



# Онлайн-образование



**Не забыть включить запись!**







# Меня хорошо видно && слышно?

Ставьте , если все хорошо  
Напишите в чат, если есть проблемы



# Правила вебинара



Активно участвуем



Задаем вопрос в чат или голосом



Off-topic обсуждаем в Slack #канал группы или #general



Вопросы вижу в чате, могу ответить не сразу





# Маршрутизация в сетях IPv4. OSPF

Викирюк Павел

Системный инженер



# Маршрут вебинара

Статическая маршрутизация



Динамическая маршрутизация



Программные маршрутизаторы

# Цели занятия | После занятия вы сможете

- 1 Различать, что такое unicast, broadcast, multicast
- 2 Управлять трафиком с помощью loopback-интерфейса
- 3 Настраивать программные маршрутизаторы Quagga, FRR и BIRD

# Цели занятия | После занятия вы сможете

4 Различать IGP и EGP протоколы

5 Понять, как работает протокол OSPF



# СМЫСЛ | Зачем вам это уметь

1 Чтобы понимать, что происходит в сетях и уметь решать проблемы

2 Чтобы строить и эксплуатировать отказоустойчивые сети самых разных размеров

3 Чтобы масштабировать сети без больших затрат





# Статическая маршрутизация





The background of the slide features an aerial view of a dense city skyline, likely New York City, with numerous skyscrapers. The image is overlaid with a semi-transparent blue layer that contains a network diagram pattern of interconnected nodes and lines. The title text is centered within this blue area.

# Numbering & Renumbering





**Вопрос к аудитории:**

**Какие бывают сети?**



# Numbering & Renumbering

## Серые сети

Так же известны как “приватные”, “внутренние” или “локальные”  
Диапазоны описаны в RFC 1918: <https://tools.ietf.org/html/rfc1918>

- 10.0.0.0/8
- 172.16.0.0/12
- 192.168.0.0/16

## Сети специального назначения

Диапазоны описаны в RFC 6890: <https://tools.ietf.org/html/rfc6890>

- 0.0.0.0/8 - хост как источник
- 127.0.0.0/8 - loopback
- 100.64.0.0/10 - NAT
- 169.254.0.0/16 - Link Local
- 240.0.0.0/4 - Multicast



# Numbering & Renumbering

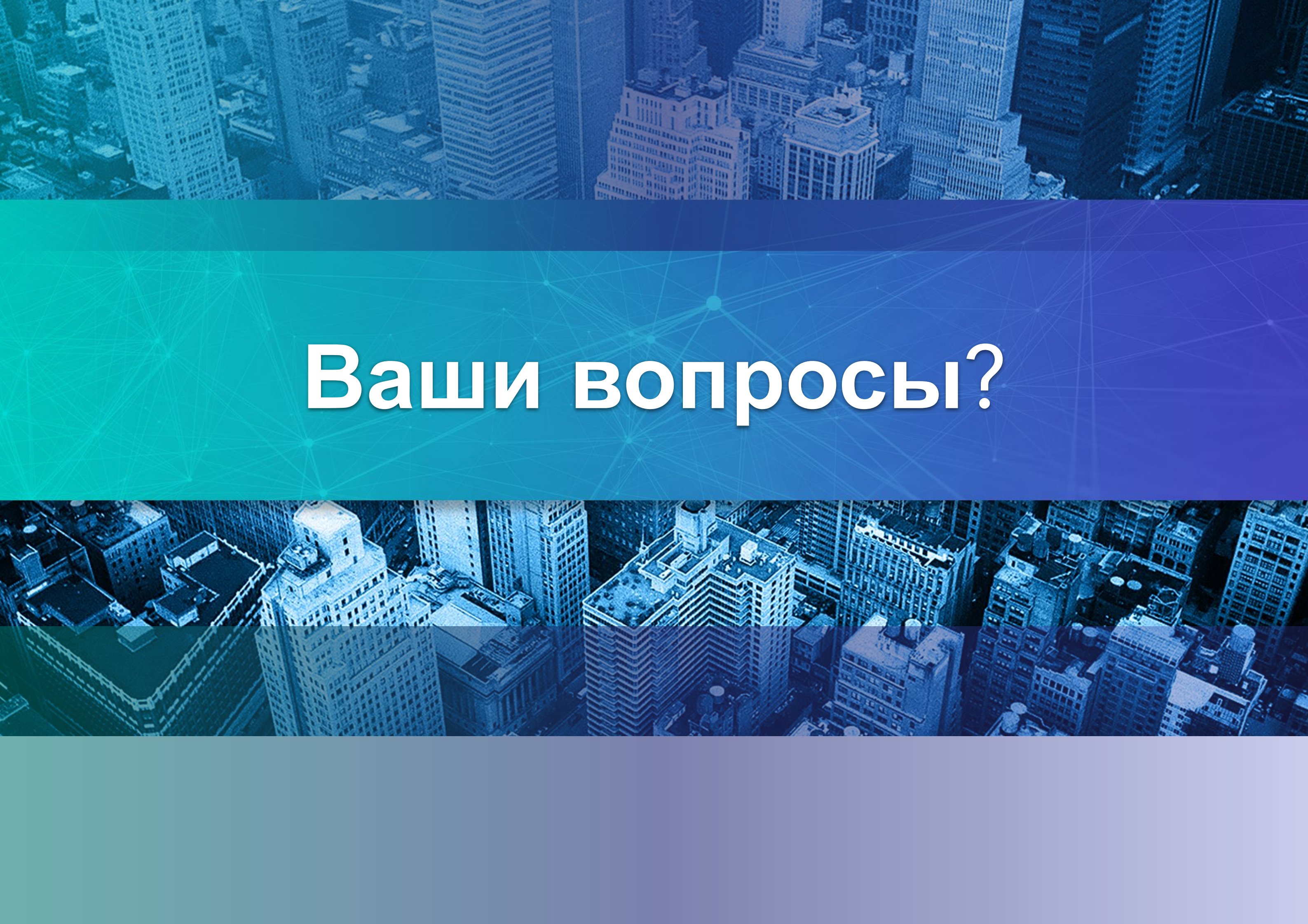
## Реальный IP адрес

- также известен как “внешний” и “прямой” или “белый”
- работает в рамках автономной системы (AS)
- выдается вместе с номером AS **RIPE NCC**

## Пример:

- 87.250.250.0/24
- 8.8.8.0/24





**Ваши вопросы?**





**Aggregate networks**  
**Specific networks**  
**Null routing**



# Aggregate & specific networks

**Агрегированная сеть (aggregate network)** или **префикс** - сеть с минимально возможной маской, включающая в себя несколько **specific** сетей, то есть сетей заданных с более точной маской

- 10.0.0.0/8 - aggregate prefix
- 10.1.0.0/16 - specific network
- 10.2.0.0/16 - specific network
- 10.6.20.0/22 - specific network

## Особенности использования:

- трафик на несуществующие сети
- петли маршрутизации
- “дешевый” способ фильтрации трафика

## Решение:

- **null routing** - маршрут в Null

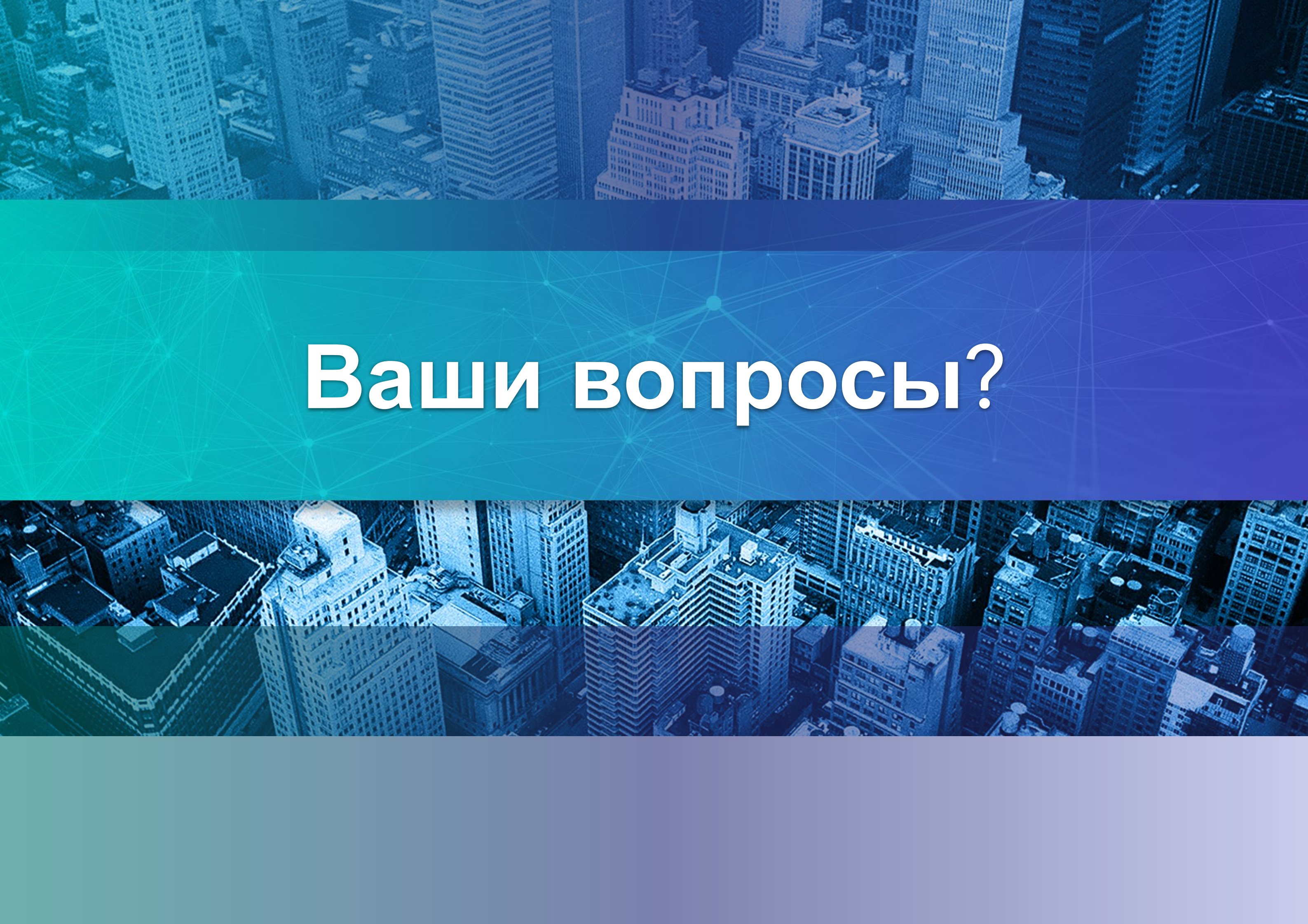


# Aggregate & specific networks

## **Примеры null роутинга:**

- ip route add blackhole 10/8
- ip route add blackhole 172.16.10.0/24
- ip route add blackhole 10.10.0.0/29





