

---

# Маршрутизация в IP сетях

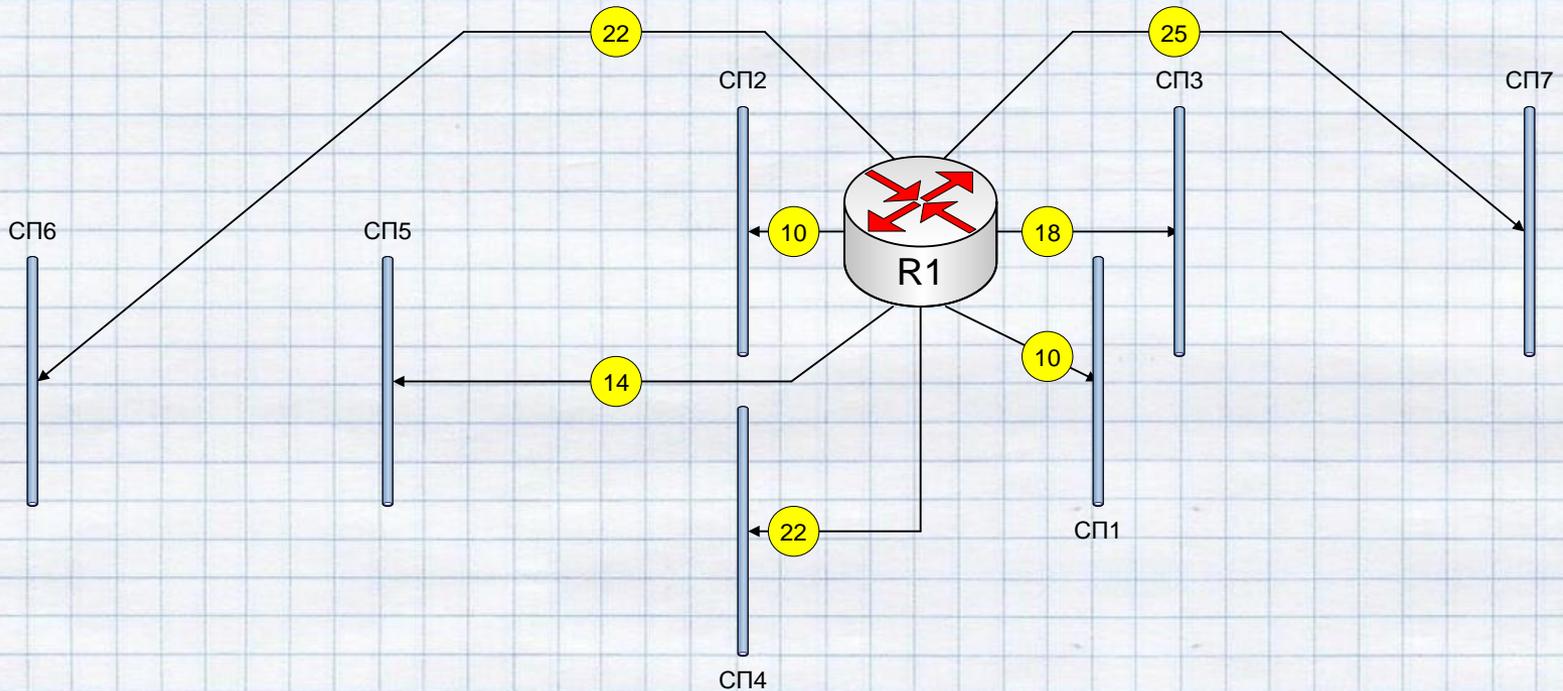
*Маршрутизация по состоянию канала.  
Протокол OSPF.*

---

*«Живые встречи» 2014*

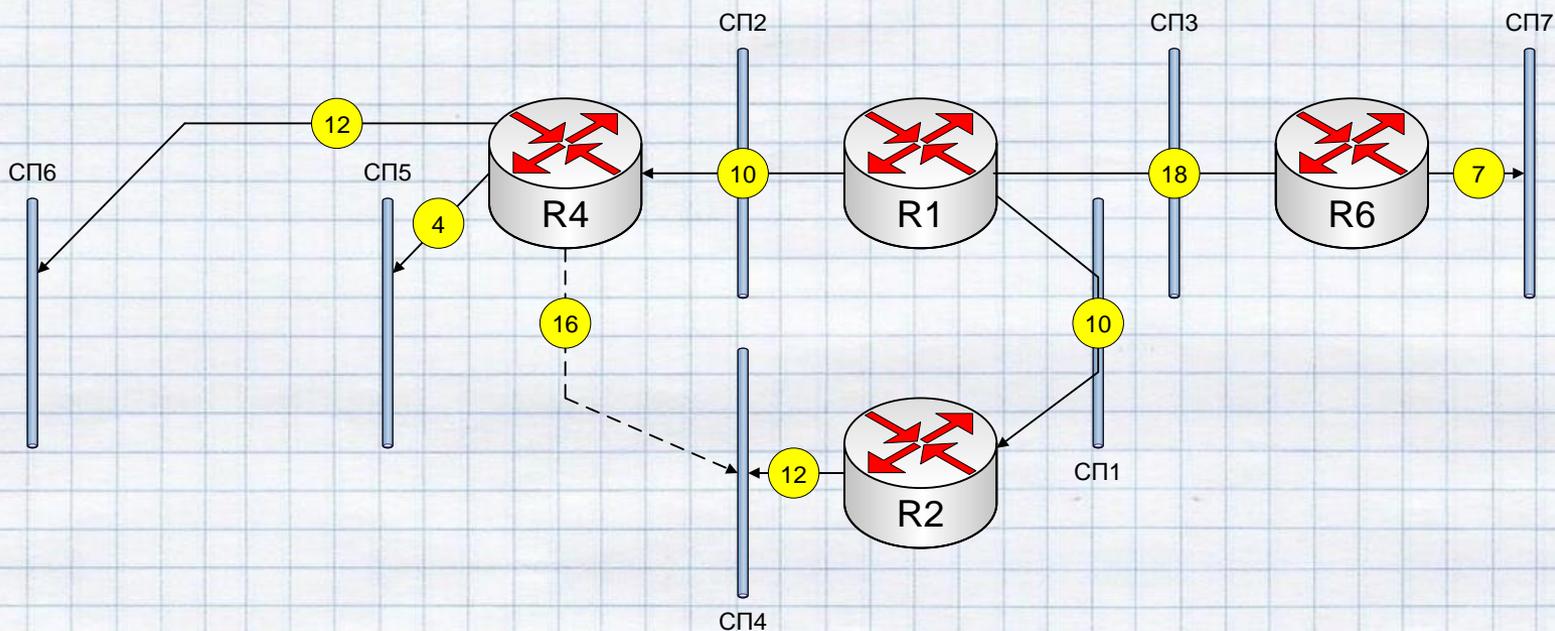
# Протоколы маршрутизации по состоянию канала

## Представление топологии сети алгоритмом Беллмана-Форда



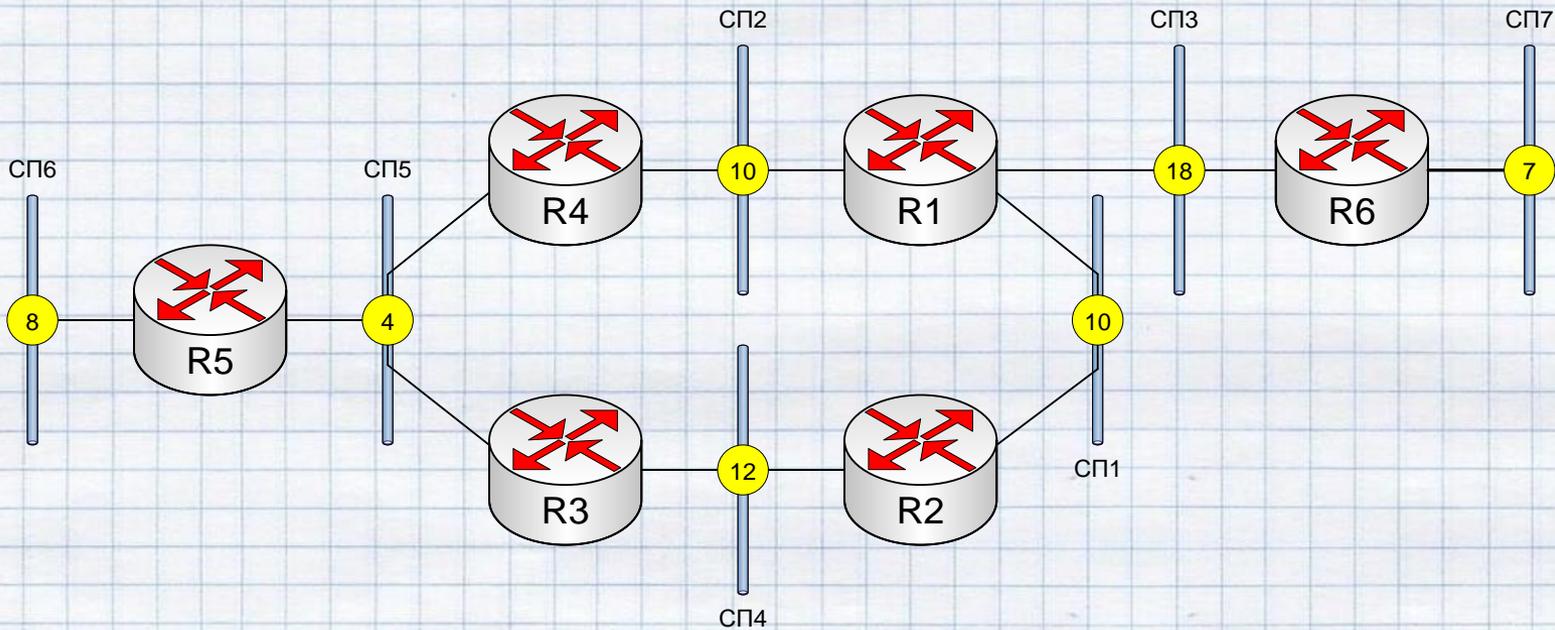
# Протоколы маршрутизации по состоянию канала

## Представление топологии сети алгоритмом DUAL



# Протоколы маршрутизации по состоянию канала

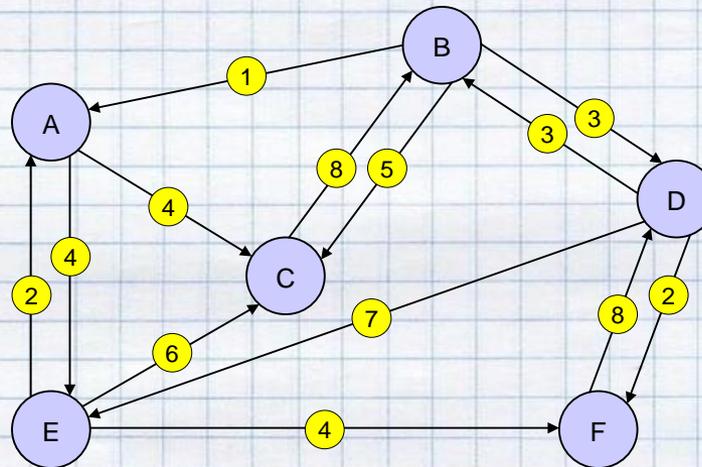
## Представление топологии сети алгоритмом SPF



# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

## Алгоритм SPF

- Алгоритм кратчайшего пути – *shortest path algorithm (SPF) Дейкстры (Dijkstra)*



- Алгоритм кратчайшего пути производит расчет в направленном графе

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

---

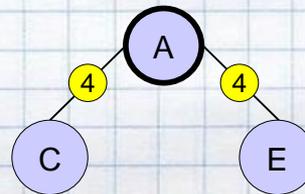
## База данных алгоритма SPF

- Структура базы данных алгоритма SPF:
  - Таблица **«Кандидаты»**
  - Таблица **«Найденные»**
- Поля таблиц:
  - Поле **«Вершина»**
  - Поле **«Стоимость пути»**

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

## Алгоритм SPF (1 из 7)

- *Последовательность действий алгоритма SPF:*
  - Шаг 1.1. Помещение начальной вершины в таблицу «Найденные».
  - Шаг 1.2. Помещение ее смежных вершин в таблицу «Кандидаты».

