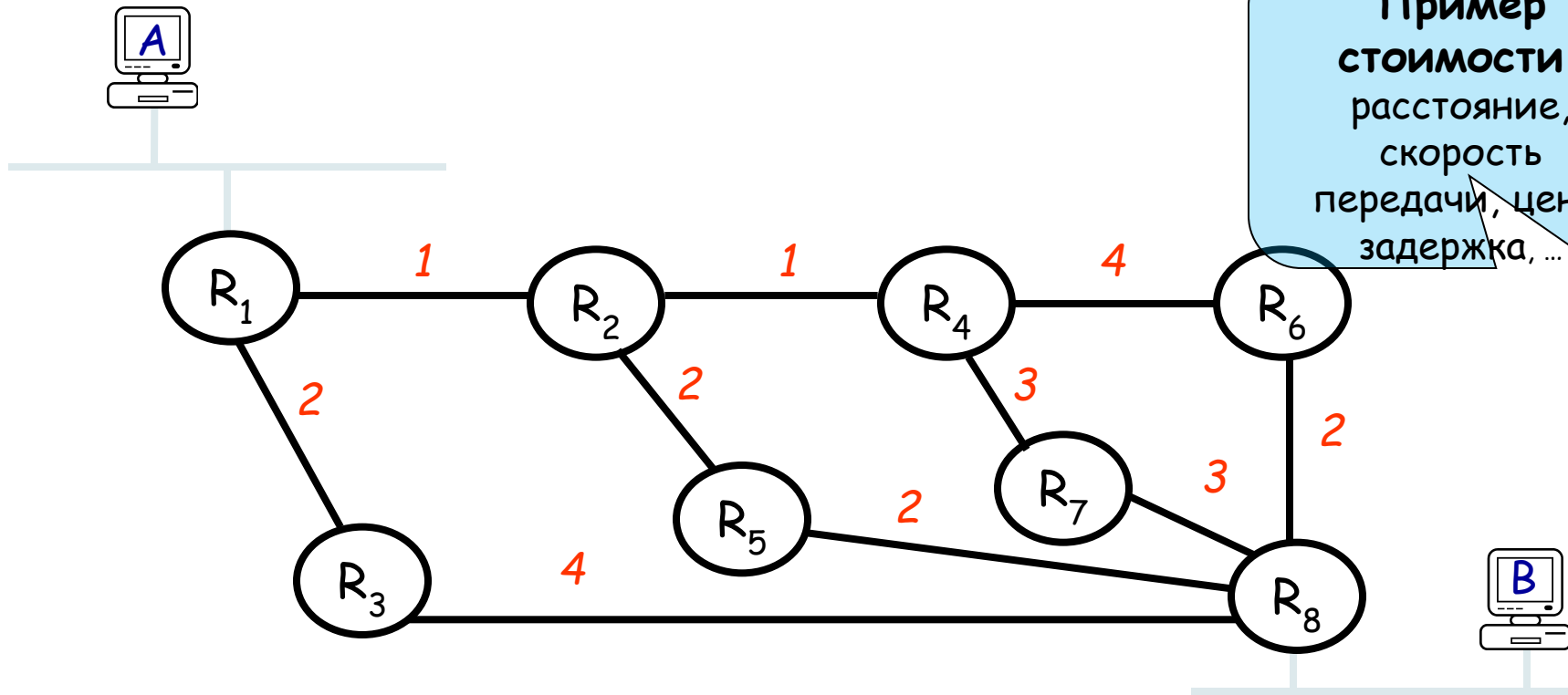
---

- Статическая
- Квазистатическая
  - Лавинная
- Динамическая
  - Распределенный алгоритм Беллмана-Форда
  - Алгоритм Дейкстры Shortest Path First (SPF)