**Ваши вопросы?**





# Неочевидные возможности loopback





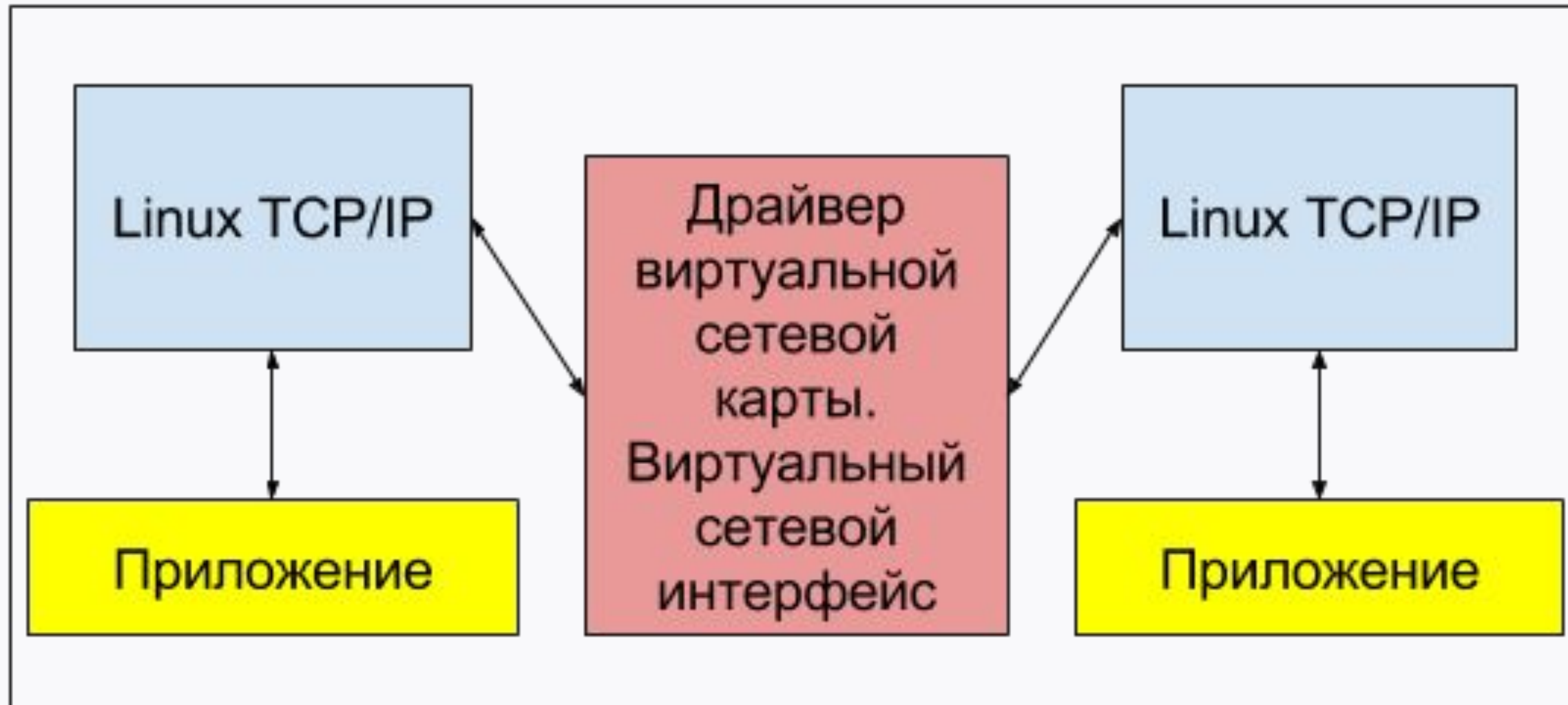
**Вопрос к аудитории:**

**Что такое loopback-интерфейс?**



# Неочевидные возможности loopback

## Схема работы loopback интерфейса:





# Неочевидные возможности loopback

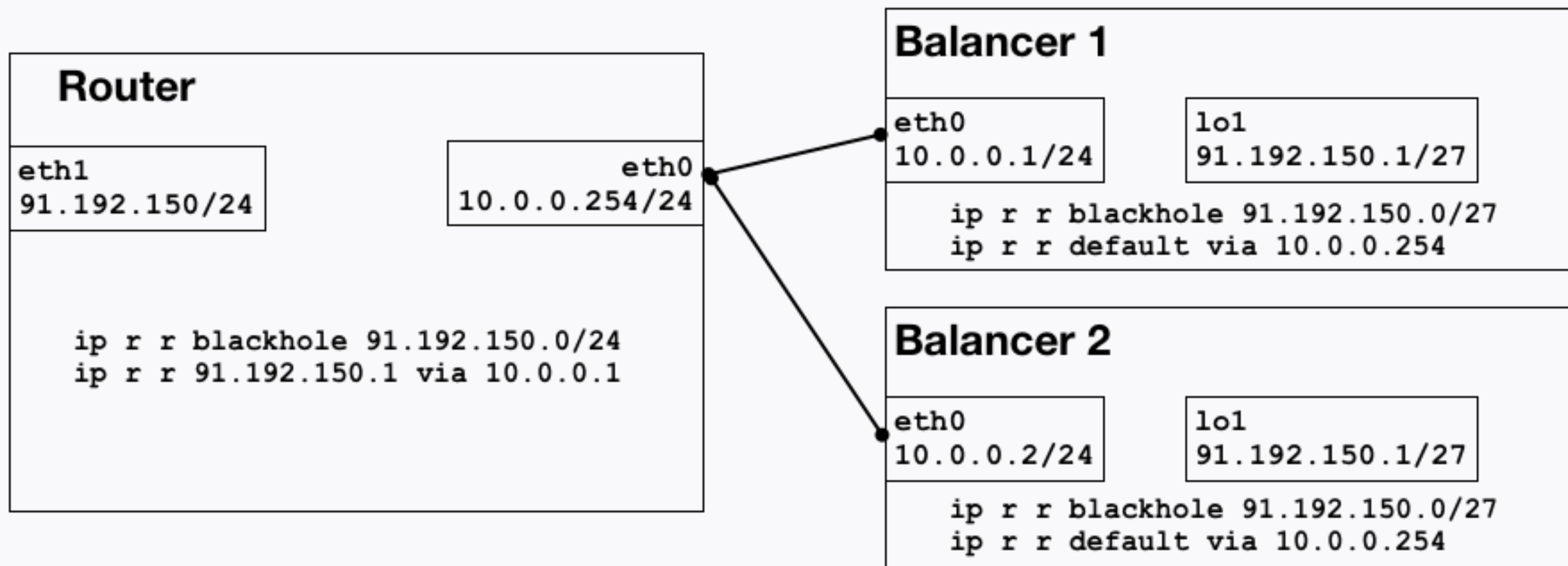
## Назначение loopback интерфейса:

- использование сети независимо от наличия сетевых интерфейсов
- взаимодействие сетевых приложений на сервере
- безопасное тестирование сетевых приложений
- может использоваться для маршрутизации
- Зарезервированное доменное имя - **localhost**, описано в <https://tools.ietf.org/html/rfc2606>