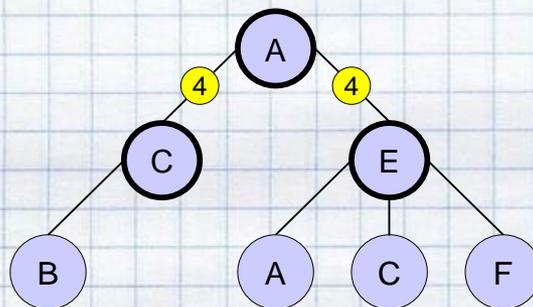


Найденные	
*	A   0
Кандидаты	
>	C   4
>	E   4

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

## Алгоритм SPF (2 из 7)

- Шаг 2.1. Поиск в таблице «Кандидаты» вершины с наименьшей стоимостью.
- Шаг 2.2. Помещение ее в таблицу «Найденные».
- Шаг 2.3. Определение смежных вершин.

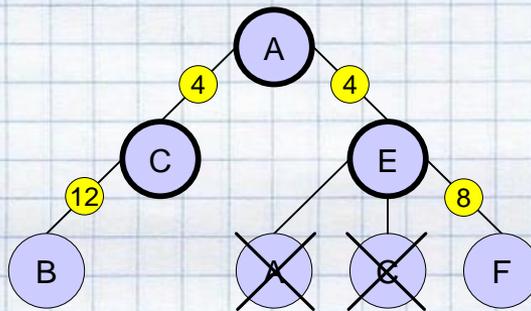


Найденные	
A	0
* C	4
* E	4
Кандидаты	

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

## Алгоритм SPF (3 из 7)

- Шаг 3.1. Отбросить смежные вершины уже помещенные в «Найденные».
- Шаг 3.2. Рассчитать стоимости перехода из начальной вершины.
- Шаг 3.3. Занести вершины в таблицу «Кандидаты».



Найденные	
A	0
C	4
E	4
Кандидаты	
B	12
F	8

- $C_{\text{смеж. нов.}} = \min (C_{\text{смеж. нов.}} C_{\text{перемещ.}} + C_{\text{ребра}})$
- $C_{\text{смеж.}} = C_{\text{перемещ.}} + C_{\text{ребра}}$

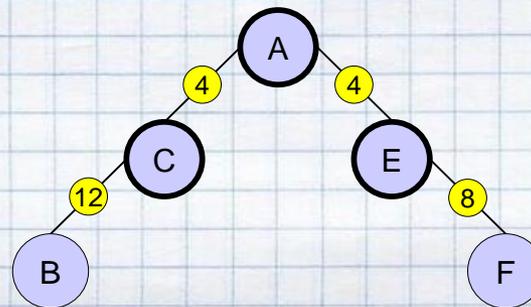
>

>

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

## Алгоритм SPF (4 из 7)

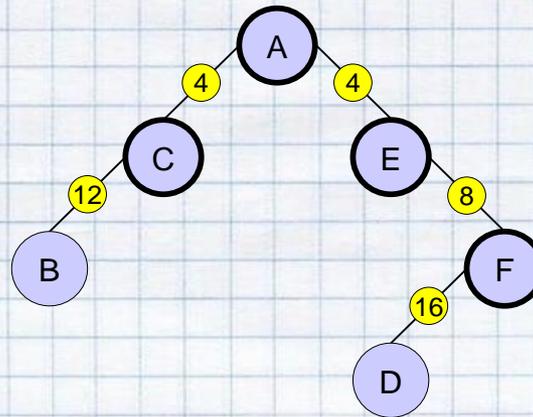
- Шаг 4.1. Если таблица «Кандидаты» пуста, завершить работу.
- Шаг 4.2. Иначе вернуться к Шагу 2.



Найденные	
A	0
C	4
E	4
Кандидаты	
B	12
F	8

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

## Алгоритм SPF (5 из 7)



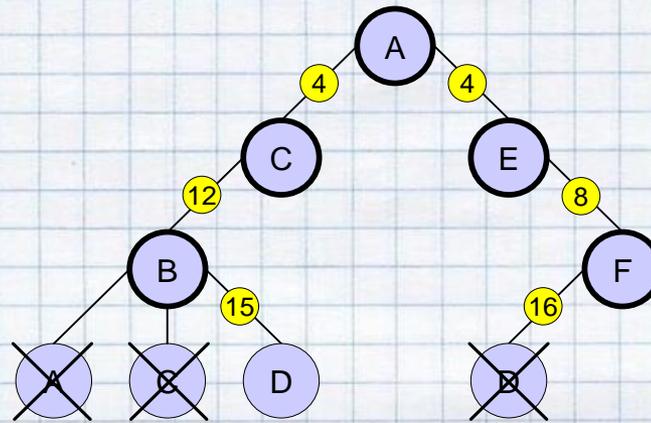
Найденные		
A	0	
C	4	
E	4	
F	8	
*	D	8

Кандидаты		
B	12	
>	D	16

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

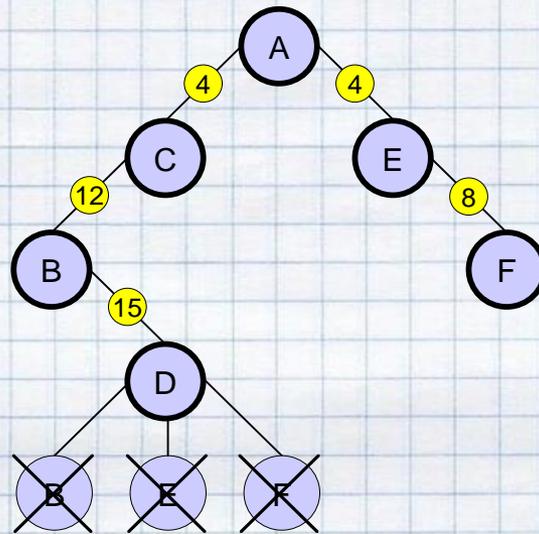
## Алгоритм SPF (6 из 7)



Найденные	
A	0
C	4
E	4
F	8
B	12
*	
Кандидаты	
> D	16→15

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

## Алгоритм SPF (7 из 7)



Найденные	
A	0
C	4
E	4
F	8
B	12
D	15
Кандидаты	
<Пусто>	

\*

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

---

## Алгоритм SPF в IP сетях

- **Вершины графа** – маршрутизаторы, сети получатели.
  - **Маршрутизаторы (Routers)**
  - **Тупиковая сеть (Stub Network)**
  - **Транзитная сеть (Network Links)**
- **Ребра графа** – каналы связи.
  - **«Точка – Точка» (Point-to-Point)**
  - **«Транзит» (Transit Network)**
  - **«Виртуальная связь» (Virtual Link)**
- **Стоимость перехода** – пропускная способность канала связи<sup>-1</sup>.

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

---

## Этапы построения графа SFP для IP сети

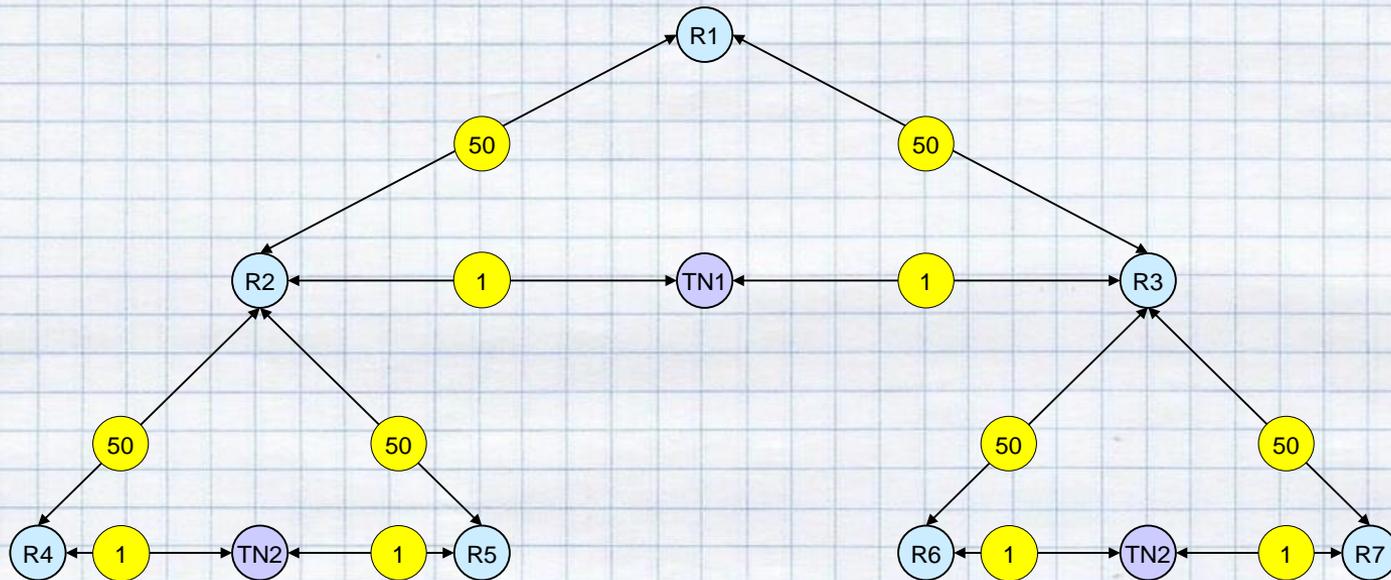
- **Построение каркаса дерева (Ветви)**
  - **Маршрутизаторы**
  - **Каналы связи «Точка – Точка» (Point-to-Point)**
  - **Каналы связи «Транзит» (Transit Networks)**
  - **«Виртуальные связи» (Virtual Link)**

*Топологическая информация*
- **Добавление листьев**
  - **Тупиковая сеть (Stub Network)**
  - **Транзитная сеть (Network Links)**

*Маршрутная информация*

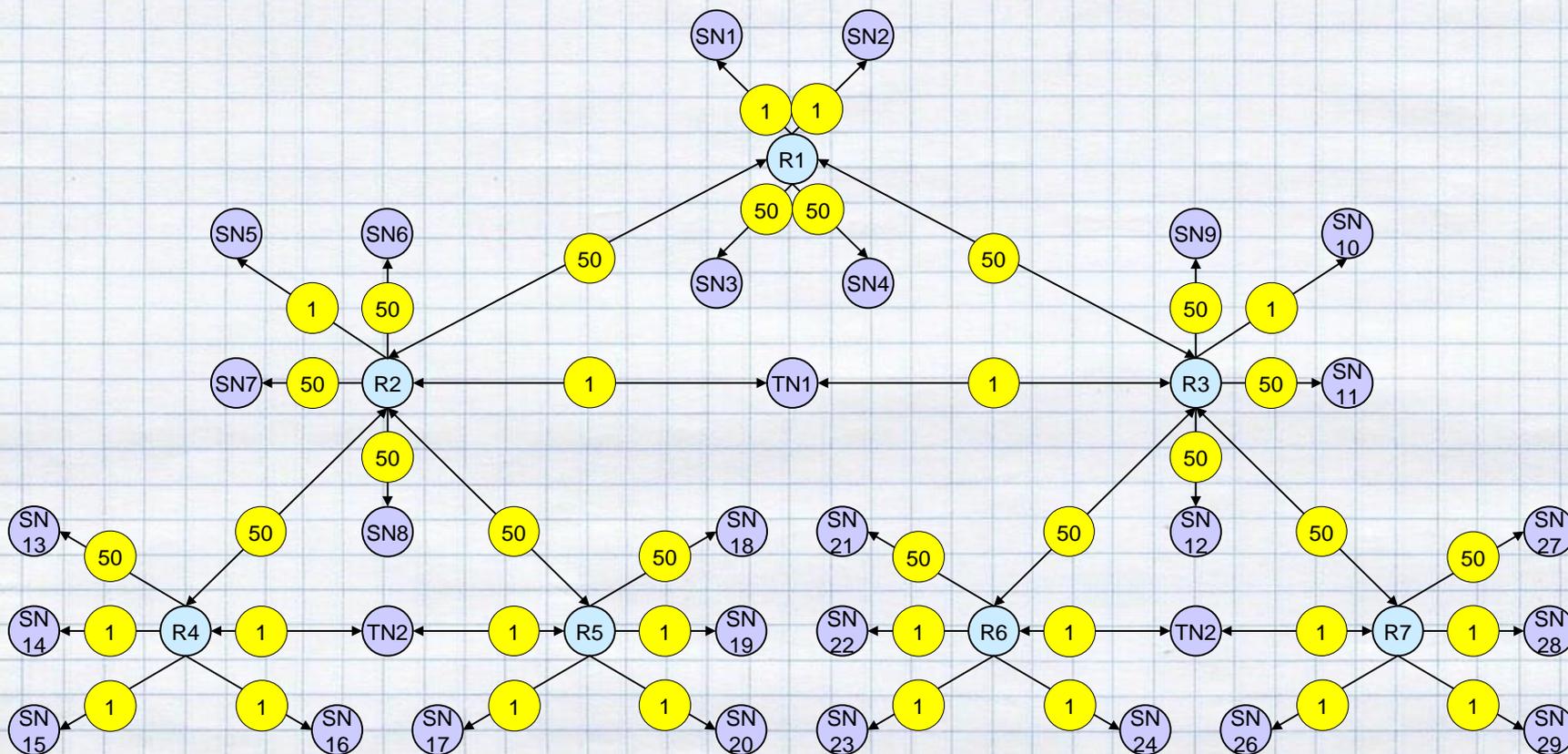
# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