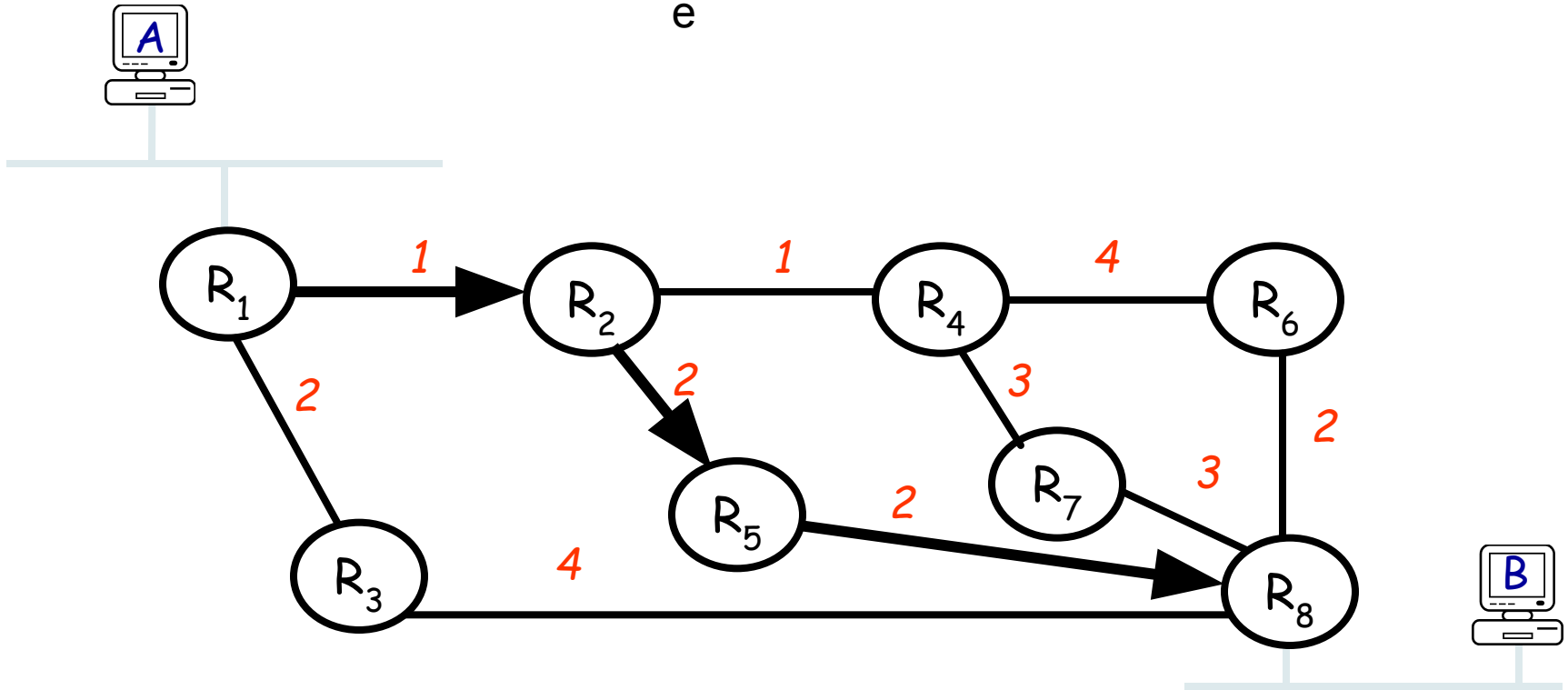
# Пример сети

**Задача:** найти путь от А к В который минимизирует стоимость пути.



# Пример сети

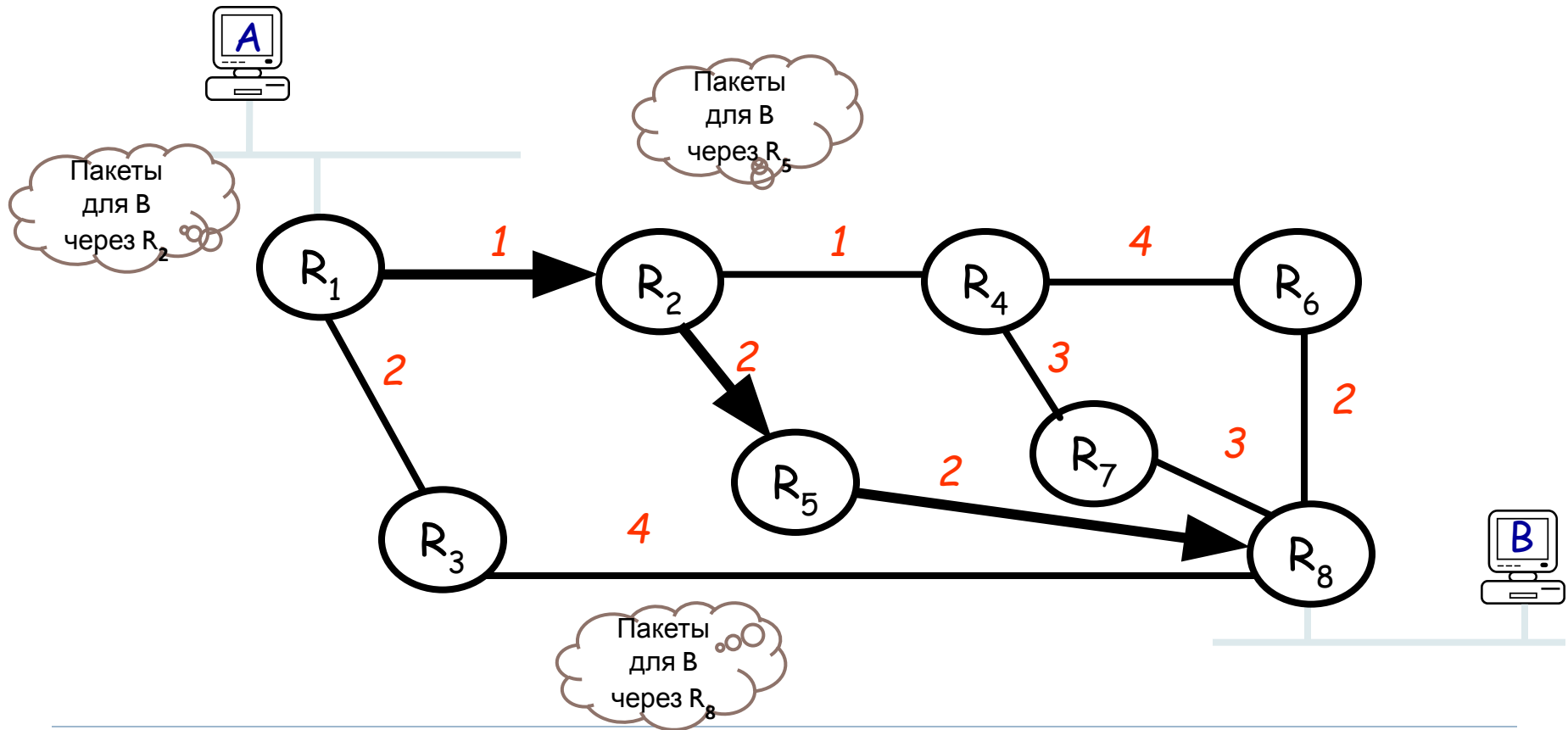
Решени  
е





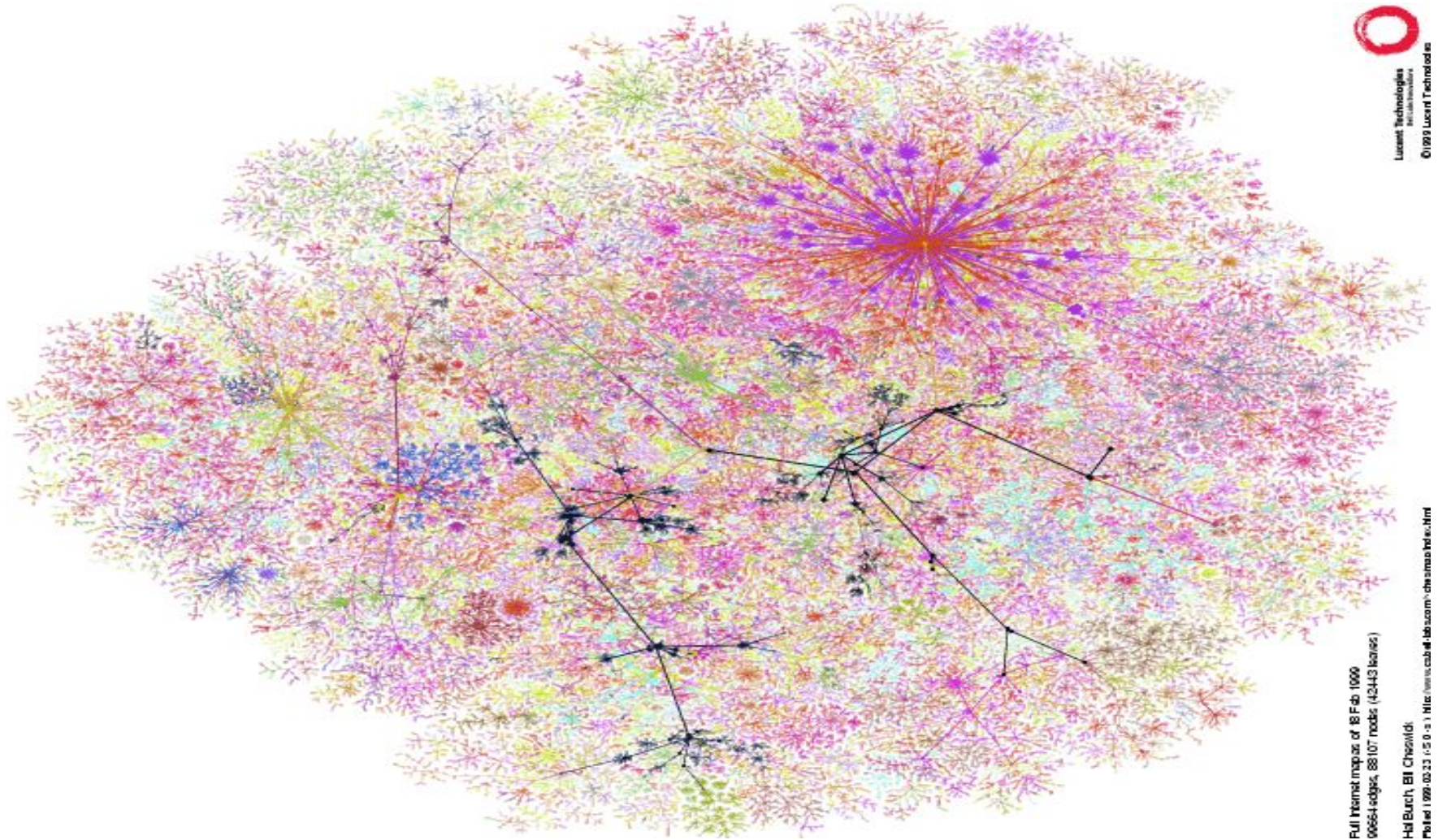
# Статическая маршрутизация

Зная оптимальный маршрут заранее,  
настроим маршрутизаторы так,  
чтобы пакеты шли только по этому маршруту



# А как быть с такой сетью...!?

*Internet в 1999*



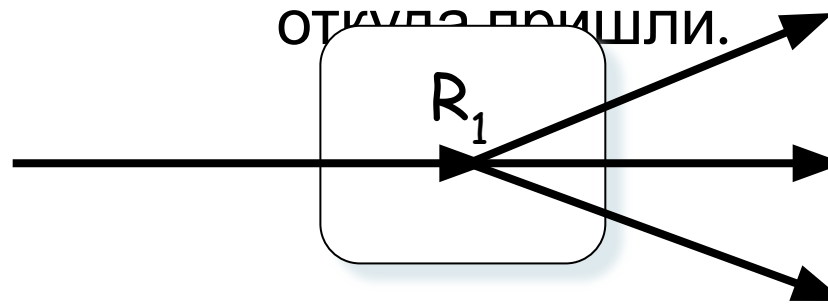
Full Internet map as of 18-Feb-1999  
90664 edges, 88107 nodes (43443 leaves)

H.J. Burch, B.I. Chen@idi.

Posted: 1999-02-23 11:50:31 <http://nic.funnet.cba.tlab.su.com/~chen/bi/vis.html>

# Лавинный алгоритм

Пакеты передаются во все направления, кроме тех,



## Преимущества:

- простота;
- любой узел сети доступен.

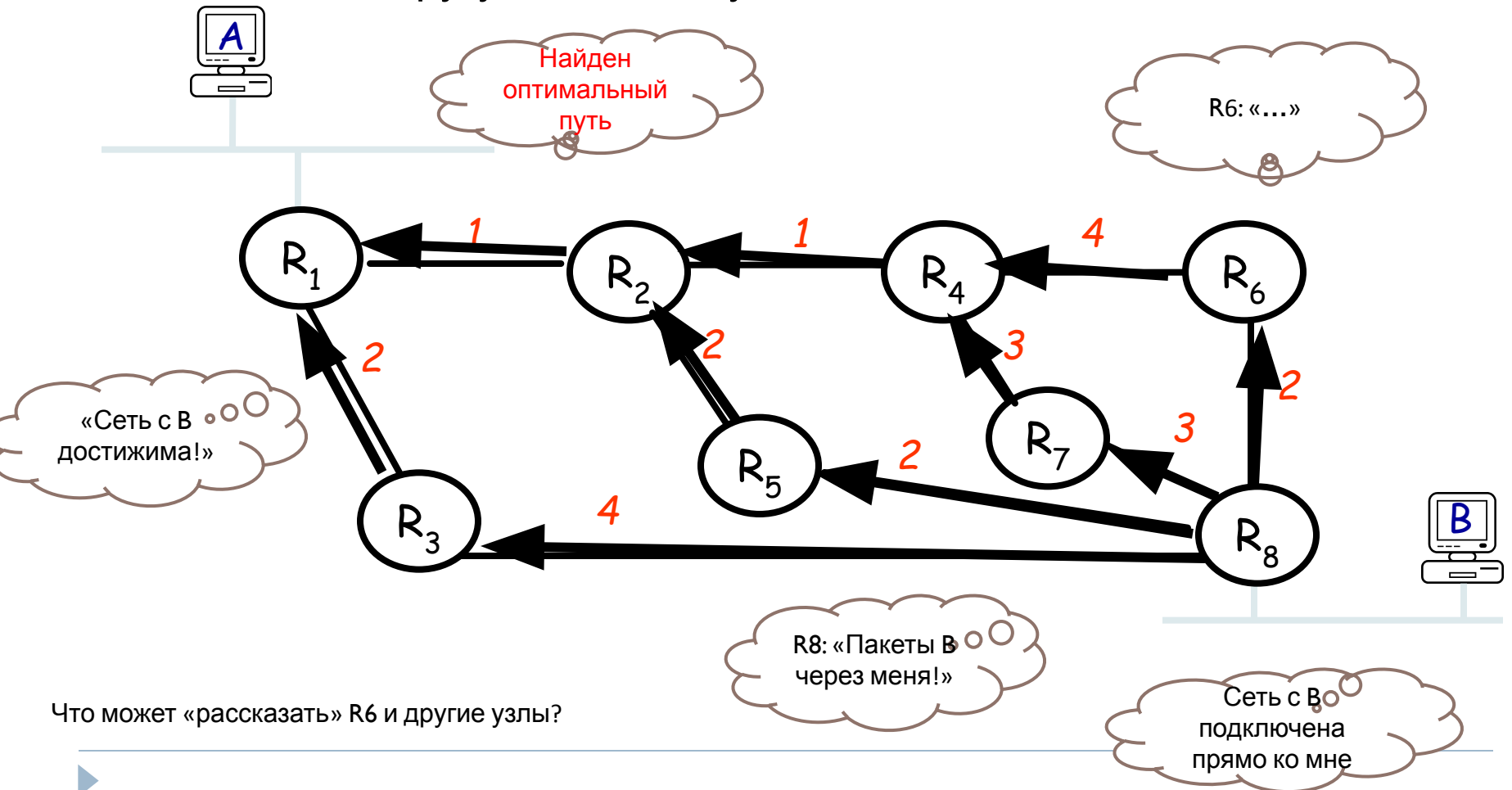
## Недостатки:

- пакеты могут приходиться на промежуточные узлы несколько раз;
- может быть зацикливание;
- загрузка сети.