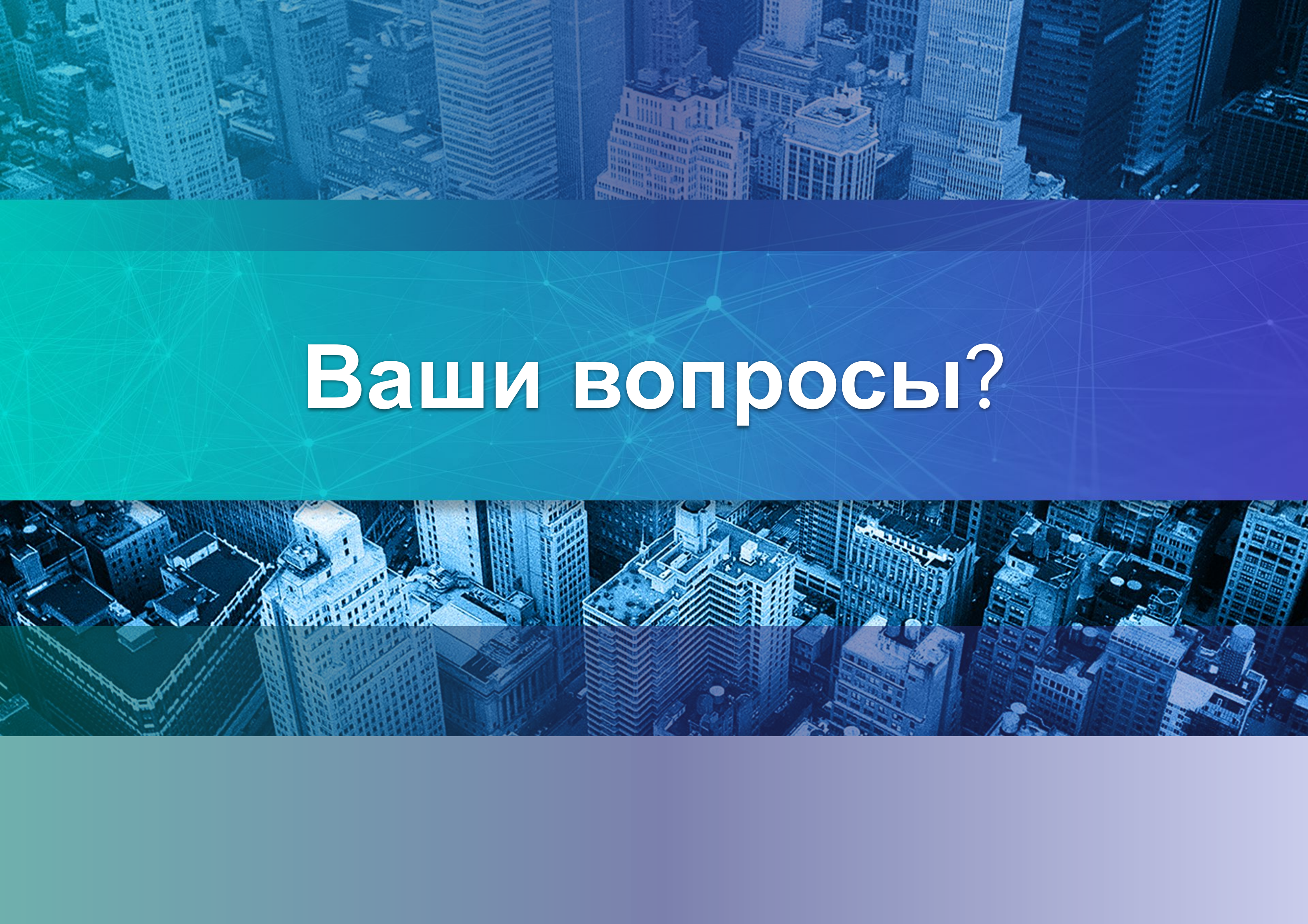


# Неочевидные возможности loopback

## Схема с примером маршрутизации с помощью loopback







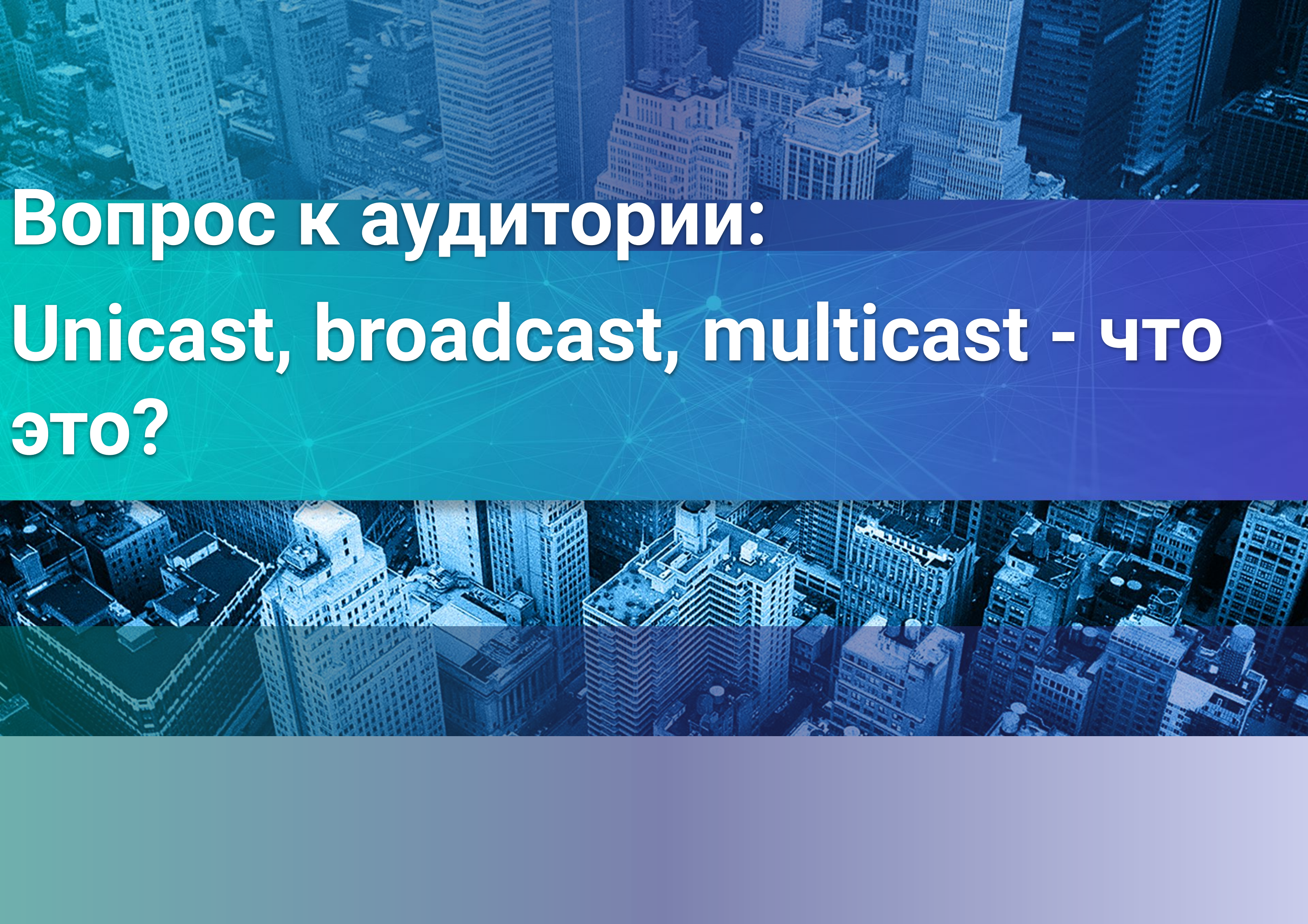
**Ваши вопросы?**





# Unicast, broadcast, multicast



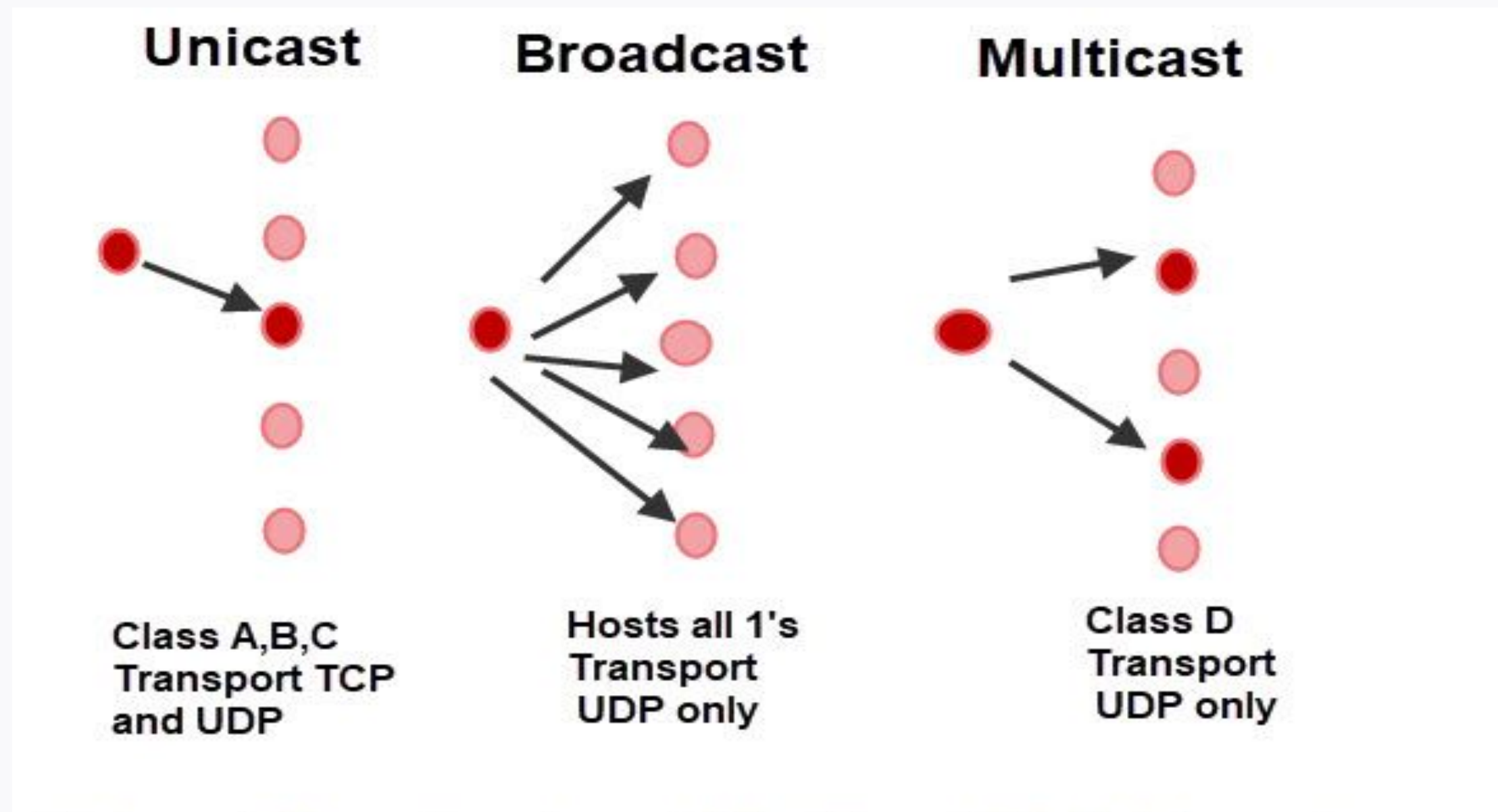


# Вопрос к аудитории: Unicast, broadcast, multicast - что это?



# Unicast, broadcast, multicast

## Типы передачи данных:

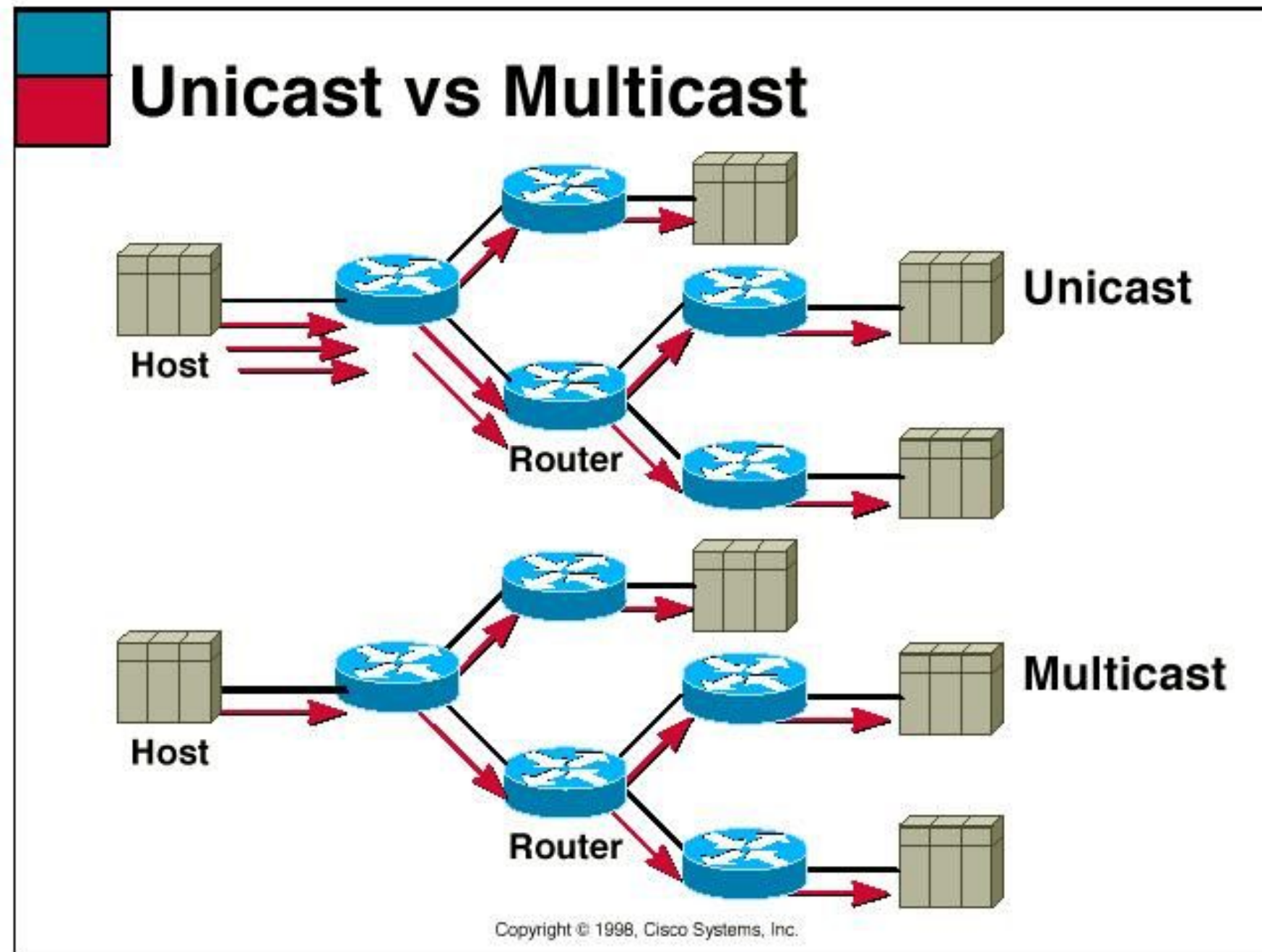


## Unicast, Broadcast and Multicast IP Addressing



# Unicast, broadcast, multicast

## Отличия unicast от multicast:





# Unicast, broadcast, multicast

## Особенности multicast:

- работает по UDP
- 224.0.0.0/4 (224.0.0.1 - 239.255.255.255)
- группа в multicast - это конкретный IP из данной подсети (например 224.0.2.1)
- для того чтобы принимать сообщения надо быть членом группы
- для того чтобы отсылать сообщения не обязательно быть членом группы

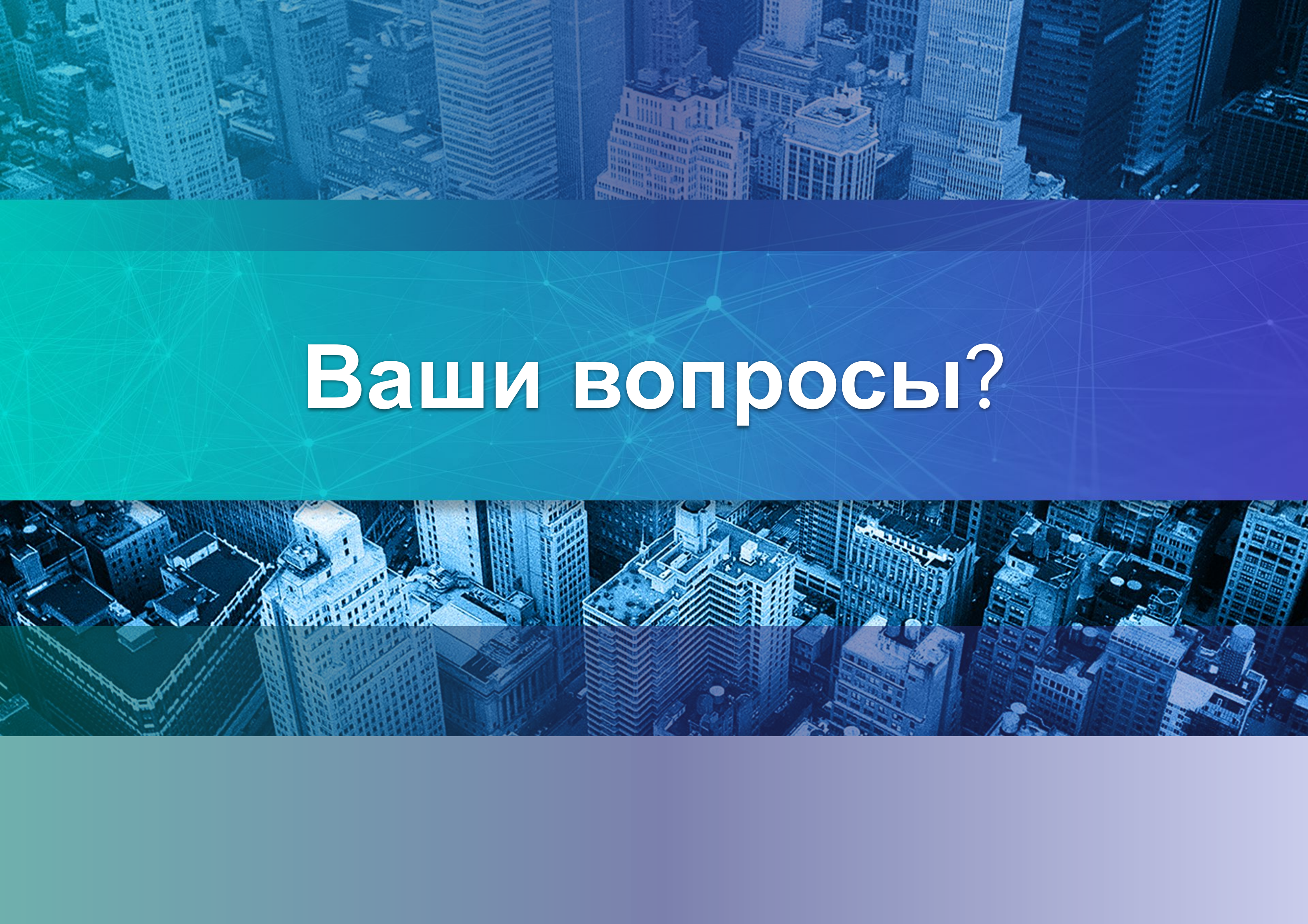


# Unicast, broadcast, multicast

## Группы назначений адресов:

- **Reserved Link-Local Addresses**
  - **224.0.0.0 – 224.0.0.255**
  - **Transmitted with TTL = 1**