SFP граф для IP сети (Этап 1)



# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

SFP граф для IP сети (Этап 2)





# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

## Построение дерева SPF маршрутизатором (1 из 4)

OSPF: running SPF for area 1, SPF-type Full

OSPF: Initializing to run spf

OSPF - spf\_intra() - rebuilding the tree

It is a router LSA 10.0.1.1. **Link Count 8**

**Processing link 0**, id 10.0.1.1, link data 255.255.255.255, **type 3**, cost 1

Add better path to LSA ID 10.0.1.1, gateway 10.0.1.1, dist 1

Add path: next-hop 10.0.1.1, interface Loopback0

**Processing link 1**, id 10.0.1.3, link data 10.16.1.5, **type 1**, cost 50

Add better path to LSA ID 10.0.1.3, gateway 10.16.1.6, dist 50

Add path: next-hop 10.16.1.6, interface Serial0/1/0

**Processing link 2**, id 10.16.1.4, link data 255.255.255.252, **type 3**, cost 50

Add better path to LSA ID 10.16.1.7, gateway 10.16.1.4, dist 50

Add path: next-hop 10.16.1.5, interface Serial0/1/0

**Processing link 3**, id 10.0.1.2, link data 10.16.1.1, **type 1**, cost 50

Add better path to LSA ID 10.0.1.2, gateway 10.16.1.2, dist 50

Add path: next-hop 10.16.1.2, interface Serial0/0/1

**Processing link 4**, id 10.16.1.0, link data 255.255.255.252, **type 3**, cost 50

Add better path to LSA ID 10.16.1.3, gateway 10.16.1.0, dist 50

Add path: next-hop 10.16.1.1, interface Serial0/0/1

**Processing link 5**, id 10.16.0.9, link data 10.16.0.9, **type 2**, cost 1

Add better path to LSA ID 10.16.0.9, gateway 10.16.0.9, dist 1

Add path: next-hop 10.16.0.9, interface FastEthernet0/0.401

**Processing link 6**, id 10.0.0.1, link data 10.16.0.2, **type 1**, cost 50

Add better path to LSA ID 10.0.0.1, gateway 10.16.0.1, dist 50

Add path: next-hop 10.16.0.1, interface Serial0/0/0

**Processing link 7**, id 10.16.0.0, link data 255.255.255.252, **type 3**, cost 50

Add better path to LSA ID 10.16.0.3, gateway 10.16.0.0, dist 50

Add path: next-hop 10.16.0.2, interface Serial0/0/0

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

---

## Построение дерева SPF маршрутизатором (2 из 4)

### Топологическая информация

```
Processing link 1, id 10.0.1.3, link data 10.16.1.5, type 1, cost 50  
Add better path to LSA ID 10.0.1.3, gateway 10.16.1.6, dist 50  
Add path: next-hop 10.16.1.6, interface Serial0/1/0
```

```
Processing link 5, id 10.16.0.9, link data 10.16.0.9, type 2, cost 1  
Add better path to LSA ID 10.16.0.9, gateway 10.16.0.9, dist 1  
Add path: next-hop 10.16.0.9, interface FastEthernet0/0.401
```

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

---

## Построение дерева SPF маршрутизатором (3 из 4)

### Маршрутная информация

```
Processing link 0, id 10.0.1.1, link data 255.255.255.255, type 3, cost 1  
Add better path to LSA ID 10.0.1.1, gateway 10.0.1.1, dist 1  
Add path: next-hop 10.0.1.1, interface Loopback0
```

```
Processing link 4, id 10.16.1.0, link data 255.255.255.252, type 3, cost 50  
Add better path to LSA ID 10.16.1.3, gateway 10.16.1.0, dist 50  
Add path: next-hop 10.16.1.1, interface Serial0/0/1
```

# Алгоритм «кратчайшего пути» Дейкстры

---

## Построение дерева SPF маршрутизатором (4 из 4)

### OSPF: Adding Stub nets

```
OSPF: delete lsa id 10.0.0.1, type 0, adv rtr 10.0.0.1 from delete list
OSPF: Add Network Route to 10.0.0.1 Mask /32. Metric: 51, Next Hop: 10.16.0.1
OSPF: insert route list LS ID 10.0.0.1, type 0, adv rtr 10.0.0.1
OSPF: delete lsa id 10.0.1.1, type 0, adv rtr 10.0.1.1 from delete list
OSPF: insert route list LS ID 10.0.1.1, type 0, adv rtr 10.0.1.1
OSPF: Add Network Route to 10.0.1.2 Mask /32. Metric: 51, Next Hop: 10.16.1.2
OSPF: insert route list LS ID 10.0.1.2, type 0, adv rtr 10.0.1.2
OSPF: delete lsa id 10.0.1.3, type 0, adv rtr 10.0.1.3 from delete list
OSPF: Add Network Route to 10.0.1.3 Mask /32. Metric: 51, Next Hop: 10.16.1.6
OSPF: insert route list LS ID 10.0.1.3, type 0, adv rtr 10.0.1.3
OSPF: delete lsa id 10.0.2.1, type 0, adv rtr 10.0.2.1 from delete list
OSPF: Add Network Route to 10.0.2.1 Mask /32. Metric: 2, Next Hop: 10.16.0.10
OSPF: insert route list LS ID 10.0.2.1, type 0, adv rtr 10.0.2.1
```

# Протокол OSPF

---

- *Протокол маршрутизации Open Shortest Path First*
- *Протокол OSPF имеет открытый стандарт (RFC 2328)*
- *Первая версия протокола представлена в 1988г.*
- *В IPv4 в настоящее время используется OSPF v2*
- *В IPv6 используется OSPF v3*

# Протокол OSPF

---

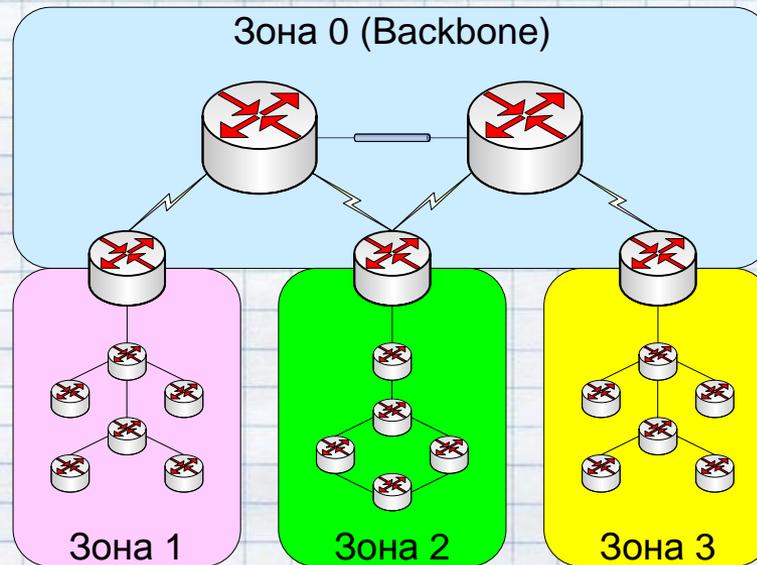
## Домен маршрутизации протокола OSPF (1 из 2)

- *Сети получатели в протоколе объединяются в зоны.*
- *В домене OSPF может быть одна или несколько зон*
- *Разделение на зоны обусловлено необходимостью уменьшения дерева SPF*

# Протокол OSPF

## Домен маршрутизации протокола OSPF (2 из 2)

- **Регулярные зоны** – подключение сетей получателей.
- **Транзитная зона (0 или Backbone)** – организация связности домена OSPF и передача топологической информации.



# Протокол OSPF

---

## База данных протокола OSPF

- *Таблица соседства – список смежных маршрутизаторов.*
- *Таблица топологии (LSDB) – полная топологическая информация домена OSPF.*
- *Таблица топологии одинакова на всех маршрутизаторах зоны OSPF*

# Протокол OSPF

---

## Таблица соседства протокола OSPF

r2#

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
10.0.2.1	1	FULL/BDR	00:00:35	10.16.0.10	FastEthernet0/0.401
10.0.0.1	0	FULL/ -	00:00:34	10.16.0.1	Serial0/0/0
10.0.1.2	0	FULL/ -	00:00:32	10.16.1.6	Serial0/1/0
10.0.1.3	0	FULL/ -	00:00:30	10.16.1.2	Serial0/0/1

# Протокол OSPF

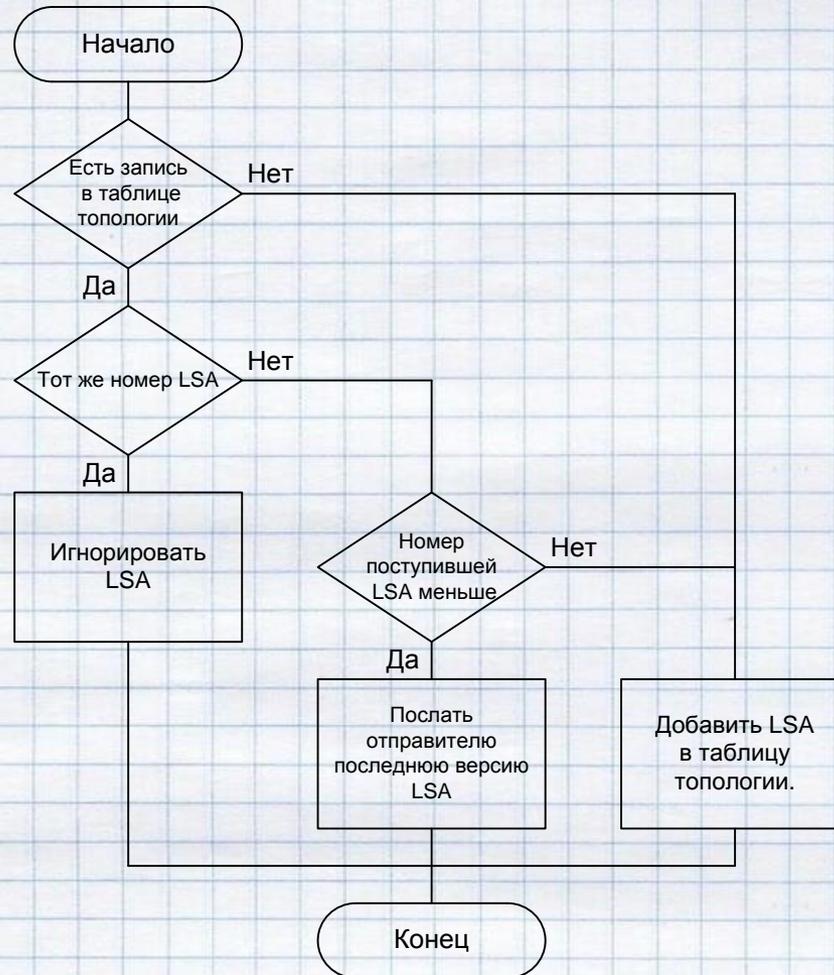
---

## Объявление о состоянии связи (LSA)

- *Основа таблицы топологии – «Объявление о состоянии связи» LSA.*
- *LSA – объявляется маршрутизатором.*
- *LSA – уникально для домена OSPF.*
- *LSA – может быть изменено только маршрутизатором его объявившим.*
- *LSA – распространяются гарантированно.*
- *LSA – обновляются раз в 30 минут.*