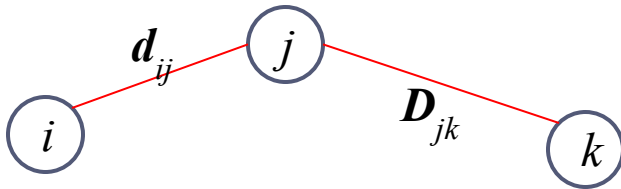
# Динамическая маршрутизация

Идея: маршрутизаторы должны «**рассказать**» друг другу о том как лучше доставить пакет



# Распределенный DV алгоритм Bellman-Ford

Маршрутизаторы периодически обмениваются информацией о стоимости лучшего известного им пути к сети (узлу) назначения. Если таких сетей несколько – получается вектор расстояний (Distance Vector, DV)



$d_{ij}$  – стоимость передачи по линии связи между узлами  $i$  и  $j$

$$d_{ii} = 0$$

$d_{ij} = \infty$ , если узлы не связаны

$D_{ij}$  – стоимость пути между узлами  $i$  и  $j$

Алгоритм для узла  $i$ :

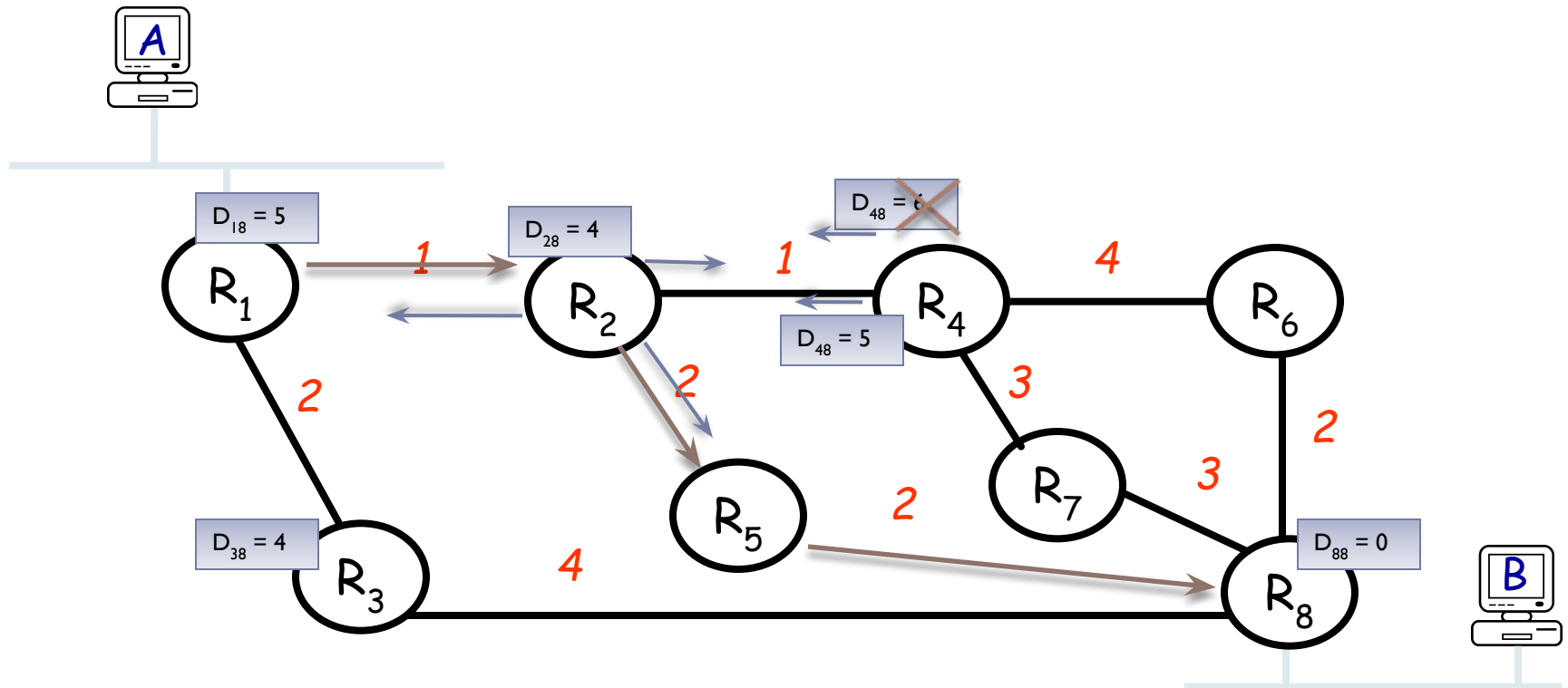
1.  $D_{ii} = 0; D_{ij} = \infty;$

2.  $D_{ii} = \min \{d_{ik} + D_{kj}\}, i \neq j,$   
*k подключен к i*

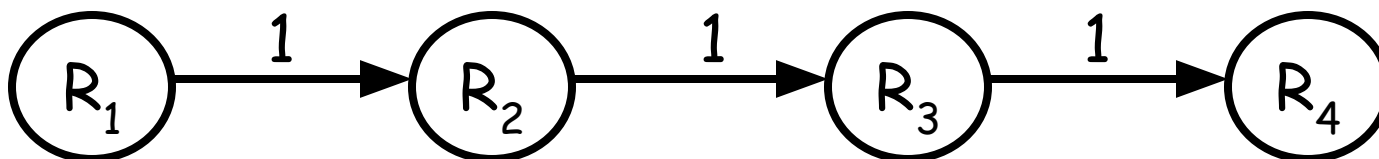
Периодически  
повторяется

Получено от  $k$  в векторе  
расстояний (DV):  
 $\{D_{k1}, D_{k2}, \dots, D_{kn}\}$

# Пример сети



# Проблема алгоритма Bellman-Ford



Рассмотрим как будет вычисляться расстояние до

$R_4$ :

Time	$R_1$	$R_2$	$R_3$
0	3, $R_2$	2, $R_3$	1, $R_4$
1	3, $R_2$	2, $R_3$	3, $R_2$
2	3, $R_2$	4, $R_3$	3, $R_2$
3	5, $R_2$	4, $R_3$	5, $R_2$
...	До бесконечности		...

← отказ связи  $R_3 \rightarrow R_4$

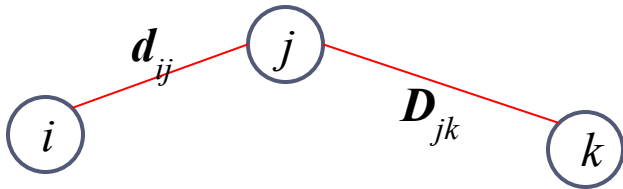
Решение:

Установить предел расстояния (небольшое значение 16) после которого связь считается разорванной.

# Алгоритм Дейкстры Shortest Path First (SPF)

## Алгоритм SPF:

- предполагает знание топологии сети: **узлы, наличие связей между ними и состояние этих связей** (Link State\*, LS);
- строит покрывающее сеть дерево таким образом, чтобы стоимость путей от корня до листовых вершин была минимальной.



$d_{ij}$  – стоимость передачи по линии связи между узлами  $i$  и  $j$

$$d_{ii} = 0$$

$d_{ij} = \infty$ , если узлы не связаны

$D_{ij}$  – стоимость пути между узлами  $i$  и  $j$

$N$  – все узлы сети

$N_k$  – узлы сети, соседние с  $k$

$S$  – узлы, включенные в дерево

$C$  – узлы-кандидаты на включение в дерево

Алгоритм для узла  $i$ :

1.  $D_{ii} = 0$ ;

$$S = \{i\}, C = N \setminus \{i\}.$$

$$D_{ij} = d_{ij}, j \in C;$$

2. Найми  $k \in C$ , такое что  $D_{ik} = \min_{m \in C} D_{im}$ ;

$$S = S \cup \{k\};$$

$$C = C \setminus \{k\};$$

Закончить, если  $C$  пусто.