  - **Examples:**
    - **224.0.0.1**      **All systems on this subnet**
    - **224.0.0.2**      **All routers on this subnet**
    - **224.0.0.5**      **OSPF routers**
    - **224.0.0.13**     **PIMv2 Routers**
    - **224.0.0.22**     **IGMPv3**
- **Other Reserved Addresses**
  - **224.0.1.0 – 224.0.1.255**
  - **Not local in scope** (Transmitted with TTL > 1)
  - **Examples:**
    - **224.0.1.1**      **NTP Network Time Protocol**
    - **224.0.1.32**     **Mtrace routers**
    - **224.0.1.78**     **Tibco Multicast1**





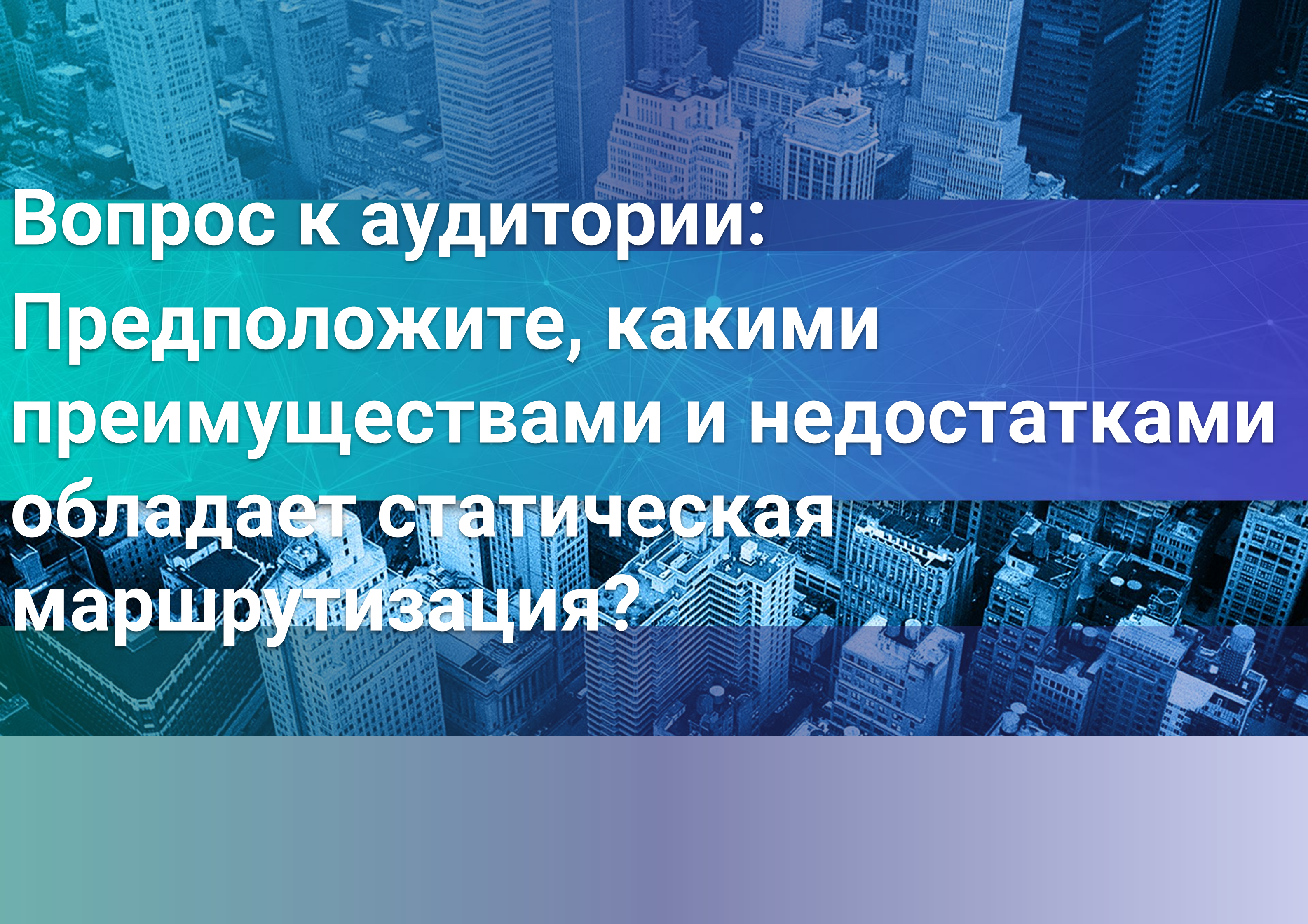
**Ваши вопросы?**





# Преимущества и недостатки статической маршрутизации



The background of the slide is an aerial photograph of a dense city skyline, likely New York City, with numerous skyscrapers. The image is overlaid with a semi-transparent blue layer. A network of thin, light blue lines connects various points across the blue area, creating a digital or data network aesthetic. The text is written in a bold, white, sans-serif font, centered horizontally and spanning across the middle of the image.