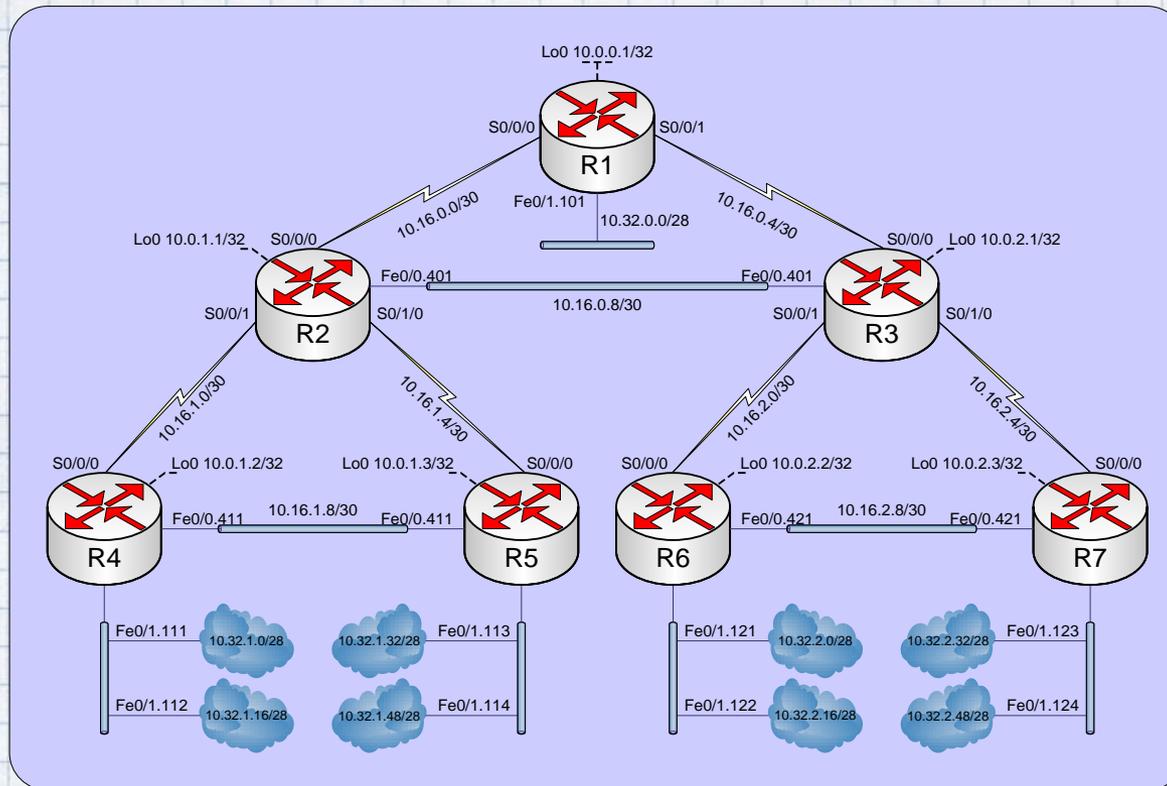
# Протокол OSPF

## Алгоритм обработки поступившего LSA



# Протокол OSPF

## Таблица топологии протокола OSPF (1 из 2)



# Протокол OSPF

## Таблица топологии протокола OSPF (2 из 2)

OSPF Router with ID (10.0.1.1) (Process ID 1)

### Router Link States (Area 1)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
10.0.0.1	10.0.0.1	593	0x80000003	0x009420	6
10.0.1.1	10.0.1.1	413	0x80000004	0x00A38F	8
10.0.1.2	10.0.1.2	788	0x80000002	0x0023F2	6
10.0.1.3	10.0.1.3	788	0x80000002	0x00C828	6
10.0.2.1	10.0.2.1	213	0x80000004	0x00877A	8
10.0.2.2	10.0.2.2	206	0x80000003	0x0010A8	6
10.0.2.3	10.0.2.3	204	0x80000003	0x00A6F5	6

### Net Link States (Area 1)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
10.16.0.9	10.0.1.1	413	0x80000001	0x00958E
10.16.1.9	10.0.1.2	788	0x80000001	0x00442F
10.16.2.9	10.0.2.2	206	0x80000001	0x006CFC

# Протокол OSPF

## Заголовок сообщения LSA



# Протокол OSPF

## Типы сообщений LSA (при работе внутри одной зоны)

Номер	Тип LSA	Описание	Кем объявляется
1	Объявление состояние маршрутизатора (Router-LSA).	Описывает состояния интерфейсов маршрутизатора.	Всеми маршрутизаторами.
2	Объявление состояния сети (Network-LSA).	Перечисляет маршрутизаторы, входящие в широковещательный домен.	DR маршрутизаторами.

## Значения поля «Идентификатор сообщения»

Тип LSA	Идентификатор сообщения
1	RID маршрутизатора заявившего LSA.
2	IP адрес интерфейса DR маршрутизатора подключенного к широковещательному домену.

# Протокол OSPF

## Структура сообщения Router-LSA



# Протокол OSPF

## Структура поля «Флаги»



- *V – Виртуальный канал.*
- *E – ASBR.*
- *B – ABR.*

# Протокол OSPF

## Взаимосвязь полей в Router-LSA

Тип	Описание связи	Идентификатор связи	Данные связи
1	Канал «Точка-Точка».	RID смежного маршрутизатора.	IP адрес интерфейса.
2	Транзитная сеть.	IP адрес DR маршрутизатора.	IP адрес интерфейса.
3	Тупиковая сеть.	Сетевой префикс тупикового сегмента.	Маска подсети тупикового сегмента.
4	Виртуальная связь.	RID смежного маршрутизатора.	IP адрес интерфейса начала виртуального канала.

# Протокол OSPF

## Представление Router-LSA в ОС маршрутизатора (1 из 3)

Now in buffer table

Table index: 51 min 14 sec

LS age: 1811

Options: (No TOS-capability, DC)

**LS Type: Router Links**

Link State ID: 10.0.1.1

Advertising Router: 10.0.1.1

LS Seq Number: 800000B8

Checksum: 0xF85A

**Length: 108**

**Number of Links: 8**

**Link connected to: a Stub Network**

(Link ID) Network/subnet number: 10.0.1.1

(Link Data) Network Mask: 255.255.255.255

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 1

**Link connected to: a Transit Network**

(Link ID) Designated Router address: 10.16.0.9

(Link Data) Router Interface address: 10.16.0.9

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 1

# Протокол OSPF

---

## Представление Router-LSA в ОС маршрутизатора (2 из 3)

### **Link connected to: another Router (point-to-point)**

(Link ID) Neighboring Router ID: 10.0.1.3

(Link Data) Router Interface address: 10.16.1.5

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 50

### **Link connected to: a Stub Network**

(Link ID) Network/subnet number: 10.16.1.4

(Link Data) Network Mask: 255.255.255.252

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 50

### **Link connected to: another Router (point-to-point)**

(Link ID) Neighboring Router ID: 10.0.1.2

(Link Data) Router Interface address: 10.16.1.1

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 50

### **Link connected to: a Stub Network**

(Link ID) Network/subnet number: 10.16.1.0

(Link Data) Network Mask: 255.255.255.252

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 50

# Протокол OSPF

---

## Представление Router-LSA в ОС маршрутизатора (3 из 3)

### **Link connected to: another Router (point-to-point)**

(Link ID) Neighboring Router ID: 10.0.0.1

(Link Data) Router Interface address: 10.16.0.2

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 50

### **Link connected to: a Stub Network**

(Link ID) Network/subnet number: 10.16.0.0

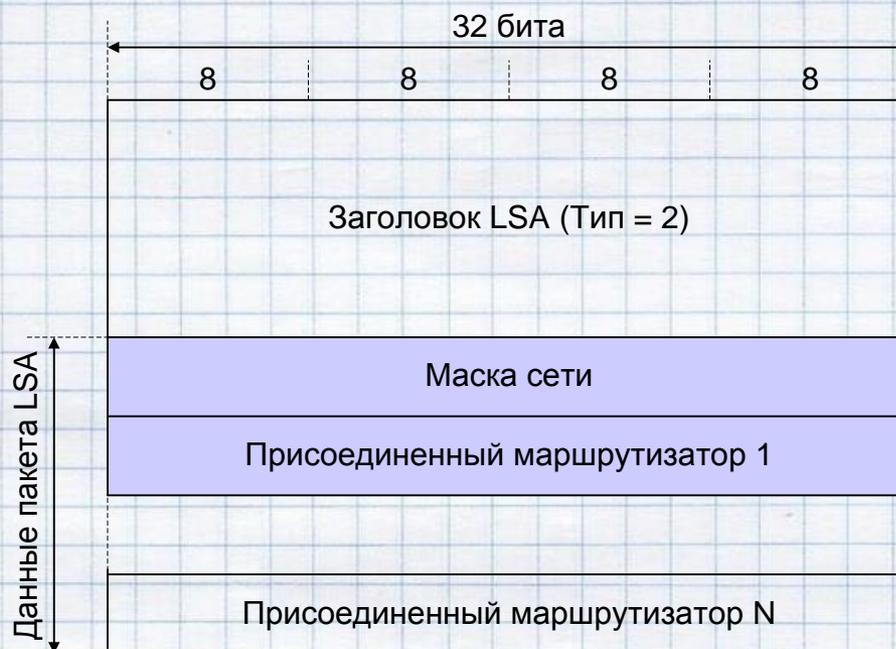
(Link Data) Network Mask: 255.255.255.252

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 50

# Протокол OSPF

## Структура сообщения Network-LSA



# Протокол OSPF

---

## Представление Network-LSA в ОС маршрутизатора

Routing Bit Set on this LSA

Now in min table

Table index: 14 min 35 sec

LS age: 814

Options: (No TOS-capability, DC)

**LS Type: Network Links**

**Link State ID: 10.16.0.9 (address of Designated Router)**

Advertising Router: 10.0.1.1

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0x958E

**Length: 32**

**Network Mask: /30**

Attached Router: 10.0.1.1

Attached Router: 10.0.2.1

# Протокол OSPF

---

## Метрика протокола OSPF

- **Метрика OSPF** – Пропускная способность канала связи<sup>-1</sup>

$$\mathbf{Metric = 10^8 / BW}$$

- В OSPF каналы связи со скоростями выше 100 Мбит/с. имеют метрику 1.

```
(config-router) # auto-cost reference-bandwidth mbps
```

```
(config-router) # no auto-cost reference-bandwidth mbps
```

# Протокол OSPF

---

## Изменение константы для расчета метрики

- **Поле «Метрика» – 16 бит.**
- **Максимальная метрика – 65535.**

**$Const = 10^8$**

- **Максимальная BW – 100 Мбит/с.**
- **Минимальная BW – 1525 бит/с.**
- **Минимальная BW – 1,49 Кбит/с.**

**$Const = 10^{11}$**

- **Максимальная BW – 100 Гбит/с.**
- **Минимальная BW – 1525972 бит/с.**
- **Минимальная BW – 1,45 Мбит/с.**

# Протокол OSPF

---

## Характеристики используемого транспортного протокола

- *Транспортный протокол 89 (OSPF)*
- *Групповой адрес 224.0.0.5 (224.0.0.6)*
- *Размер пакета до 65535 байт (по Виртуальным каналам до 576 байт)*
- *Возможно фрагментирование средствами стека до MTU интерфейса*

# Протокол OSPF

---

## Аутентификация в протоколе OSPF

- *В RFC 2328 описано применение аутентификации по паролю и MD5*
- *В RFC 5907 описано применение SHA-1, SHA-256, SHA-384, SHA-512*
- *Реально используется аутентификация по паролю и MD5*

# Протокол OSPF

---

## Служебные пакеты протокола OSPF

Номер	Тип	Назначение пакета
1	Hello	Поиск и дальнейшего подтверждения работоспособности соседних маршрутизаторов.
2	Database Description (DBD)	Суммарная информация о содержимом таблицы топологии.
3	Link State Request (LSR)	Запрос на получение информации о топологическом элементе.
4	Link State Update (LSU)	Обновление информации о топологических элементах.
5	Link State Ack LSAck	Подтверждение получения пакетов обновлений.