3. Для  $j \in N_k \cap C$  пересчитать  $D$ :

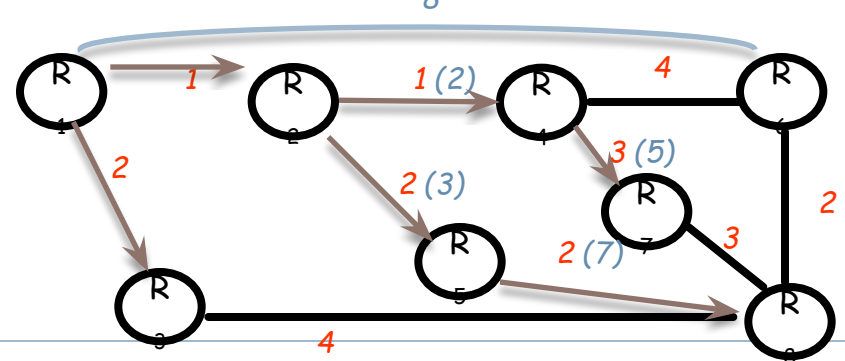
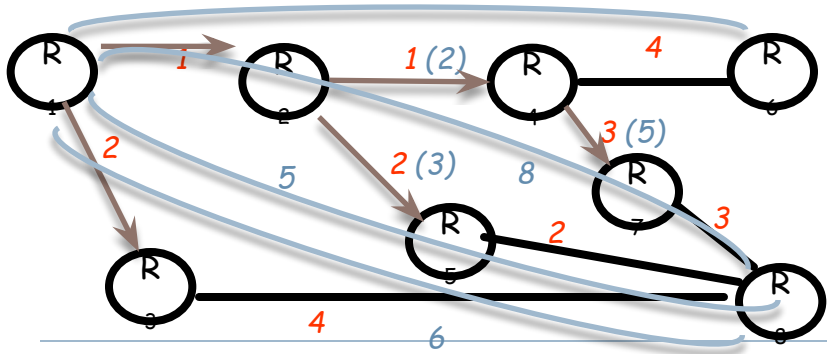
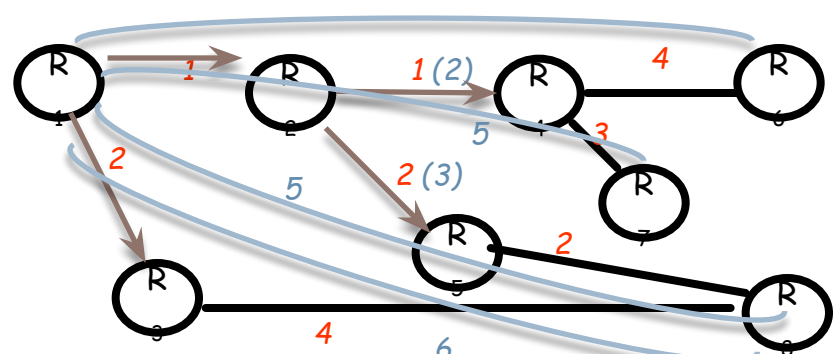
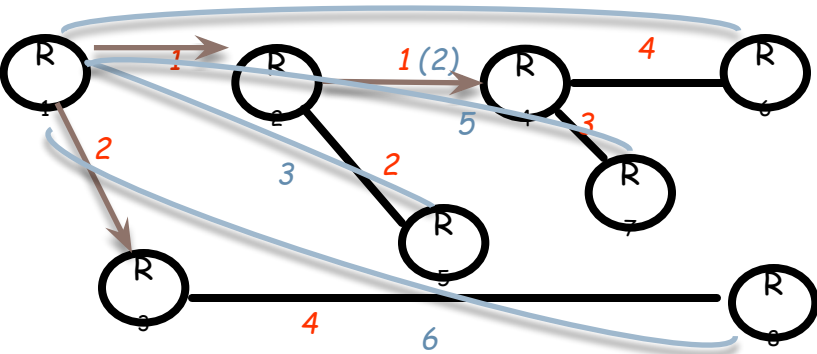
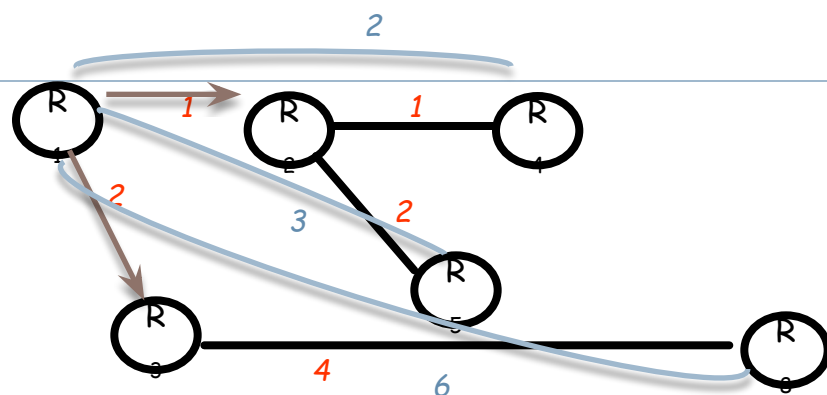
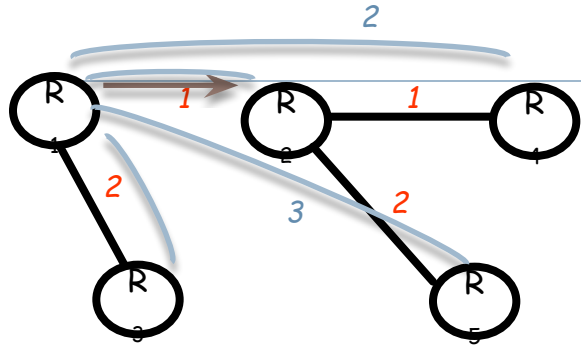
$$D_{ij} = \min \{D_{ij}, D_{ik} + d_{km}\}$$

Перейти к шагу 2.

\* отсюда и название семейства протоколов “Link State”



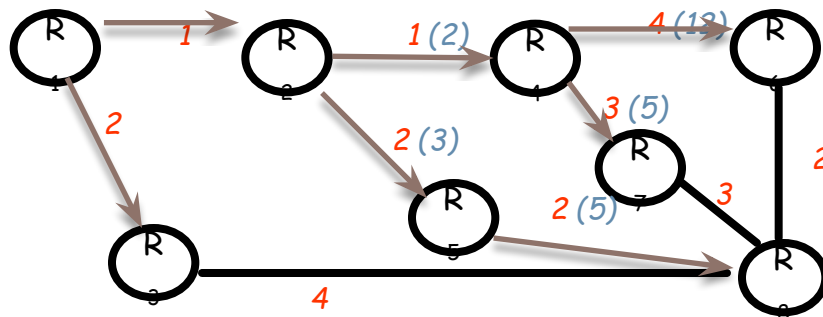
# Пример работы SPF



# Пример работы SPF


Покрывающее дерево, полученное в результате работы SPF на узле

R<sub>1</sub>.



Куда	Путь	Стоимость
R2	R2	1
R3	R3	2
R4	R2, R4	2
R5	R2, R5	3
R6	R2, R4, R6	12
R7	R2, R4, R7	5
R8	R2, R5, R8	7

# LS-протоколы маршрутизации

---

Описать работу LS-протокола маршрутизации можно так:

- каждый маршрутизатор самостоятельно вычисляет кратчайший путь до остальных узлов сети (маршрутизаторов и сетей), используя SPF;
- необходимую SPF информацию о топологии сети маршрутизатор накапливает в процессе обмена с другими маршрутизаторами LS-сообщениями;
- все сообщения LS рассылаются по сети неизменными;
- маршрутизаторы хранят последние версии сообщений LS.



# Сравнение алгоритмов Беллмана-Форда и Дейкстры

---

## Bellman-Ford:

(+) простой в реализации

(-) долго реагирует на  
изменения в сети

(-) проблема счёта до  
бесконечности

---

► Dijkstra's SPF:

# Адресация в ТСР / IP-сетях

---

## □ Три типа адресов

□ *Локальные (аппаратные) адреса* узлов в пределах одной из подсетей, объединяемых IP-сетью

- уникальны в пределах одной такой подсети
- Пример: MAC-адрес 00-1C-F0-63-16-04

□ *Сетевые адреса узлов IP-сети*

- уникальны в пределах всей сети
- Пример: IP-адрес 195.54.14.135

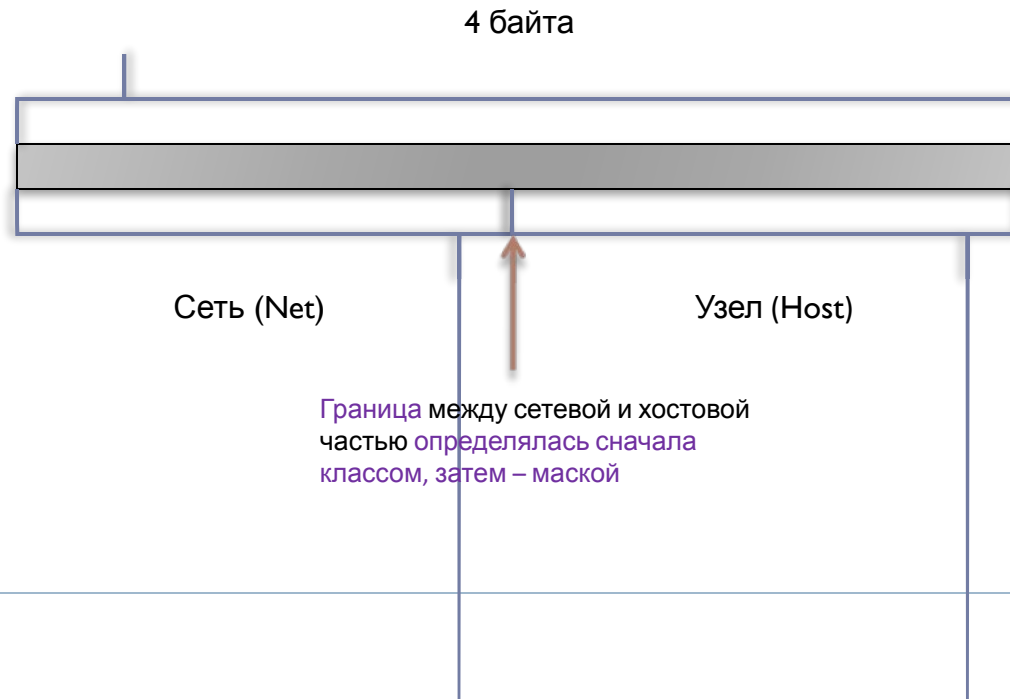
□ *Символьные адреса*

- используются как удобная для пользователя форма сетевого адреса
- Пример: доменное имя iit.uio.csu.ru