**Вопрос к аудитории:  
Предположите, какими  
преимуществами и недостатками  
обладает статическая  
маршрутизация?**



# Преимущества и недостатки статической маршрутизации

## Преимущества:

- можно быстро и просто развернуть небольшую сеть
- статические маршруты неизменны - можно быстро устранить неполадки
- нет обмена сообщениями между маршрутизаторами
- безопасность
- не требуется вычислительных ресурсов маршрутизаторов

## Недостатки:

- сложная конфигурация в больших сетях (прямая зависимость от роста сети)
- в случае сбоя канала маршрут работает некорректно
- все изменения выполняются вручную



# Маршрут вебинара

Статическая маршрутизация



Динамическая маршрутизация



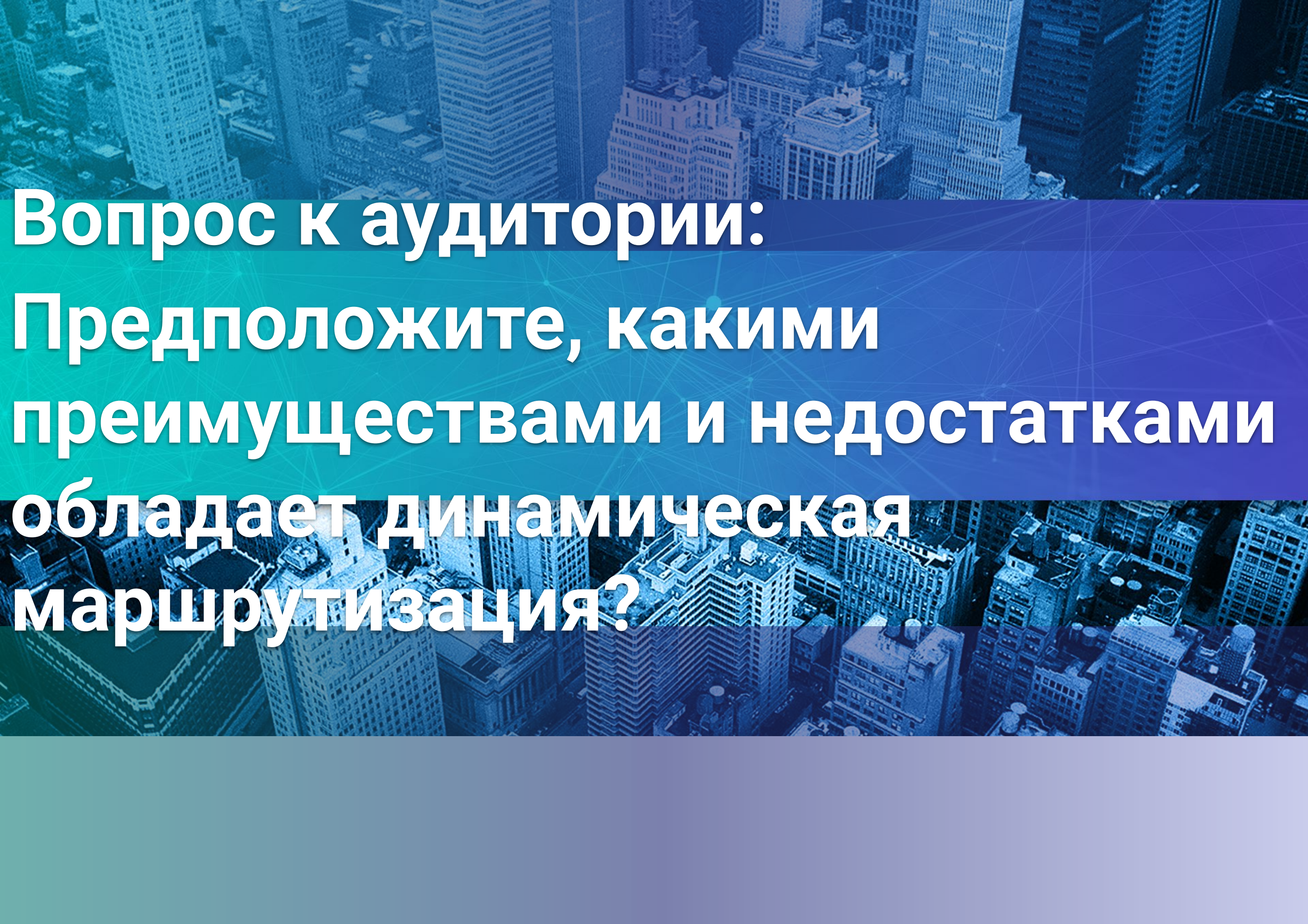
Программные маршрутизаторы





# Динамическая маршрутизация



The background of the slide is an aerial photograph of a dense city skyline, likely New York City, with numerous skyscrapers. The image is overlaid with a semi-transparent blue layer. A network of white lines and dots, resembling a digital or social network, is visible across the blue overlay. The text is written in a bold, white, sans-serif font, centered horizontally and spanning across the middle of the image.

**Вопрос к аудитории:  
Предположите, какими  
преимуществами и недостатками  
обладает динамическая  
маршрутизация?**



# Динамическая маршрутизация

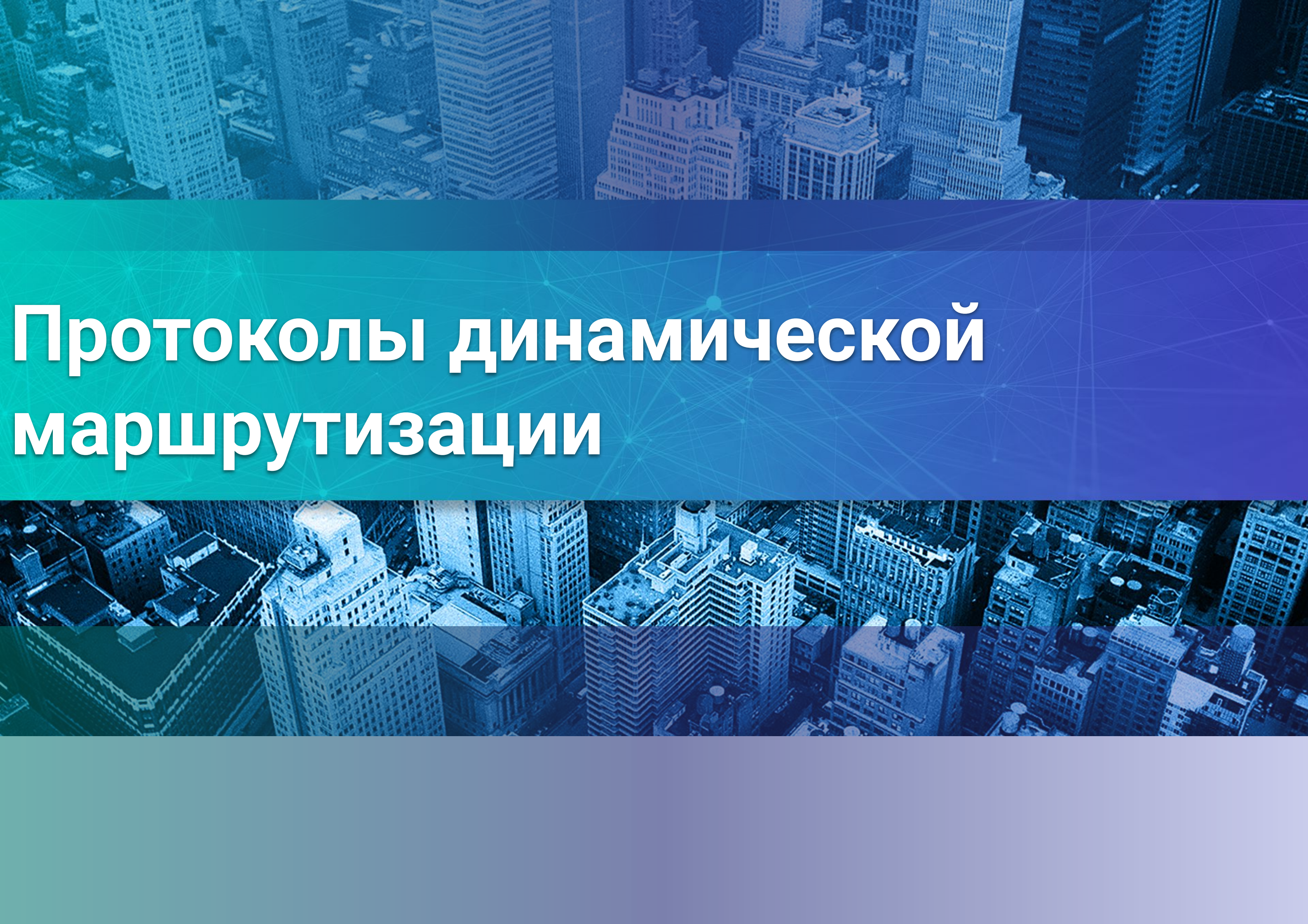
## Преимущества:

- автоматическое построение топологии и таблиц маршрутизации
- отказоустойчивость
- балансировка и управление трафиком
- удобное масштабирование сети