# Протокол OSPF

## Заголовок служебных пакетов OSPF



# Протокол OSPF

## Аутентификация служебных пакетов OSPF

По паролю



При помощи алгоритмов хеширования



При отсутствии аутентификации

*Тип аутентификации - 0.*

*Данные аутентификации заполняются 0.*

# Протокол OSPF

## Формат Hello пакета



# Протокол OSPF

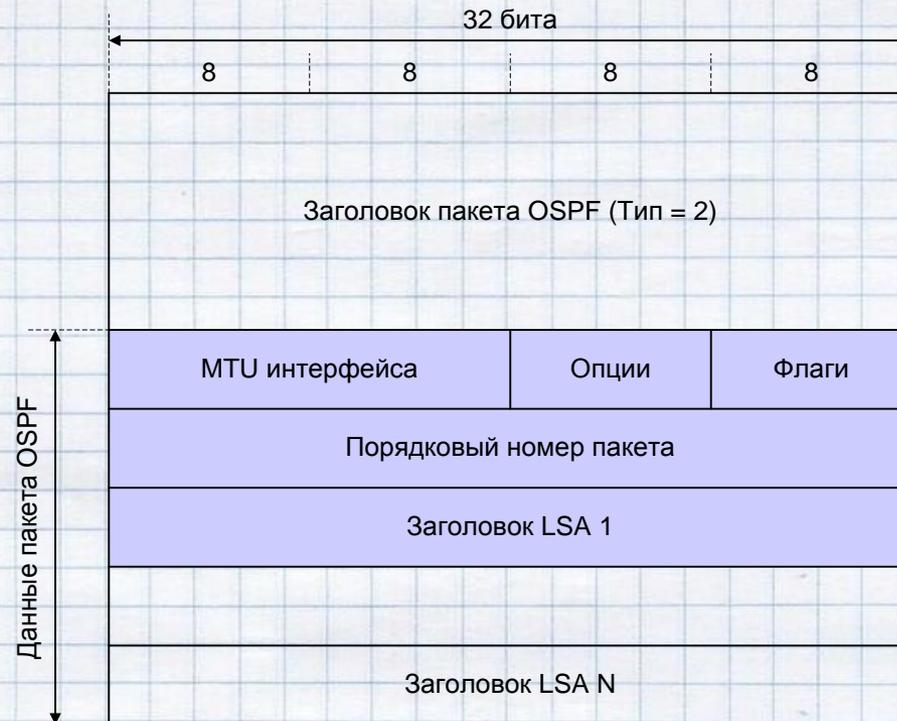
## Структура поля «Опции»



Бит	Значение
MBZ	Зарезервировано. Равно 0.
O	Опция Opaque-LSA. RFC 2370.
DC	Опция Demand Circuit. RFC 1793.
EA	Опция External Attributes LSA.
N/P	Опция NSSA. RFC 1587.
MC	Опция MO SPF. RFC 1584.
E	Опция ASBR.
T	Опция ToS. Устаревшее. Равно 0.

# Протокол OSPF

## Формат DBD пакета



# Протокол OSPF

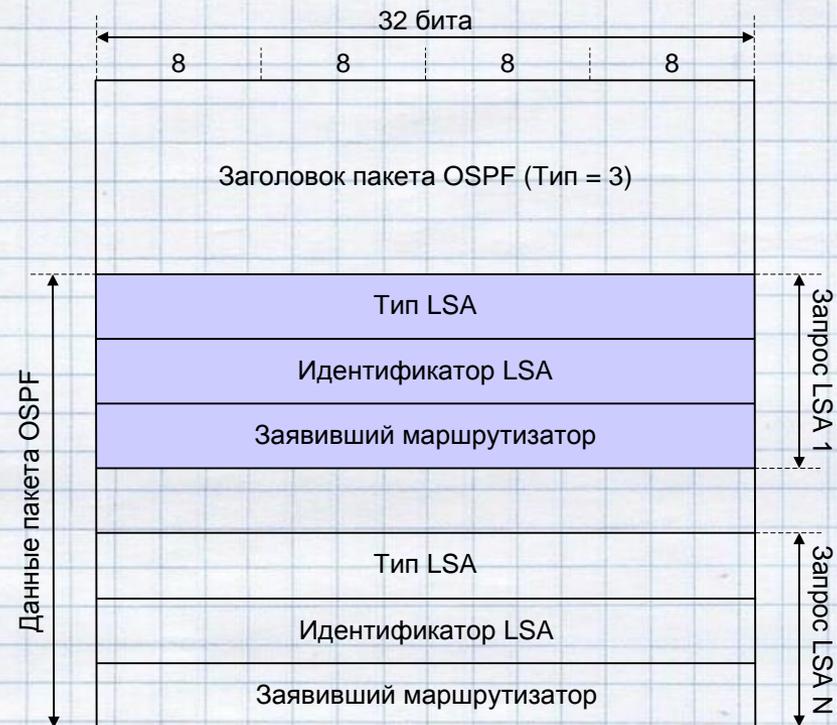
## Структура поля «Флаги»



Бит	Значение
I	Бит инициализации. Установка бита означает, что передается первый пакет с описанием таблицы топологии.
M	Установка бита означает, что должны последовать другие пакеты с описанием таблицы топологии. Если бит M равен 0, то поступил последний пакет.
MS	Установка бита означает, что маршрутизатор является DR маршрутизатором.

# Протокол OSPF

## Формат LSR пакета



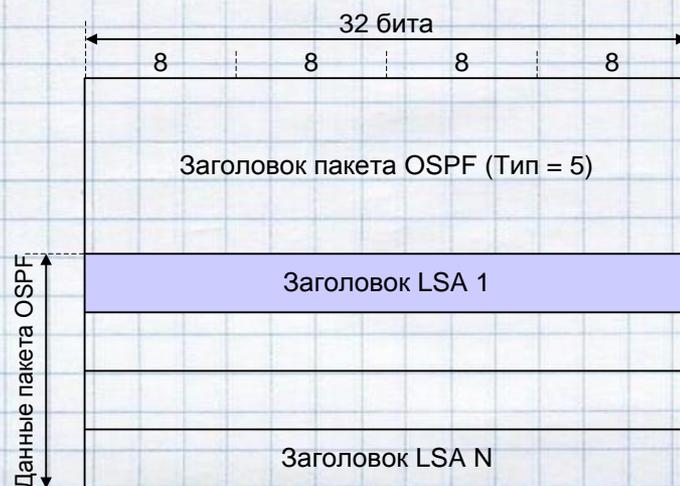
# Протокол OSPF

## Формат LSU пакета



# Протокол OSPF

## Формат LSAck пакета



# Протокол OSPF

---

## Основные таймеры протокола OSPF

- *Hello-Interval* – 10 с. (NBMA – 30 с.)
- *Dead-Time* – 40 с. (не менее *Hello-Interval* \* 4) (NBMA – 120 с.)

# Протокол OSPF

## Процесс установки соседских отношений (1 из 6)

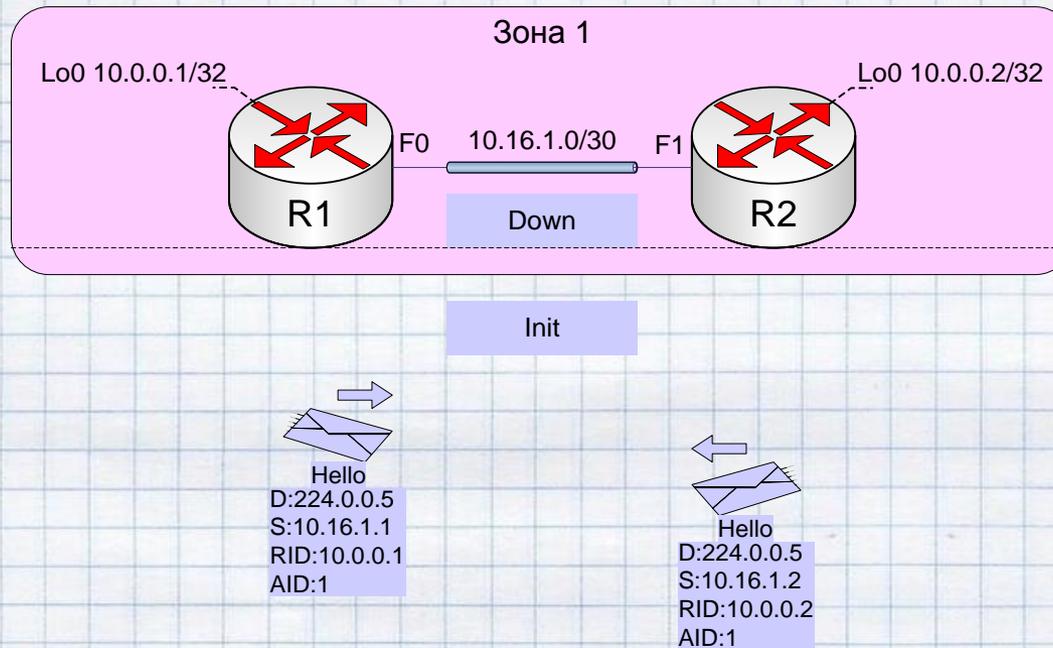
- *Нерабочее (Down)*
- *Инициализация (Init)*
- *Двунаправленные отношения (Two-Way)*
- *Выборы DR и BDR (Exstart)*
- *Обмен (Exchange)*
- *Загрузка (Loading)*
- *Полные соседские отношения (Full)*