# IP-адресация

- Иерархическая организация адресного пространства
- Длина адреса IPv4 **4 байта** (32 бита)
  - старшие биты – номер сети
  - младшие биты – номер узлы внутри сети
- Имеются зарезервированные специальные адреса
- Для удобства адреса принято записывать побайтно через точку, например 195.54.2.1



# Соглашения о специальных адресах

---

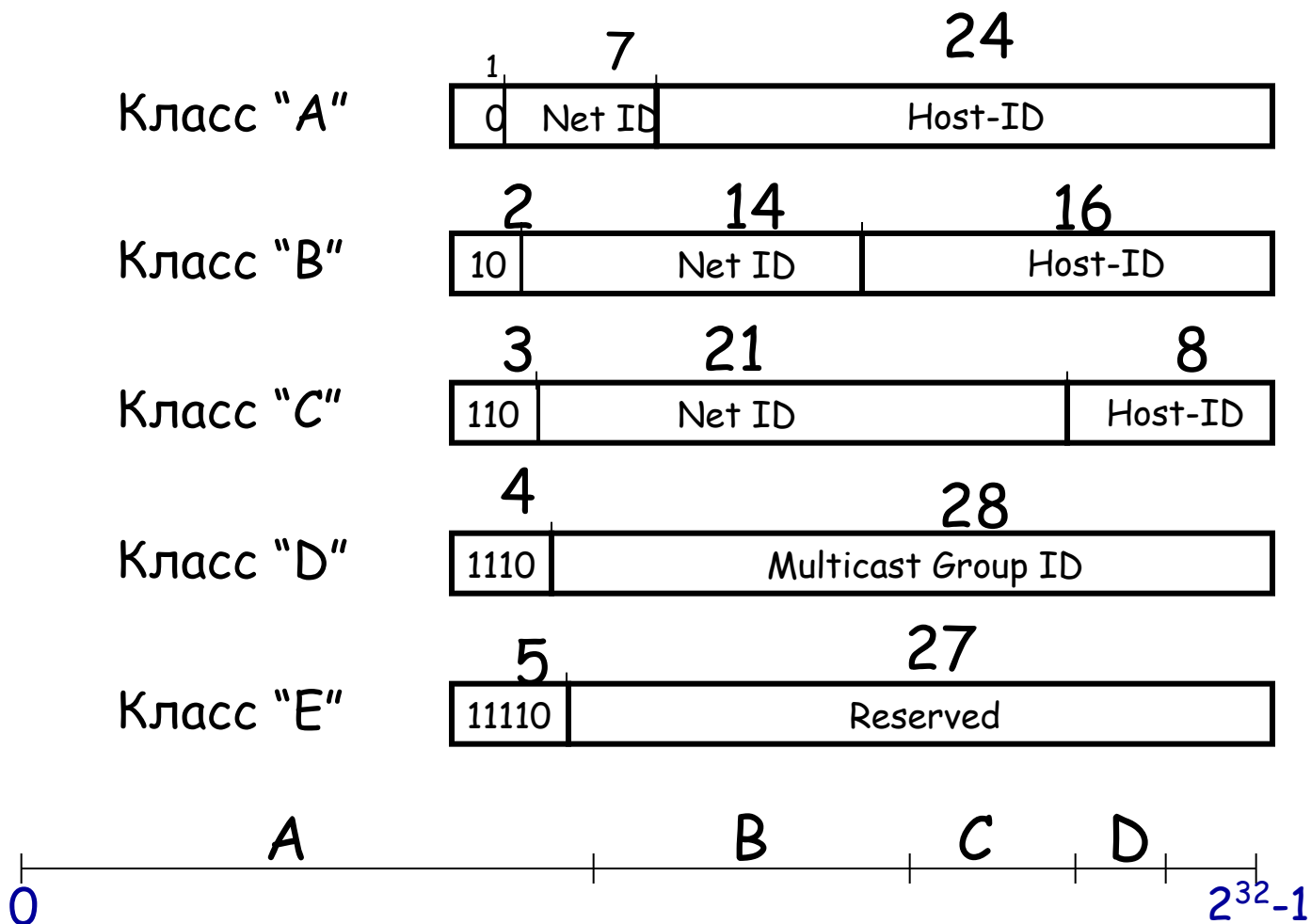
## { <номер сети>, <номер узла> }

- ▣ { 0, 0 } - обозначает данный узел (ex. 0.0.0.0)
- ▣ { 0, <номер узла> } - узел в данной локальной IP-сети
- ▣ { <номер сети>, 0 } - данная IP-сеть (ex. 194.28.0.0)
- ▣ { <номер сети>, -1 } - все узлы в указанной IP-сети (ex. 194.28.0.255)
- ▣ { -1, -1 } - все узлы в данной локальной сети (ex. 255.255.255.255)
- ▣ { 127, <любое число> } – локальная петля (ex. 127.0.0.1)



# IP-адрес

Первоначально 5 классов:





# Проблема исчерпания адресов IP v4

---

## Варианты решения:

- ❖ более эффективно перераспределить существующие
  - ❖ как «распилить» классовые сети?
- ❖ позволить организациям использовать одни и те же адреса
  - ❖ как маршрутизировать?
- ❖ изобрести новый протокол (с более длинным адресом)



# Дальнейшее развитие IP-протокола (IPv6)

---

RFC-1752  
RFC-1826  
RFC-1827  
RFC-1883  
RFC-1885  
RFC-1887  
\* \* \*

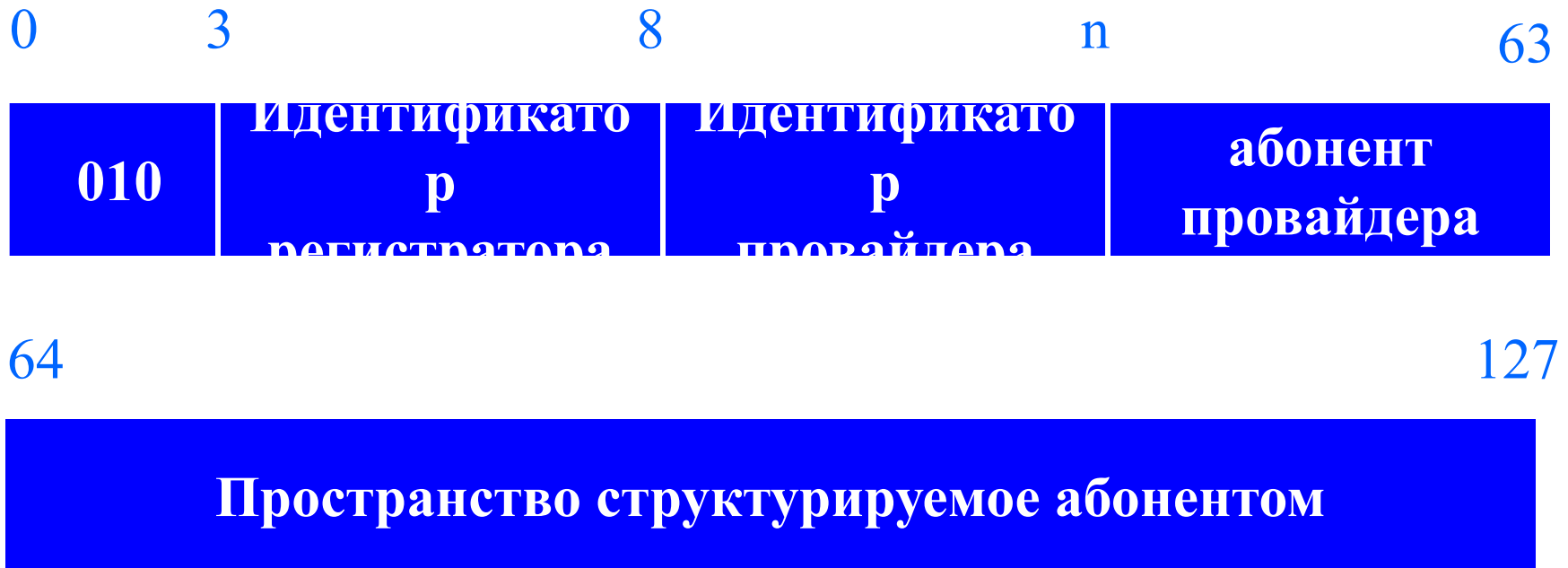
## **Причины развития:**

- Решение проблемы исчерпания адресов IPv4!
- Повышение производительности коммуникационного оборудования
- Появление новых приложений и мультимедиа
- Новые стратегии администрирования