## Недостатки:

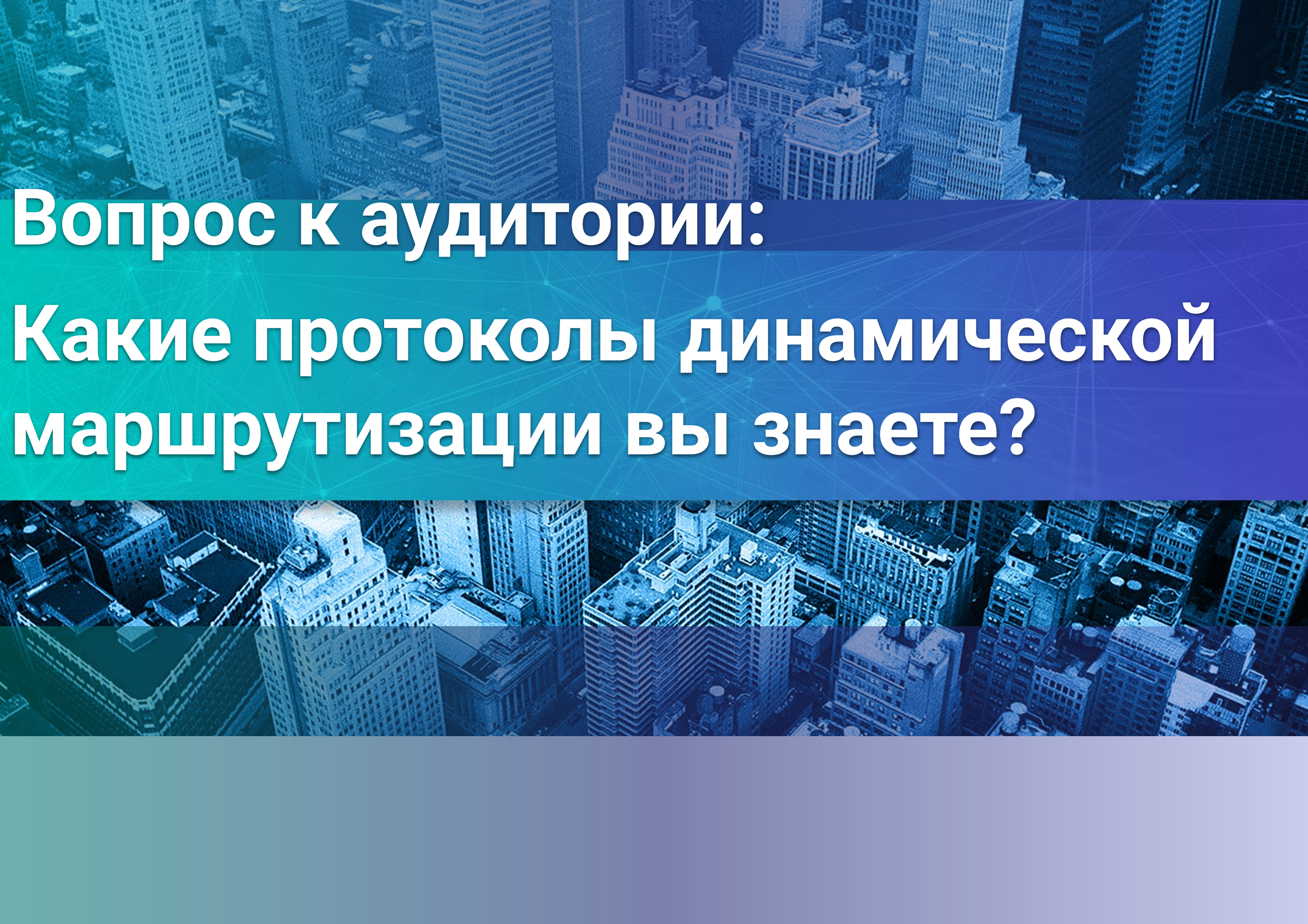
- более высокая сложность реализации
- менее безопасна (обмен сообщениями)
- зависимость маршрута от топологии сети
- протоколы более требовательны к производительности оборудования и каналам





# Протоколы динамической маршрутизации





**Вопрос к аудитории:**  
**Какие протоколы динамической маршрутизации вы знаете?**



# Динамическая маршрутизация

## IGP (interior gateway protocol)

Дистанционно-векторные протоколы:

### Особенности:

- **дистанция** показывает расстояние до точки назначения
- дальностью оперирует такой показатель, как **метрика**
- **вектор** показывает направление до точки назначения
- вектором может быть выходной интерфейс, IP-адрес соседа

### Протоколы:

- RIP
- IGRP



# Динамическая маршрутизация

## IGP (interior gateway protocol)

Link-state протоколы:

### Особенности:

- **Link** — интерфейс маршрутизатора
- **State** — его состояние и как он подключен к соседям