**Поиск соседей**

**Обмен топологической информацией**

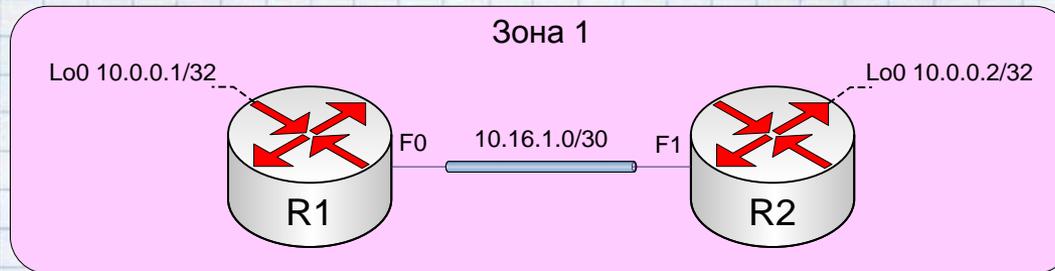
# Протокол OSPF

## Процесс установки соседских отношений (2 из 6)

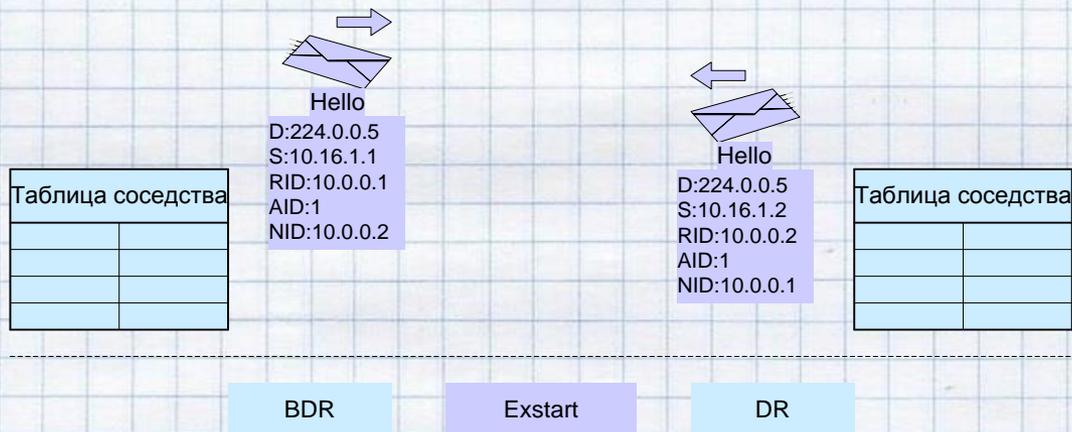


# Протокол OSPF

## Процесс установки соседских отношений (3 из 6)

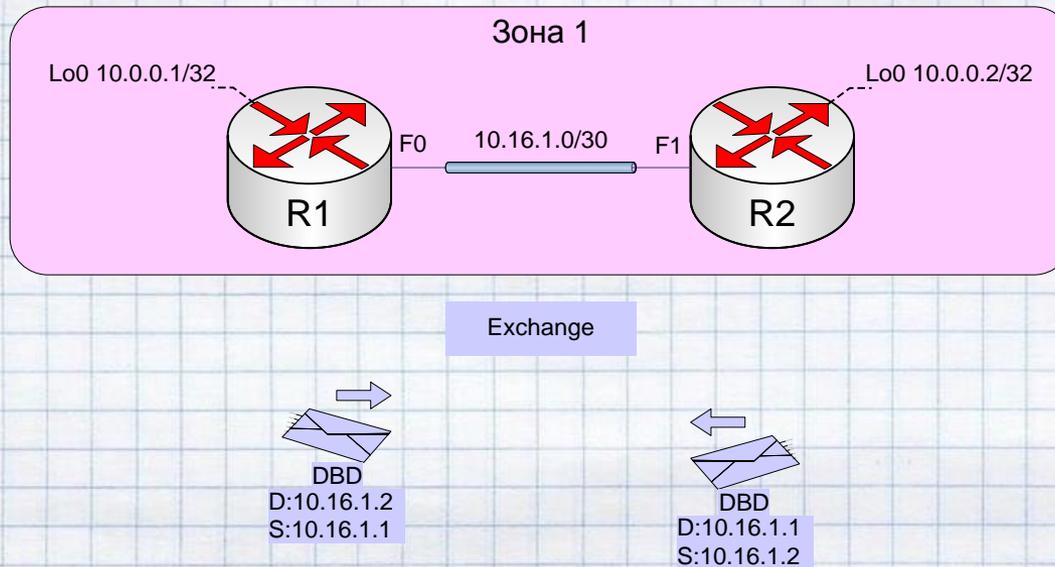


Two-Way



# Протокол OSPF

## Процесс установки соседских отношений (4 из 6)

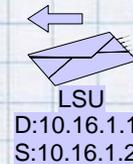
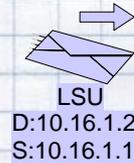


# Протокол OSPF

## Процесс установки соседских отношений (5 из 6)

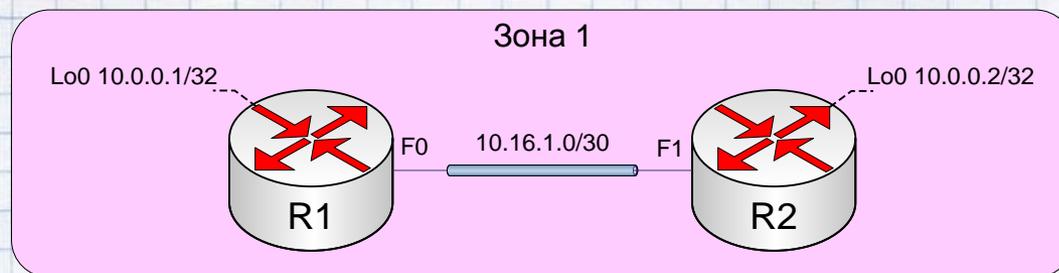


Loading



# Протокол OSPF

## Процесс установки соседских отношений (6 из 6)



Full



Таблица топологии	

Таблица топологии	

```
*Nov 16 18:29:07.170 KRSK: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 10.0.0.1 on Serial0/0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
```

# Протокол OSPF

---

## Разрыв соседских отношений

- *Отключение интерфейса до соседнего маршрутизатора*
- *Истечение таймера Hold-Time*

```
*Nov 16 18:43:25.609 KRSK: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 10.16.0.1 on  
Serial0/0/0 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
```

# Настройка протокола OSPF

---

## Запуск процесса маршрутизации

```
(config)# router ospf process-id  
(config)# no router ospf process-id
```

• *process-id* имеет локальное значение. Хорошим тоном считается использовать один и тот же *process-id* на всех маршрутизаторах домена маршрутизации OSPF

## Описание сетей в процесс маршрутизации

```
(config-router)# network network-number [wildcard-mask] area area-id  
(config-router)# no network network-number [wildcard-mask] area area-id
```

## Настройка информирования о событиях

```
(config-router)# log-adjacency-changes [detail]  
(config-router)# no log-adjacency-changes [detail]
```

# Настройка протокола OSPF

---

## Назначение идентификатора маршрутизатора

- *Старший IP адрес физического интерфейса маршрутизатора.*
- *Старший IP адрес логического интерфейса loopback*
- *Задание идентификатора вручную с помощью команды router-id.*

```
(config-router)# router-id router-id  
(config-router)# no router-id router-id
```

```
%OSPF-4-NORTRID: OSPF process [dec] cannot start. There must be at least  
one "up" IP interface, for OSPF to use as router ID
```

```
# clear ip ospf process
```

# Настройка протокола OSPF

## Использование DNS имен

```
(config)# ip ospf name-lookup
(config)# no ip ospf name-lookup
```

```
r2#show ip ospf neighbor
```

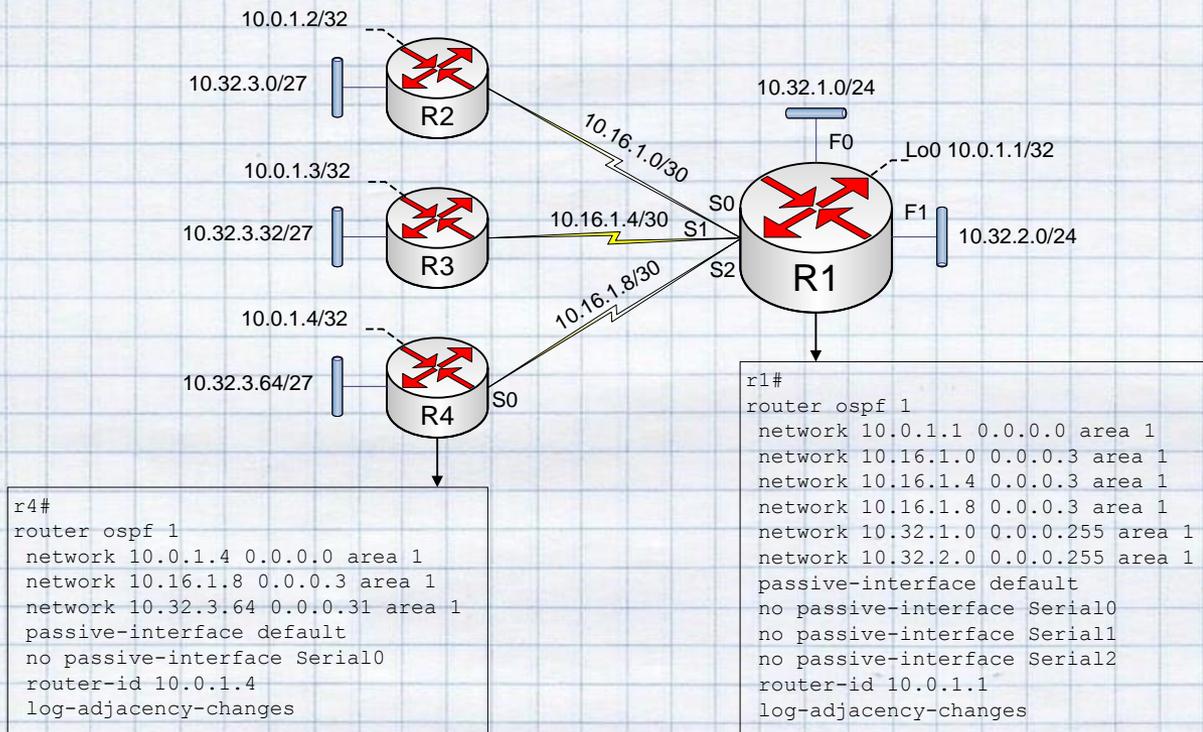
Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
<b>10.0.1.3</b>	0	FULL/ -	00:00:31	10.16.1.6	Serial0/1/0
<b>10.0.1.2</b>	0	FULL/ -	00:00:36	10.16.1.2	Serial0/0/1
<b>10.0.2.1</b>	1	FULL/BDR	00:00:30	10.16.0.10	FastEthernet0/0.401
<b>10.0.0.1</b>	0	FULL/ -	00:00:35	10.16.0.1	Serial0/0/0

```
r2#show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
<b>r5.test.ru</b>	0	FULL/ -	00:00:31	10.16.1.6	Serial0/1/0
<b>r4.test.ru</b>	0	FULL/ -	00:00:36	10.16.1.2	Serial0/0/1
<b>r3.test.ru</b>	1	FULL/BDR	00:00:30	10.16.0.10	FastEthernet0/0.401
<b>r1.test.ru</b>	0	FULL/ -	00:00:35	10.16.0.1	Serial0/0/0

# Настройка протокола OSPF

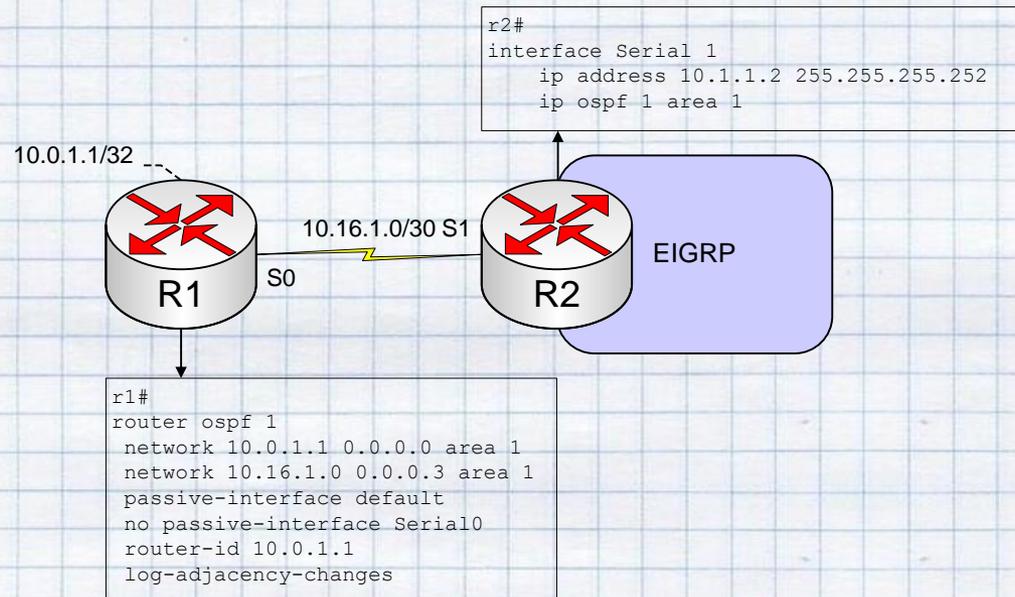
## Пример настройки процесса маршрутизации OSPF



# Настройка протокола OSPF

## Запуск протокола OSPF на интерфейсе