# Структура адреса IPv6

---



# Соглашения о частных адресах

---

- **Частные («серые») адреса**

  - 10.0.0.0 - 10.255.255.255**

  - 172.16.0.0 – 172.31.0.0**

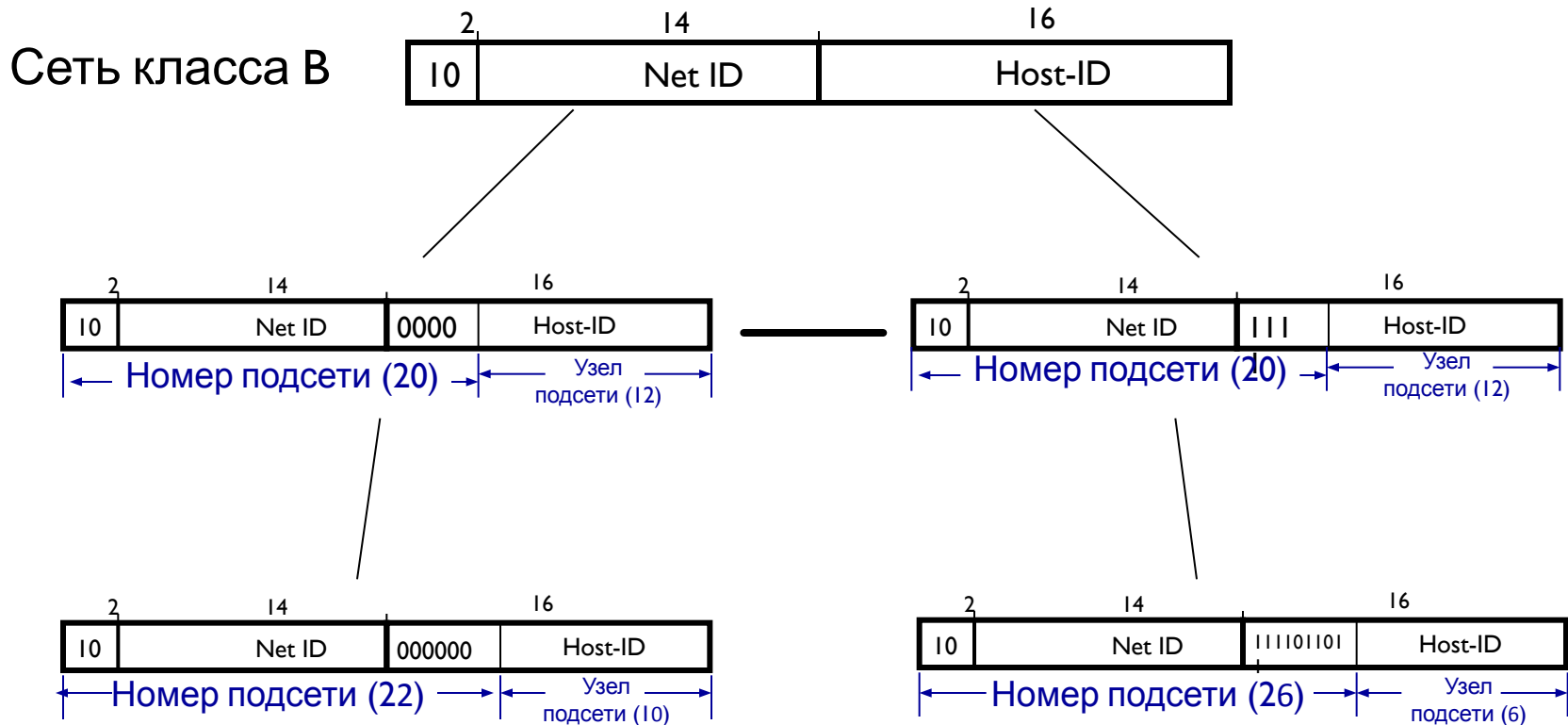
  - 192.168.0.0 – 192.168.255.0**

- **Не маршрутизируются в Internet**



# Разбиение на подсети (Subnetting)

- Классовые сети делятся на *подсети* (subnets)
- Для отделения сетевой части адреса от части хоста **используется маска**



# Маска подсети

---

- Позволяет отделить часть адреса с номером сети от части адреса с номером узла
- Является битовой маской для операций
  - выделения части сети  
 $\text{Net} = \text{Address} \& \text{Mask}$
  - выделения части хоста  
 $\text{Host} = \text{Address} \& \sim\text{Mask}$
- Записывается в одном из двух форматах:
  - побайтно, аналогично IP-адресу
    - 255.255.255.0
  - число единиц, начиная от старшего разряда
    - /24



# Classless Interdomain Routing (CIDR)

---

- Пространство адресов IP разделяется на линейные сегменты
- Каждый линейный сегмент описывается *префиксом*
- Префикс имеет вид  $x/y$  где  $x$  указывает на все адреса линейного сегмента, а  $y$  указывает на длину сегмента

## Пример:

префикс 128.9.0.0/16 определяет линейный сегмент с адресами в диапазоне: 128.9.0.0 ... 128.9.255.255



# Classless Interdomain Routing (CIDR)

---

## Агрегация префикса:

- Если провайдер обслуживает две организации, он может агрегировать их адреса с помощью более короткого префикса.
- Маршрутизаторы могут ссылаться на этот префикс, **сокращая размер их таблиц маршрутизации.**

Пример:

При обслуживании 128.9.14.0/24 и 128.9.15.0/24, можно сообщить другим организациям об обслуживании префикса 128.9.14.0/23





# Проблема исчерпания адресов IP v4

---

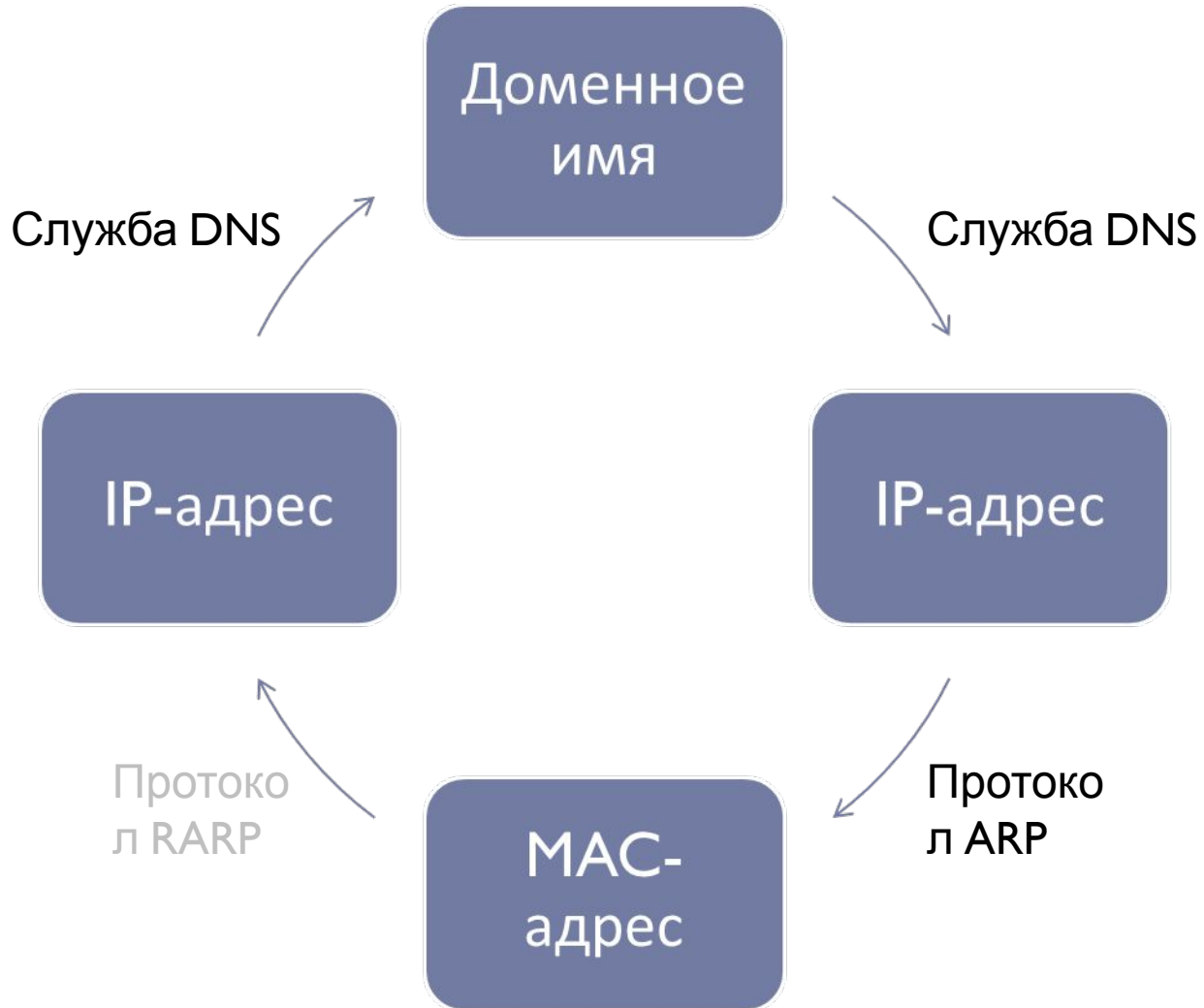
## Варианты решения:

- ✓ более эффективно перераспределить существующие
  - ✓ как «распилить» классовые сети?  Subnetting
  - ✓ ... и не захлебнуться в обилии маршрутов  CIDR
  