### Протоколы:

- OSPF
- ISIS

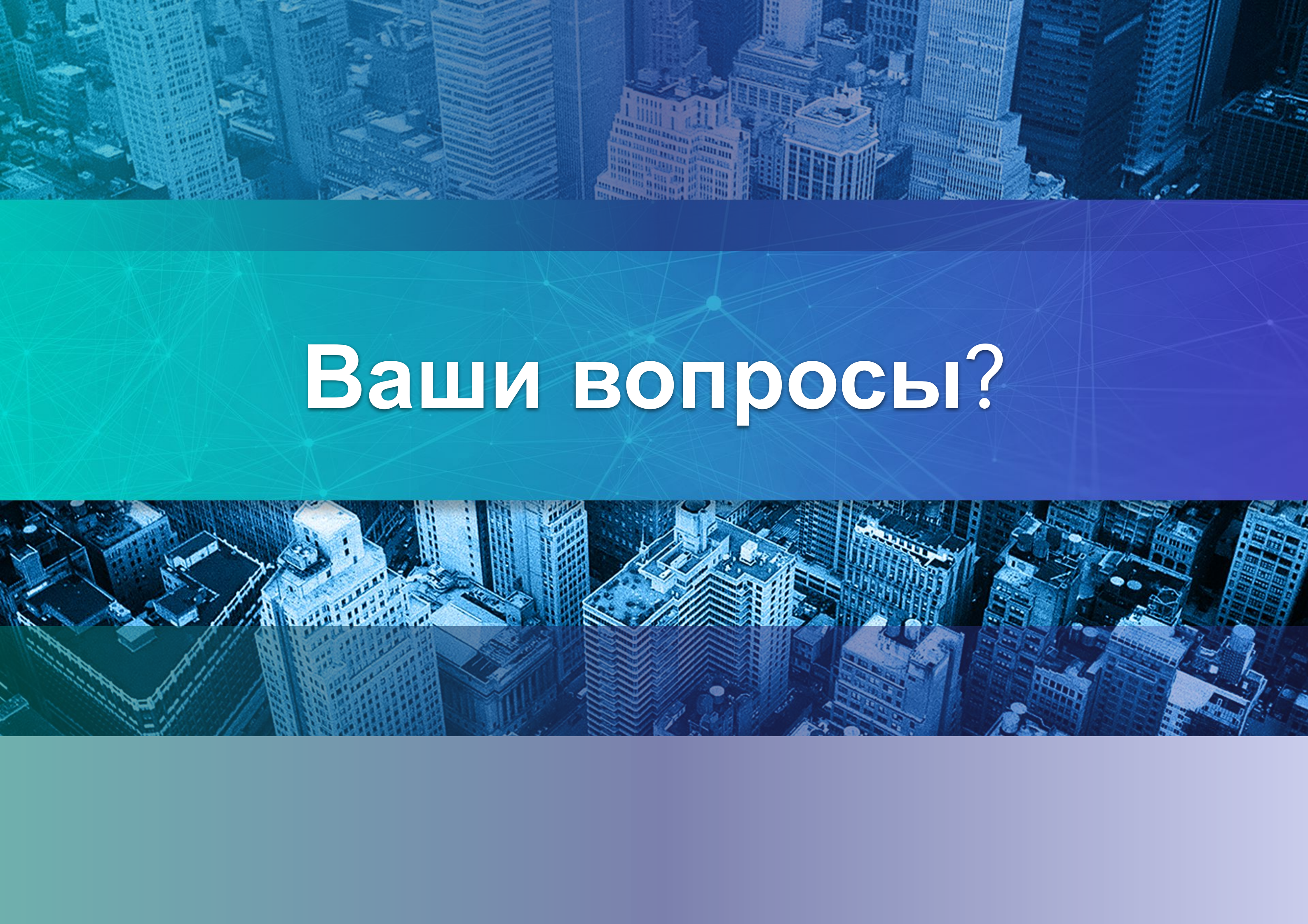


# Динамическая маршрутизация

## **EGP (exterior gateway protocol)**

- BGP





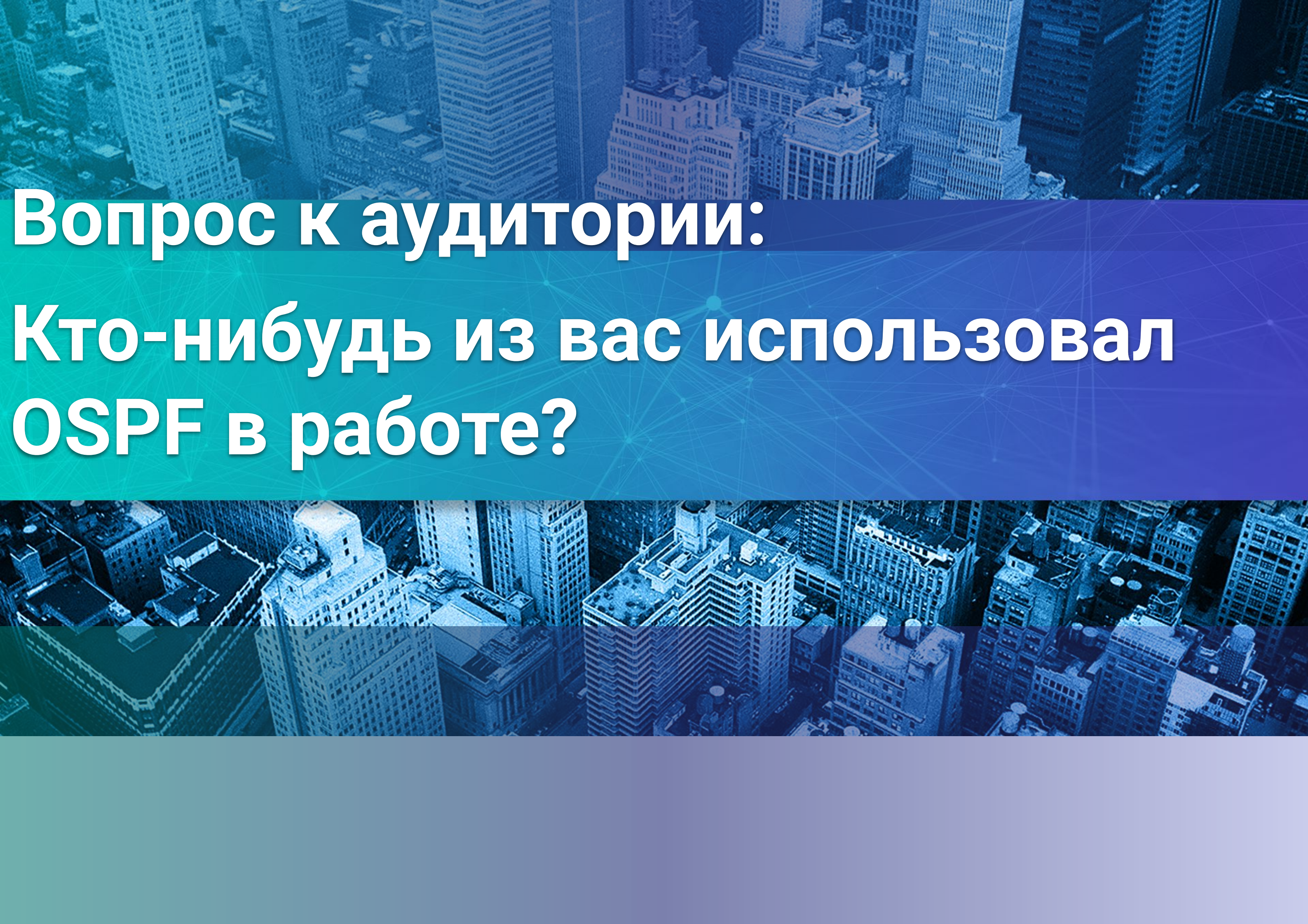
**Ваши вопросы?**



The background of the slide is a composite image. The top half features a dense urban skyline, likely New York City, with numerous skyscrapers. This image is overlaid with a semi-transparent blue and green gradient. A network of thin, light blue lines connects various points across the middle section, creating a mesh-like pattern. The bottom half of the slide shows another aerial view of a city, similar to the top one, but with a more pronounced blue color scheme and a slight vignette effect.

# OSPF





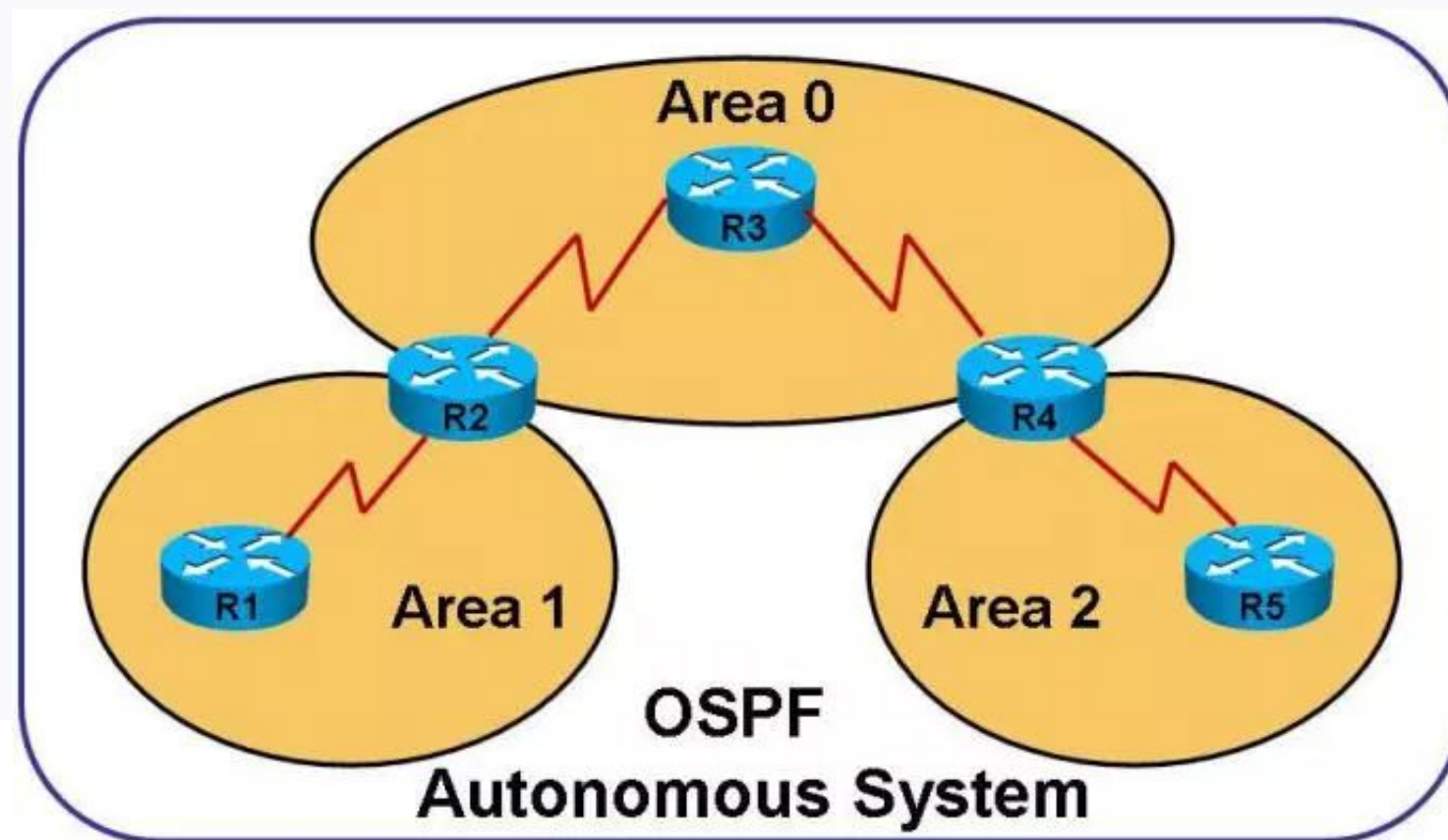
**Вопрос к аудитории:**  
**Кто-нибудь из вас использовал**  
**OSPF в работе?**



# OSPF

**OSPF (Open Shortest Path First)** — протокол динамической маршрутизации

- основан на технологии отслеживания состояния канала (link-state)
- использует для нахождения кратчайшего пути **Алгоритм Дейкстры** (Dijkstra's algorithm)
- использует для работы multicast





# OSPF: Типы пакетов

1	HELLO	Обнаружение соседей
2	Database Description (DBD)	Синхронизация базы данных между роутерами
3	Link-State Request (LSR)	Запрос link-state записей
4	Link-State Update (LSU)	Посылка link-state записей
5	Link-State Acknowledgement (LSAck)	Подтверждение о получении



# OSPF: Таймеры

1. **HelloInterval** - значение по-умолчанию - 10 сек.
2. **RouterDeadInterval** - должен быть кратным значению HelloInterval, по-умолчанию - 40 сек.
3. **Wait Timer** - значение равно значению интервала RouterDeadInterval.
4. **RxmtInterval** - называется также Retransmit interval. Значение интервала 5 сек.



# OSPF: Состояния

1. **Down:** Соседские отношения не установлены.
2. **Init:** Получен Hello-пакет.
3. **Two-Way:** Роутер увидел свой ID в полученном Hello-пакете.
4. **Exstart:** Определение ролей: Master и Slave.
5. **Exchange:** DBD отправлена.
6. **Loading:** Обмен LSR и LSU.
7. **Full:** Отношения установлены.



# OSPF: Терминология

- **Link state database (LSDB)** — структура (база) данных для хранения данных топологии OSPF
- **Shortest Path First (SPF)** — название алгоритма OSPF для анализа **LSDB** и определения лучшего маршрута (с наименьшей стоимостью) для каждого префикса
- **Link State Update (LSU)** — пакет OSPF, в котором передается детальная информация о топологии, в частности **LSA**
- **Link State Advertisement (LSA)** — класс структуры данных OSPF, которых содержит информацию о топологии. **LSA** хранятся в **LSDB** и передаются по сети внутри **LSU**



# OSPF: Терминология

- **Area** — группа маршрутизаторов и их интерфейсов
- **Area Border Router (ABR)** — маршрутизатор, у которого интерфейсы подключены как минимум к двум разным **OSPF Area**, включая **Backbone Area (area 0)**
- **Autonomous System Border Router (ASBR)** — маршрутизатор, который соединяет 2 или более автономные системы и используется в основном для анонсирования маршрутов из одной автономной системы в другую(-ие)
- **Автономная система** — группа маршрутизаторов, обменивающаяся маршрутизирующей информацией с помощью одного протокола маршрутизации



# OSPF: Терминология

- **Backbone router** — маршрутизатор, у которого как минимум один интерфейс находится в **Backbone Area (area 0)**.
- **Internal router** — маршрутизатор, интерфейсы которого находятся только в одной **Area**
- **Designated Router (DR)** — в multiaccess-сетях (в одной подсети может находиться более 2-х маршрутизаторов) маршрутизатор, который выбирается среди других маршрутизаторов для генерации LSA, обмена топологиями и т.д.
- **Backup Designated Router (BDR)** — маршрутизатор в multiaccess-сетях, который «наблюдает» за **Designated Router'ом (DR)** и занимает его место в случае, если **Designated Router (DR)** становится недоступным