```
(config-if) # ip ospf process-id area area-id [secondaries none]
(config-if) # no ip ospf process-id area area-id [secondaries none]
```



- *Повсеместное использование команды не рекомендуется*

# Настройка протокола OSPF

---

## Указание метрики на интерфейсе

- *В протоколе OSPF существует возможность указания стоимости канала связи при помощи команды `ip ospf cost`*

```
(config-if)# ip ospf cost interface-cost
```

```
(config-if)# no ip ospf cost interface-cost
```

# Настройка протокола OSPF

---

## Суммирование маршрутов внутри зоны протокола OSPF

- *Протокол OSPF при работе в рамках одной зоны не имеет возможности производить суммирование маршрутов.*
  - *Суммирование маршрута является изменением топологической информации, которая не была первоначально им объявлена.*
  - *Все маршрутизаторы находящиеся внутри зоны протокола OSPF должны иметь идентичные таблицы топологии зоны OSPF*

# Настройка протокола OSPF

---

Распространение маршрута по умолчанию внутри зоны протокола OSPF

- *Протокол OSPF средствами внутрizonальной топологической информации не имеет возможности производить распространение маршрута по умолчанию.*
- *В зависимости от топологии домена OSPF и настроек маршрутизаторов информацию о маршруте по умолчанию могут передавать LSA-3 или LSA-5 типов.*

# Настройка протокола OSPF

---

## Настройка режима аутентификации в протоколе OSPF

```
(config-if)# ip ospf authentication [message-digest | null]  
(config-if)# no ip ospf authentication
```

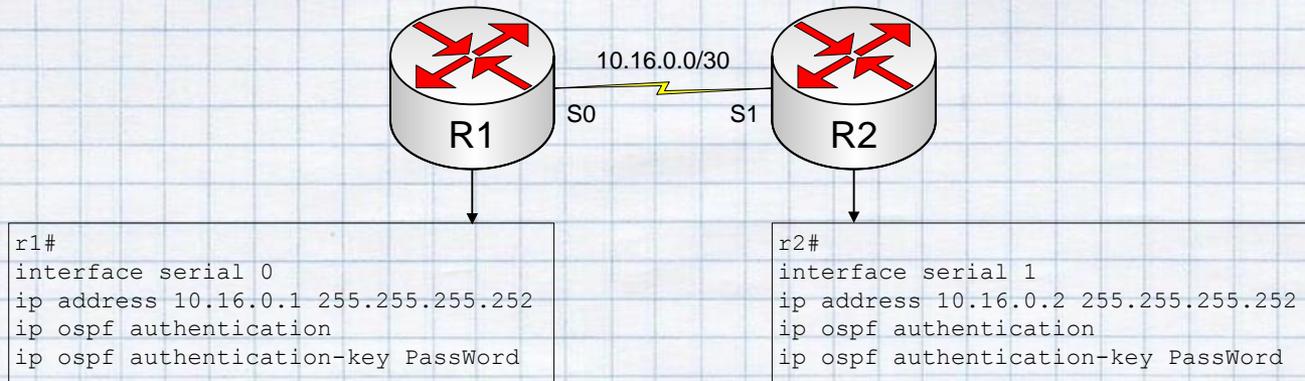
## Настройка ключа аутентификации

```
(config-if)# ip ospf authentication-key password  
(config-if)# no ip ospf authentication-key
```

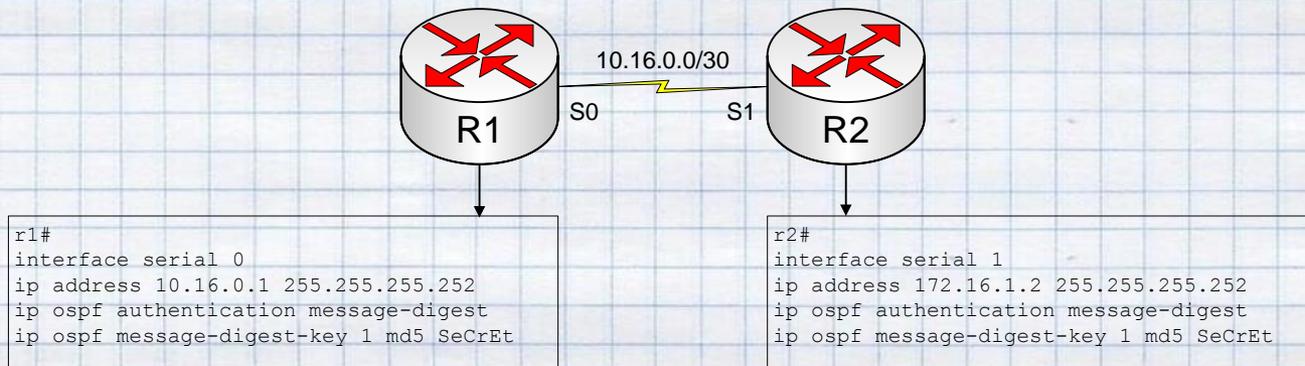
```
(config-if)# ip ospf message-digest-key key-id encryption-type md5 key  
(config-if)# no ip ospf message-digest-key key-id
```

# Настройка протокола OSPF

## Пример настройки аутентификации по паролю в протоколе OSPF



## Пример настройки аутентификации MD5 в протоколе OSPF



# Настройка протокола OSPF

## Успешная аутентификация в протоколе OSPF

```
r2#show ip ospf neighbor
```

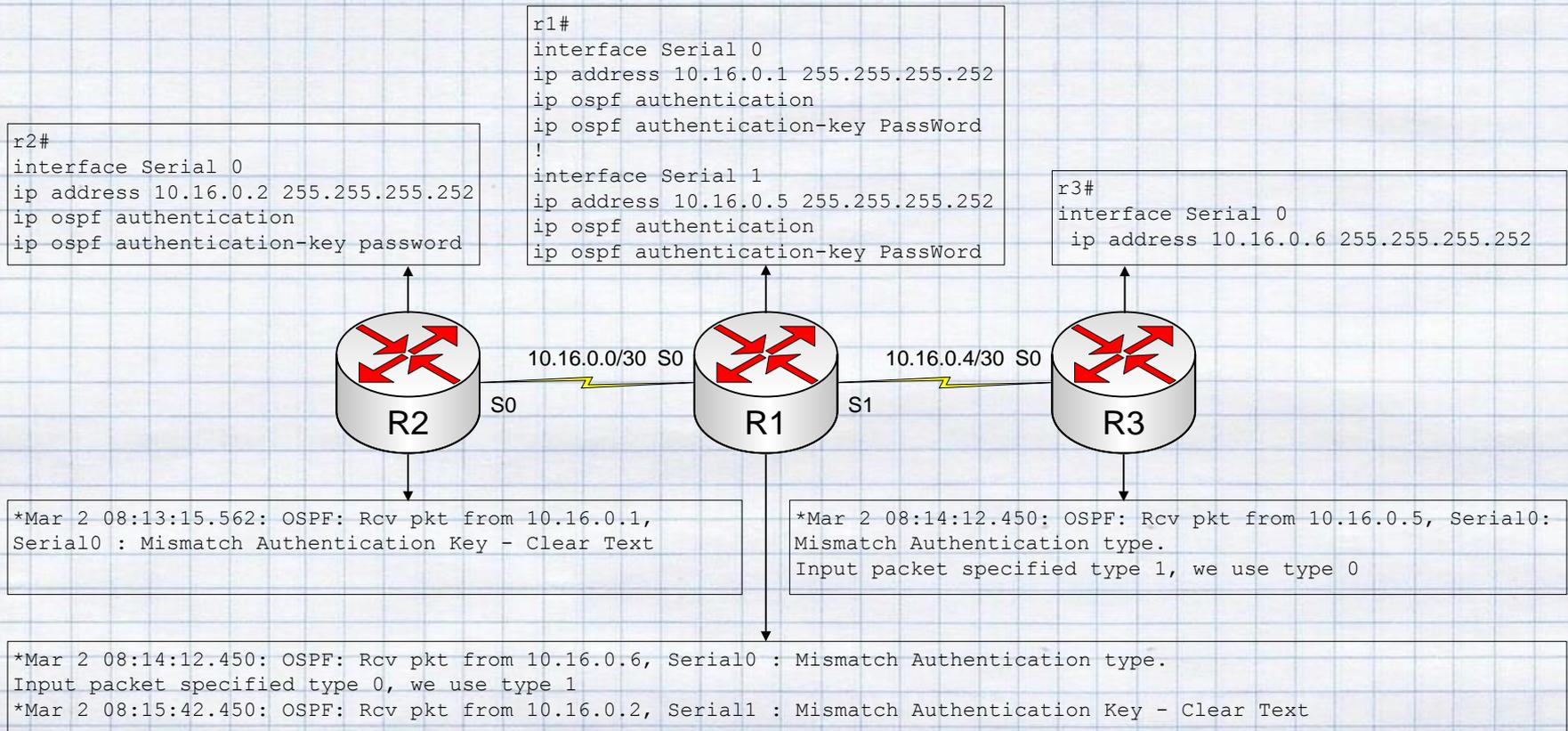
Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
10.0.2.1	1	FULL/BDR	00:00:35	10.16.0.10	FastEthernet0/0.401
10.0.0.1	0	FULL/ -	00:00:30	10.16.0.1	Serial0/0/0
10.0.1.3	0	FULL/ -	00:00:36	10.16.1.6	Serial0/1/0
<b>10.0.1.2</b>	<b>0</b>	<b>FULL/ -</b>	<b>00:00:38</b>	<b>10.16.1.2</b>	<b>Serial0/0/1</b>

```
r2#show ip ospf interface Serial0/0/1
```

```
Serial0/0/1 is up, line protocol is up
  Internet Address 10.16.1.1/30, Area 1
  Process ID 1, Router ID 10.0.1.1, Network Type POINT_TO_POINT, Cost: 50
  Transmit Delay is 1 sec, State POINT_TO_POINT,
  Timer intervals configured, Hello 10, Dead 40, Wait 40, Retransmit 5
    oob-resync timeout 40
    Hello due in 00:00:04
  Supports Link-local Signaling (LLS)
  Index 5/5, flood queue length 0
  Next 0x0(0)/0x0(0)
  Last flood scan length is 2, maximum is 2
  Last flood scan time is 0 msec, maximum is 0 msec
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
    Adjacent with neighbor 10.0.1.2
  Suppress hello for 0 neighbor(s)
  Message digest authentication enabled
  Youngest key id is 1
```

# Настройка протокола OSPF

## Ошибки при аутентификации по паролю в протоколе OSPF

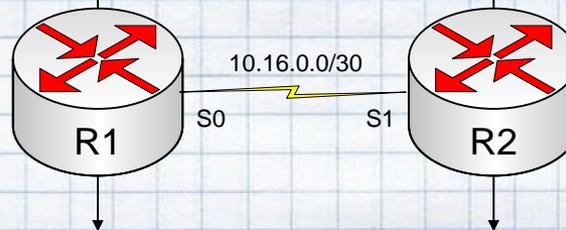


# Настройка протокола OSPF

## Ошибки при аутентификации MD5 в протоколе OSPF

```
r1#  
interface serial 0  
ip address 172.16.1.1 255.255.255.252  
ip ospf authentication message-digest  
ip ospf message-digest-key 1 md5 SeCrEt
```

```
r2#  
interface serial 1  
ip address 172.16.1.2 255.255.255.252  
ip ospf authentication message-digest  
ip ospf message-digest-key 0 md5 SeCrEt
```