- ✓ позволить организациям использовать одни и те же адреса
  - ✓ как маршрутизировать?  не маршрутизировать
  - ✓ ... как предоставлять сервисы Internet?  NAT (чуть позже)
  
- ✓ изобрести новый протокол (с более длинным адресом)  IP v6



# Преобразование адресов

---



# Протокол ARP

(отображения IP-адресов в MAC- адреса)

---

- Предназначен для установления соответствия между IP- и MAC-адресами для передачи пакетов на уровне звена данных
- Таблица ARP храниться на каждом хосте
- Записи в таблице могут быть статические и динамические
- Статические `arp -s <IP адрес> <MAC адрес>`
- Динамические существуют определенное время (устаревают)



# Протокол отображения IP-адресов в Ethernet-адреса (ARP)

RFC-826  
RFC-903  
RFC-1027



# Порядок работы ARP

---

1. Производится попытка преобразования при помощи ARP таблицы
2. При отрицательном результате по сети посылается широковещательный запрос
3. Все узлы сети принимают запрос и производят сверку своего IP-адреса с IP-адресом указанным в запросе
4. Соответствующий узел посылает на MAC-адрес отправителя ответ, указывая свой MAC-адрес



# Служба DNS

---

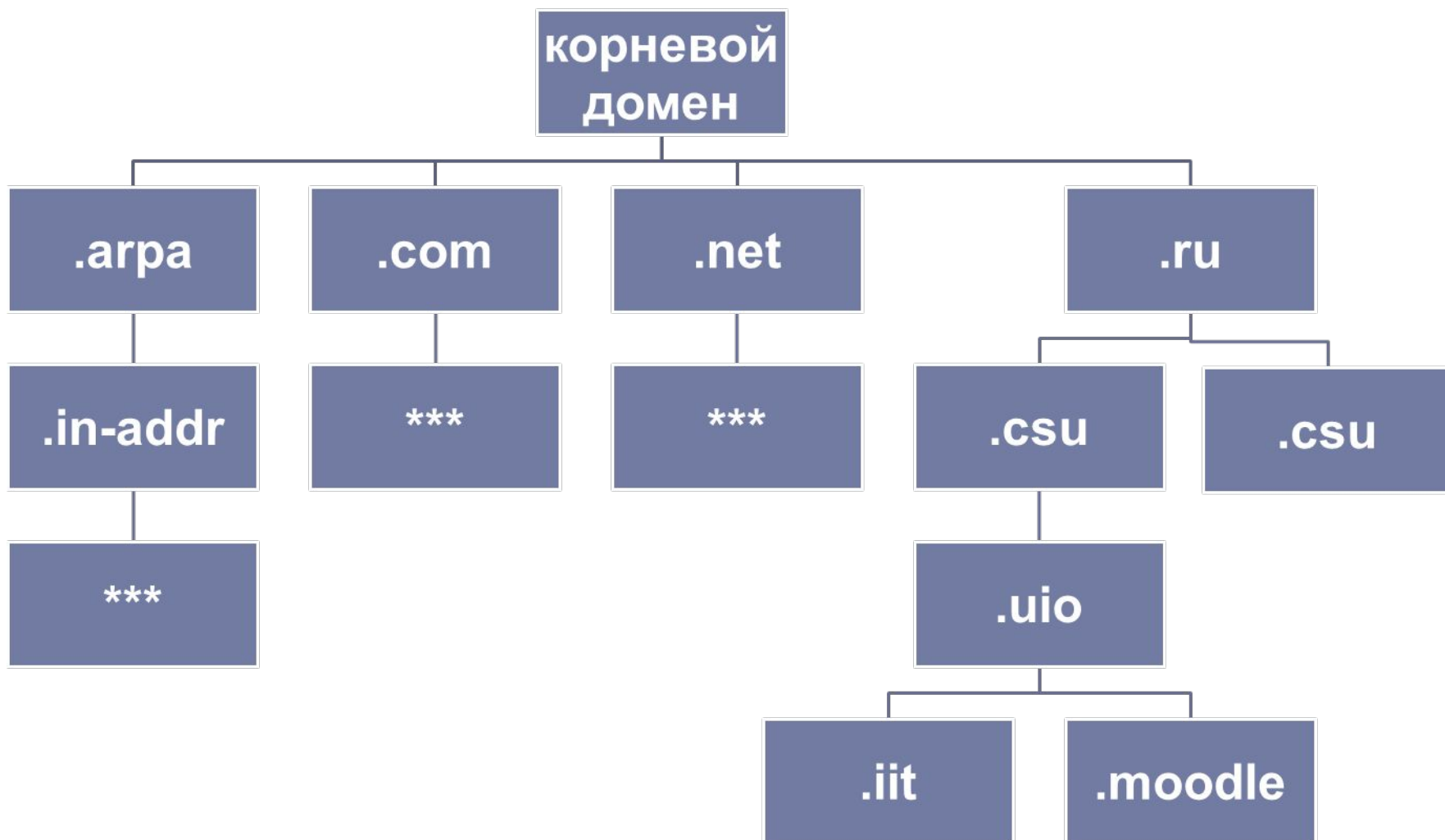
- Представляет собой универсальное средство разрешения имен
- Является распределенной базой данных
- Позволяет разделить полномочия администраторов DNS

.com	Коммерческие организации
.edu	Образовательные организации
.gov	Правительственные организации
.int	Международные организации
.org	Любительские организации



# Структура DNS

---



# Компоненты DNS

---

- Пространства имен домена и записи базы данных (зоны DNS)
- Серверы имен
  - Обслуживают зоны DNS, предоставляют их содержимое другим серверам и программам разрешения имён
  - Обслуживает обращения в *итеративном* или *рекурсивном* режиме
- Клиентская служба разрешения имен
  - Часть операционной системы узла, предоставляющая другим программам возможность разрешения имён, реализуя взаимодействие с серверами имён





# Примеры адресов разных уровней OSI

---

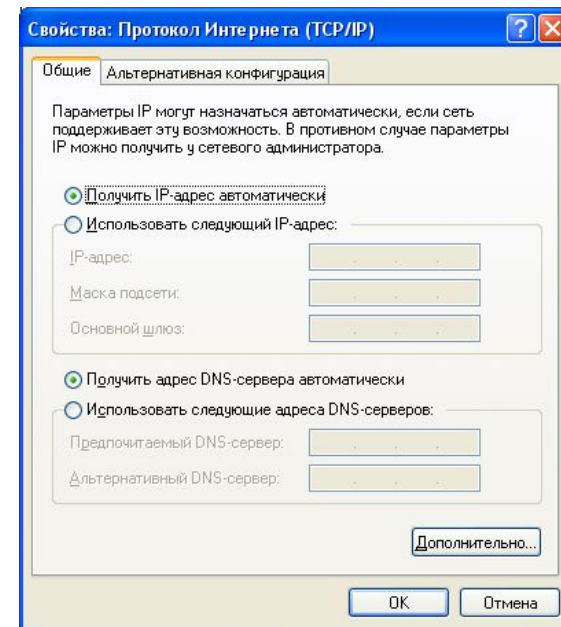
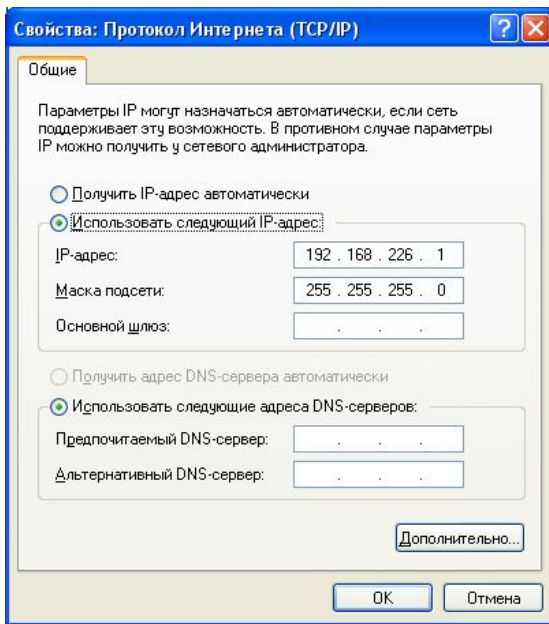
Прикладно й
Представи тельский
Сессия
Транспортн ый
Сетевой
Звено данных
Физический

- L4-адрес
  - идентификатор точки входа в вычислительный процесс (srcip,srcport,dstip,dstport)
- L3-адрес
  - IP-адрес
- L2-адрес
  - MAC-адрес
  - номер канала (LLC)
- L1-адрес
  - Номер кабеля («прямой»)
  - Частота несущей



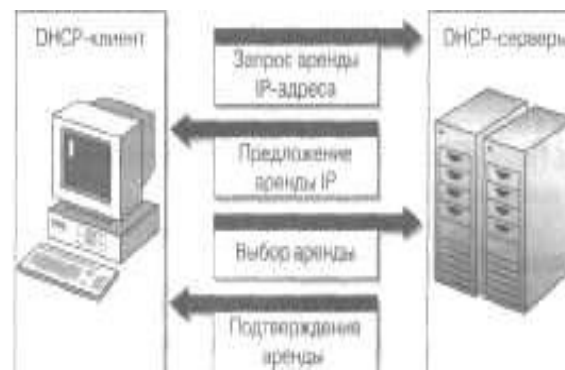
# Назначение адресов

- IP-адреса могут назначаться узлам
  - Статически
  - Динамически (протокол DHCP)



# Протокол DHCP

- Позволяет удаленно настраивать большое число рабочих станций для работы в IP-сетях
- Является средством централизованного
  - хранения информации о конфигурации TCP/IP
  - предоставления её узлам сети в виде DHCP-опций (options)
- Состоит из двух компонентов
  - DHCP-сервер
  - DHCP-клиент



# Протокол IP

---

- Выполняет две основные функции:
    - Адресация
    - Фрагментация дейтаграмм
  - Взаимодействует непосредственно с протоколами канального уровня
  - Определяет маршрутизацию данных по сети до точки назначения или промежуточного шлюза
  - Обрабатывает каждую дейтаграмму как независимую от других единицу данных
  - Не гарантирует доставку, достоверность
- 
- ▶ данных

# Формат заголовка IP-пакета

---

<b>Versi on</b>	<b>IHL</b>	<b>T of S</b>	<b>Total length (max<sub>rec</sub>≤576bytes)</b>	
<b>Identification</b>			<b>Flags</b>	<b>Fragment offset</b>
<b>Time to live</b>	<b>Protoco l</b>		<b>Header checksum</b>	
<b>Source address</b>				
<b>Destination address</b>				
<b>Options</b>				<b>Padding</b>



# Поле Type of service

---

приоритет	D	T	R	C	не используется
-----------	---	---	---	---	--------------------

- 0 - Обычный уровень
  - 1 - Приоритетный
  - 2 - Немедленный
  - 3 - Срочный
  - 4 - Экстренный
  - 5 - CEITIS/ESR
  - 6 – межсетевое управление
  - 7 - сетевое управление
- D - Минимальная задержка
  - T - Высокая пропускная способность
  - R - Высокая надежность
  - C - Низкая стоимость



# Поле Flags

---



- =0 : можно фрагментировать
- =1 : не фрагментировать

- =0 : последний фрагмент
- =1 : есть следующий фрагмент

# Маршрутизация в IP-сетях

---

- **Применяемые типы маршрутизации**
  - Статическая
  - Динамическая с использованием различных протоколов маршрутизации



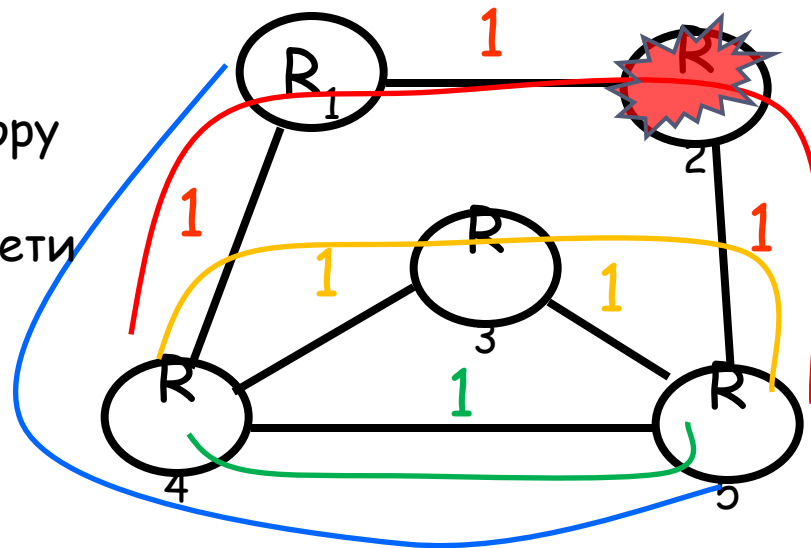


# Протоколы маршрутизации

## □ Определяют:

- используемый алгоритм маршрутизации;
- способы и правила представления и обмена информацией, необходимой для работы алгоритма маршрутизации.

Как маршрутизатору  
реагировать на  
происходящие в сети  
изменения?



# Виды протоколов маршрутизации.

## Примеры реализаций

---

- Дистанционно-векторные (Distance Vector, DV)
  - на основе распределённого варианта алгоритма Беллмана-Форда
    - RIP v1 и v2 (IETF)
- По состоянию связи (Link State, LS)
  - на основе распределённого варианта алгоритма Дейкстры
    - IS-IS (ISO)
    - OSPF (IETF)
- «Гибридные» aka Loop-free DV
  - на основе алгоритма DUAL
    - EIGRP (Cisco)
- По вектору пути (Path Vector, PV)
  - разновидность DV, передающие не только стоимость пути, но и сам путь
    - BGP (IETF)



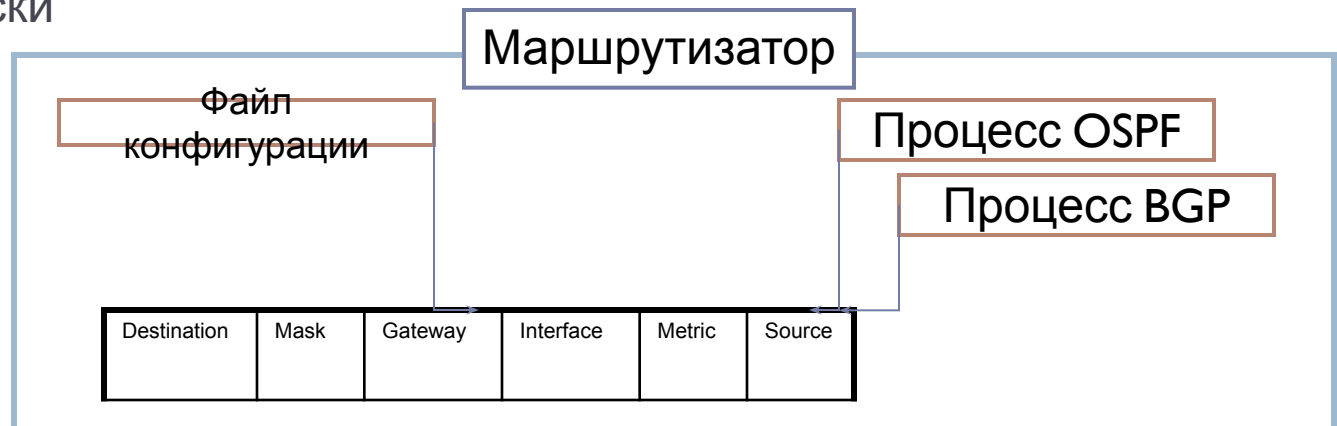
# Таблица маршрутизации

- Является источником информации для выбора направления дальнейшей пересылки пакета

Destination	Mask	Gateway	Interface	Metric	Source
-------------	------	---------	-----------	--------	--------

Префикс

- Может заполняться
  - вручную
  - динамически



# Пример таблицы маршрутизации

---

Destination	Gateway	Mask	Interface	Metric	Source
0.0.0.0	198.21.17.7	0.0.0.0	le0	1/1	Static
198.21.17.0	*	255.255.0.0	le0	0/0	Conn
213.34.12.0	*	255.255.255.0	le1	0/0	Conn
129.13.0.0	198.21.1.6	255.255.0.0	le0	1/1	Static
56.0.0.0	213.34.12.4	255.0.0.0	le1	120/1	RIP
116.0.0.0	213.34.12.4	255.0.0.0	le1	1/1	Static

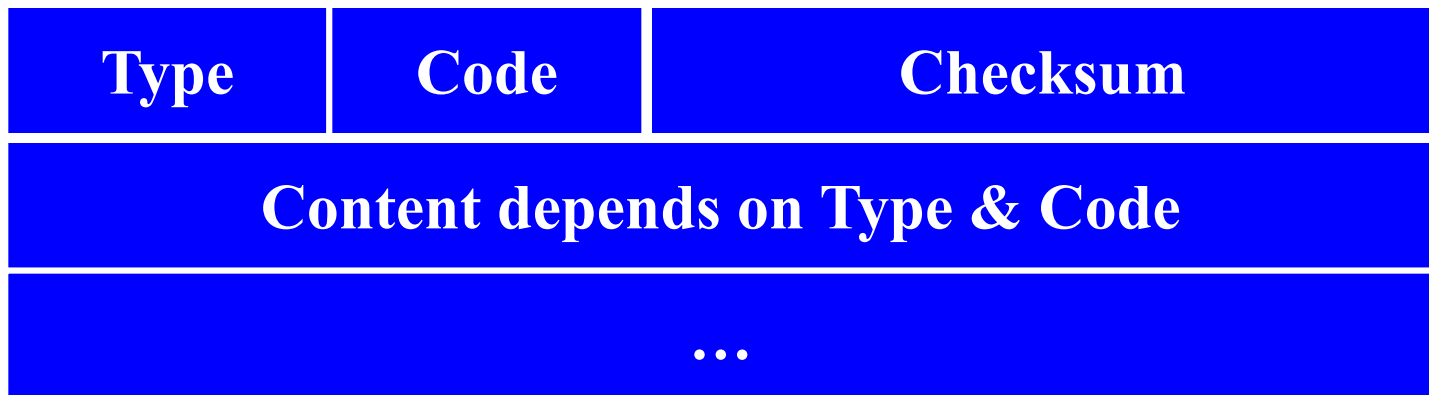


# Диагностика сети: протокол ICMP

## (Internet Control Message Protocol)

---

- Разработан для передачи сообщений проблемах, возникших при доставке IP-дейтаграмм сетью
- Простейшее управление потоком – ICMP Source Quench (Type = 4)
- Использует IP в качестве транспорта



- *ping* и *traceroute* используют ICMP
  - Echo-request (Type = 8)
  - Echo-reply (Type = 0)
  - Time Exceeded (Type = 11)
  - и другие.