```
r1#  
*Mar 2 08:12:44.372: OSPF: Send with youngest Key 1  
  
*Mar 2 08:15:26.560: OSPF: Rcv pkt from 172.16.1.2,  
Serial 0: Mismatch Authentication Key - No message  
digest key 0 on interface
```

```
r2#  
*Mar 2 08:19:52.332: OSPF: Send with youngest Key 0  
  
*Mar 2 08:19:52.460: OSPF: Rcv pkt from 172.16.1.1,  
Serial 1: Mismatch Authentication Key - No message  
digest key 1 on interface
```

# Настройка протокола OSPF

---

## Распределение нагрузки в протоколе OSPF

- *В протоколе OSPF применяется распределение нагрузки только по каналам в равной стоимости.*
  - *Максимальное количество альтернативных маршрутов 16*
  - *По умолчанию 4*

# Расширенная настройка протокола OSPF

---

## Таймеры протокола OSPF

```
(config-if)# ip ospf hello-interval seconds
```

```
(config-if)# no ip ospf hello-interval
```

```
(config-if)# ip ospf dead-interval seconds
```

```
(config-if)# no ospf dead-interval
```

```
(config-if)# ip ospf retransmit-interval seconds
```

```
(config-if)# no ospf retransmit-interval
```

```
(config-if)# ip ospf transmit-delay seconds
```

```
(config-if)# no ospf transmit-delay
```

## Изменение административного расстояния протокола OSPF

```
(config-router)# distance ospf {[intra-area d1] [inter-area d2] [external d3] }
```

```
(config-router)# no distance ospf
```

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

---

## Основные команды для тестирования протокола OSPF

- *show ip route ospf*
- *show ip protocols*
- *show ip ospf*
- *show ip ospf neighbors*
- *show ip ospf database*
- *show ip ospf interface*
- *show ip ospf statistics*
- *show ip ospf traffic*
- *clear ip ospf process | redistribution | counters | traffic*

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

```
r3#show ip route ospf
Gateway of last resort is not set
  10.0.0.0/8 is variably subnetted, 25 subnets, 3 masks
O       10.16.0.4 [110/60] via 10.16.0.10, 00:04:39, FastEthernet0/0.401
O       10.32.2.16/28 [110/61] via 10.16.0.10, 00:04:41, FastEthernet0/0.401
O       10.32.1.16/28 [110/51] via 10.16.1.2, 00:04:41, Serial0/0/1
O       10.16.2.4/30 [110/60] via 10.16.0.10, 00:04:41, FastEthernet0/0.401
O       10.0.2.3/32 [110/61] via 10.16.0.10, 00:04:41, FastEthernet0/0.401
O       10.0.1.2/32 [110/51] via 10.16.1.2, 00:04:41, Serial0/0/1
O       10.32.2.1/28 [110/61] via 10.16.0.10, 00:04:41, FastEthernet0/0.401
O       10.0.2.1/32 [110/61] via 10.16.0.10, 00:04:41, FastEthernet0/0.401
O       10.0.1.3/32 [110/51] via 10.16.1.6, 00:04:41, Serial0/1/0
O       10.32.1.0/28 [110/51] via 10.16.1.2, 00:04:41, Serial0/0/1
O       10.32.0.0/28 [110/51] via 10.16.0.1, 00:04:41, Serial0/0/0
O       10.0.2.1/32 [110/11] via 10.16.0.10, 00:04:41, FastEthernet0/0.401
O       10.0.0.1/32 [110/51] via 10.16.0.1, 00:04:41, Serial0/0/0
O       10.16.2.0/30 [110/60] via 10.16.0.10, 00:04:41, FastEthernet0/0.401
O       10.32.2.48/28 [110/61] via 10.16.0.10, 00:04:43, FastEthernet0/0.401
O       10.32.1.48/28 [110/51] via 10.16.1.2, 00:04:43, Serial0/0/1
O       10.32.2.32/28 [110/61] via 10.16.0.10, 00:04:43, FastEthernet0/0.401
O       10.32.1.32/28 [110/51] via 10.16.1.2, 00:04:43, Serial0/0/1
O       10.16.2.8/30 [110/61] via 10.16.0.10, 00:04:43, FastEthernet0/0.401
O       10.16.1.8/30 [110/51] via 10.16.1.6, 00:04:43, Serial0/1/0
O       10.16.1.8/30 [110/51] via 10.16.1.2, 00:04:43, Serial0/0/1
```

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

```
r2#show ip protocols
Routing Protocol is "ospf 1"
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Router ID 10.0.1.1
  Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
  Maximum path: 4
  Routing for Networks:
    10.16.1.0 0.0.0.3 area 1
    10.16.1.4 0.0.0.3 area 1
    10.0.1.2 0.0.0.0 area 1
    10.16.0.0 0.0.0.3 area 1
    10.16.0.8 0.0.0.3 area 1
  Reference bandwidth unit is 100 mbps
  Passive Interface(s):
    FastEthernet0/1
    Loopback0
  Routing Information Sources:
    Gateway         Distance      Last Update
    10.0.2.3         110          00:01:23
    10.0.1.1         110          00:01:23
    10.0.2.1         110          00:01:23
    10.0.1.3         110          00:01:25
    10.0.2.1         110          00:01:25
    10.0.0.1         110          00:01:25
  Distance: (default is 110)
```

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

```
r2#show ip ospf
```

```
Routing Process "ospf 1" with ID 10.0.1.1
```

```
Start time: 01:06:59.412, Time elapsed: 00:36:46.544
```

```
Supports only single TOS(TOS0) routes
```

```
Supports area transit capability
```

```
Initial SPF schedule delay 5000 msecs
```

```
Minimum hold time between two consecutive SPF's 10000 msecs
```

```
Maximum wait time between two consecutive SPF's 10000 msecs
```

```
Incremental-SPF disabled
```

```
Minimum LSA interval 5 secs
```

```
Minimum LSA arrival 1000 msecs
```

```
LSA group pacing timer 240 secs
```

```
Interface flood pacing timer 33 msecs
```

```
Retransmission pacing timer 66 msecs
```

```
Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
```

```
Number of areas transit capable is 0
```

```
External flood list length 0
```

```
Area 1
```

```
Number of interfaces in this area is 5 (1 loopback)
```

```
Area has no authentication
```

```
SPF algorithm last executed 00:06:32.272 ago
```

```
SPF algorithm executed 11 times
```

```
Area ranges are
```

```
Number of LSA 10. Checksum Sum 0x04A999
```

```
Number of opaque link LSA 0. Checksum Sum 0x000000
```

```
Number of indication LSA 0
```

```
Flood list length 0
```

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

```
r2#show ip ospf neighbors
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
10.0.2.1	1	FULL/BDR	00:00:35	10.16.0.10	FastEthernet0/0.401
10.0.0.1	0	FULL/ -	00:00:34	10.16.0.1	Serial0/0/0
10.0.1.2	0	FULL/ -	00:00:32	10.16.1.6	Serial0/1/0
10.0.1.3	0	FULL/ -	00:00:30	10.16.1.2	Serial0/0/1

```
r2#show ip ospf neighbor detail
```

```
Neighbor 10.0.0.1, interface address 10.16.0.1
```

```
In the area 1 via interface Serial0/0/0
```

```
Neighbor priority is 0, State is FULL, 6 state changes
```

```
DR is 0.0.0.0 BDR is 0.0.0.0
```

```
Options is 0x42
```

```
Dead timer due in 00:00:38
```

```
Neighbor is up for 00:04:51
```

```
Index 1/1, retransmission queue length 0, number of retransmission 1
```

```
First 0x0(0)/0x0(0) Next 0x0(0)/0x0(0)
```

```
Last retransmission scan length is 1, maximum is 1
```

```
Last retransmission scan time is 0 msec, maximum is 0 msec
```

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

---

```
show ip ospf [process-id area-id] database  
show ip ospf [process-id area-id] database [adv-router [ip-address]]  
show ip ospf [process-id area-id] database [database-summary]  
show ip ospf [process-id area-id] database [self-originate] [link-state-id]  
show ip ospf [process-id area-id] database [LSA-type] [link-state-id]  
show ip ospf [process-id area-id] database [LSA-type] [link-state-id]  
[adv-router [ip-address]]  
show ip ospf [process-id area-id] database [LSA-type] [link-state-id]  
[self-originate] [link-state-id]
```

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

```
r2#show ip ospf database
```

```
OSPF Router with ID (10.0.1.1) (Process ID 1)
```

```
Router Link States (Area 1)
```

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
10.0.0.1	10.0.0.1	593	0x80000003	0x009420	6
10.0.1.1	10.0.1.1	413	0x80000004	0x00A38F	8
10.0.1.2	10.0.1.2	788	0x80000002	0x0023F2	6
10.0.1.3	10.0.1.3	788	0x80000002	0x00C828	6
10.0.2.1	10.0.2.1	213	0x80000004	0x00877A	8
10.0.2.2	10.0.2.2	206	0x80000003	0x0010A8	6
10.0.2.3	10.0.2.3	204	0x80000003	0x00A6F5	6

```
Net Link States (Area 1)
```

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
10.16.0.9	10.0.1.1	413	0x80000001	0x00958E
10.16.1.9	10.0.1.2	788	0x80000001	0x00442F
10.16.2.9	10.0.2.2	206	0x80000001	0x006CFC

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

---

```
r2#show ip ospf interface
```

```
Serial0/0/0 is up, line protocol is up
  Internet Address 10.16.0.2/30, Area 1
  Process ID 1, Router ID 10.0.1.1, Network Type POINT_TO_POINT, Cost: 50
  Transmit Delay is 1 sec, State POINT_TO_POINT,
  Timer intervals configured, Hello 10, Dead 40, Wait 40, Retransmit 5
    oob-resync timeout 40
    Hello due in 00:00:04
  Supports Link-local Signaling (LLS)
  Index 5/5, flood queue length 0
  Next 0x0(0)/0x0(0)
  Last flood scan length is 2, maximum is 2
  Last flood scan time is 0 msec, maximum is 0 msec
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
    Adjacent with neighbor 10.0.0.1
  Suppress hello for 0 neighbor(s)
  Message digest authentication enabled
    Youngest key id is 1
```

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

```
r2#show ip ospf statistics
```

```
OSPF Router with ID (10.0.1.1) (Process ID 1)
```

```
Area 1: SPF algorithm executed 10 times
```

```
Summary OSPF SPF statistic
```

```
SPF calculation time
```

Delta T	Intra	D-Intra	Summ	D-Summ	Ext	D-Ext	Total	Reason
02:04:55	0	0	0	0	0	0	0	R,
01:03:17	0	0	0	0	0	0	0	R,
00:09:15	0	0	0	0	0	0	0	R,
00:07:17	0	0	0	0	0	0	0	R,
00:06:11	0	0	0	0	0	0	0	R,
00:05:56	0	0	0	0	0	0	0	R,

```
RIB manipulation time during SPF (in msec):
```

Delta T	RIB Update	RIB Delete
02:04:55	0	0
01:03:17	0	0
00:09:15	0	0
00:07:29	0	0
00:06:22	0	0
00:06:07	0	0

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

---

```
r1#show ip ospf traffic serial 0/0/0
  Interface Serial0/0/0
  OSPF packets received/sent
    Invalid  Hellos  DB-des  LS-req  LS-upd  LS-ack  Total
Rx: 0        24339   7      1      230    191     24768
Tx: 0        24341   5      2      195    225     24768
  OSPF header errors
    Length 0, Auth Type 0, Checksum 0, Version 0,
    Bad Source 0, No Virtual Link 0, Area Mismatch 0,
    No Sham Link 0, Self Originated 0, Duplicate ID 0,
    Hello 0, MTU Mismatch 0, Nbr Ignored 0,
    LLS 0, Unknown Neighbor 0, Authentication 0,
    TTL Check Fail 0,
  OSPF LSA errors
    Type 0, Length 0, Data 0, Checksum 0,
```

# Тестирование и устранение ошибок в работе протокола OSPF

```
debug ip ospf event  
debug ip ospf adj  
debug ip ospf packet  
debug ip ospf spf
```