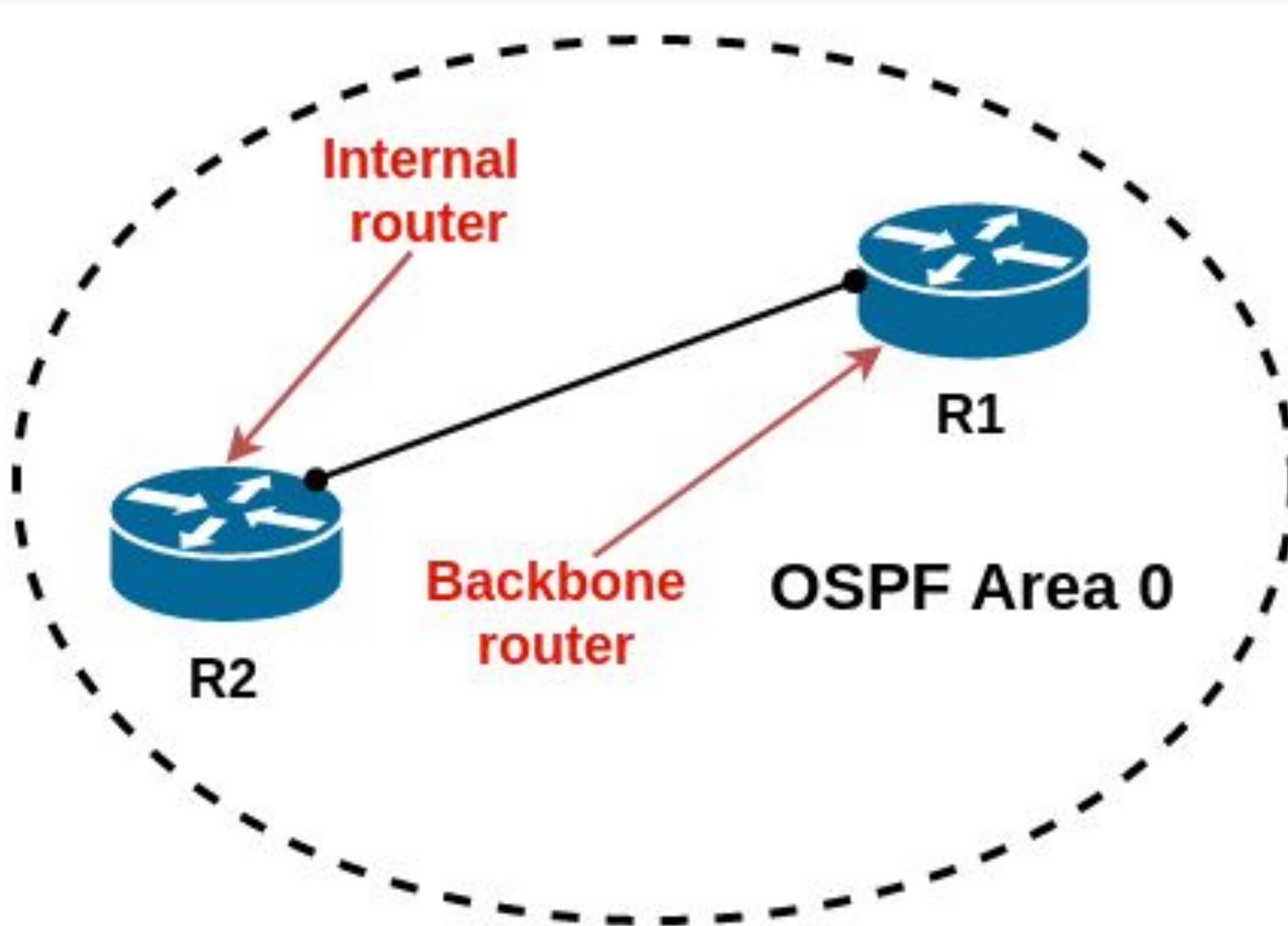
# OSPF: Зоны

## Основное назначение зон в OSPF:

- снизить нагрузку на ЦПУ маршрутизаторов за счет уменьшения количества перерасчетов по алгоритму SPF
- уменьшить размер таблиц маршрутизации (за счет суммирования маршрутов на границах зон)
- уменьшить количество пакетов обновлений состояния канала

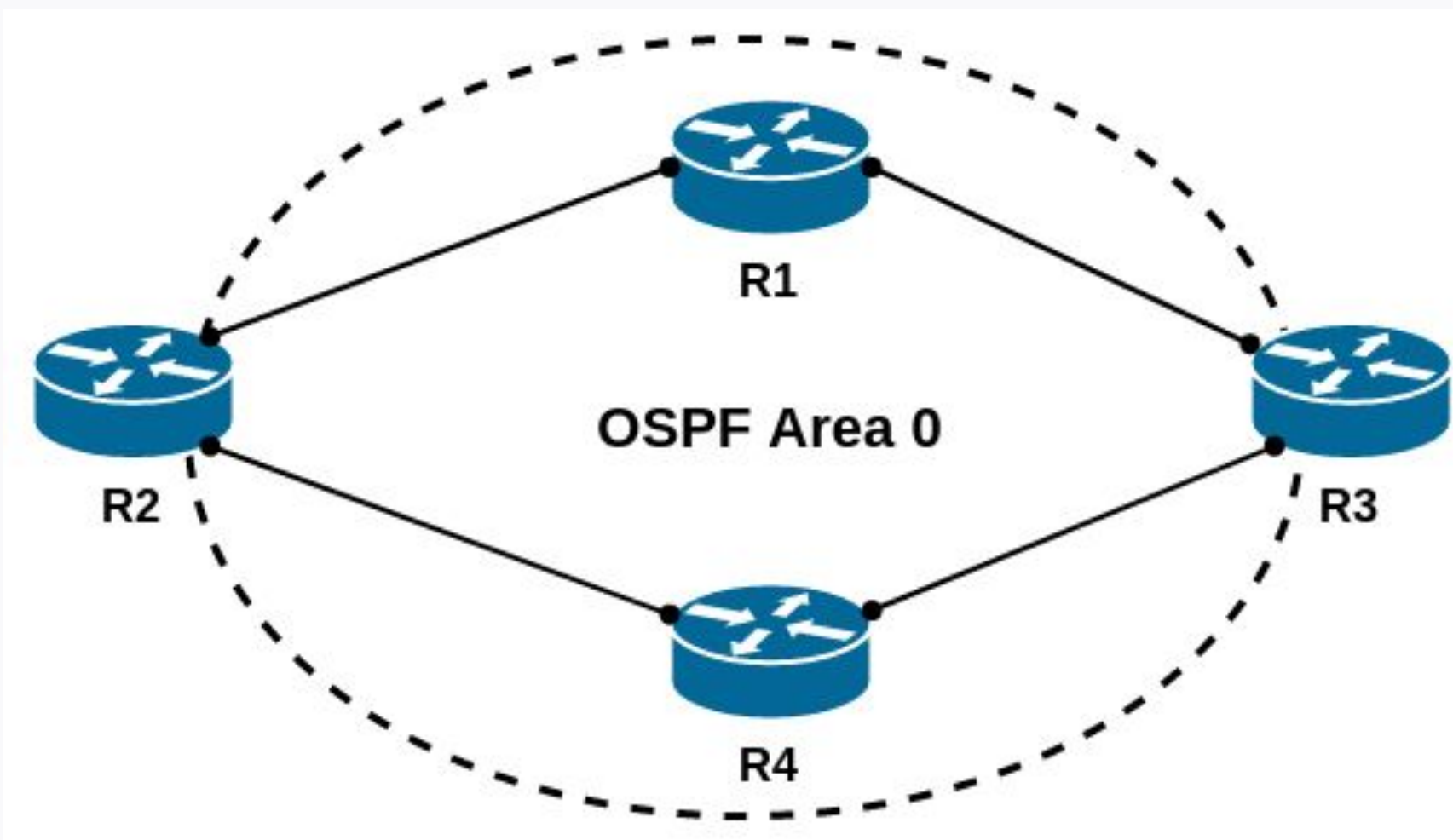


# OSPF: Примеры топологии



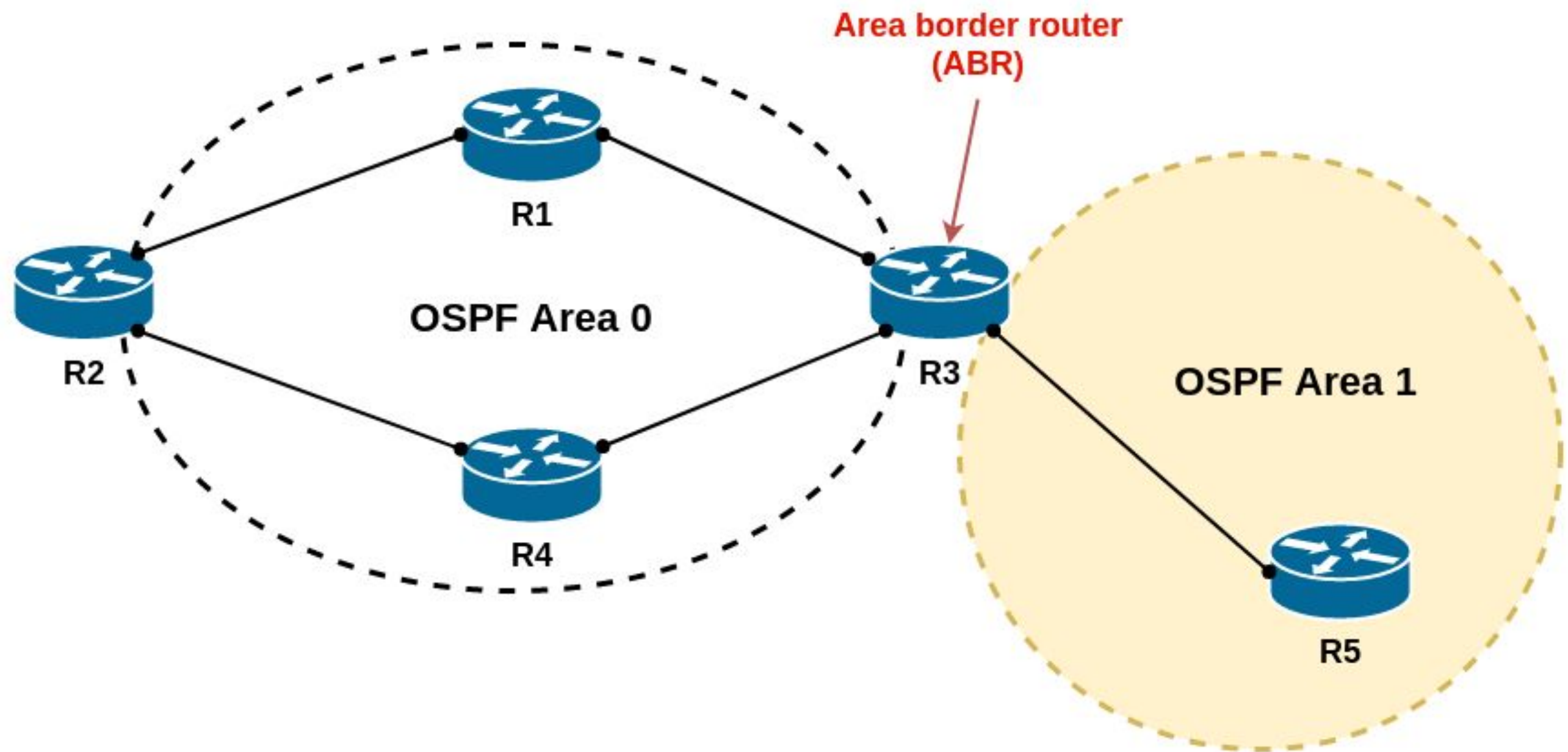


# OSPF: Примеры топологии



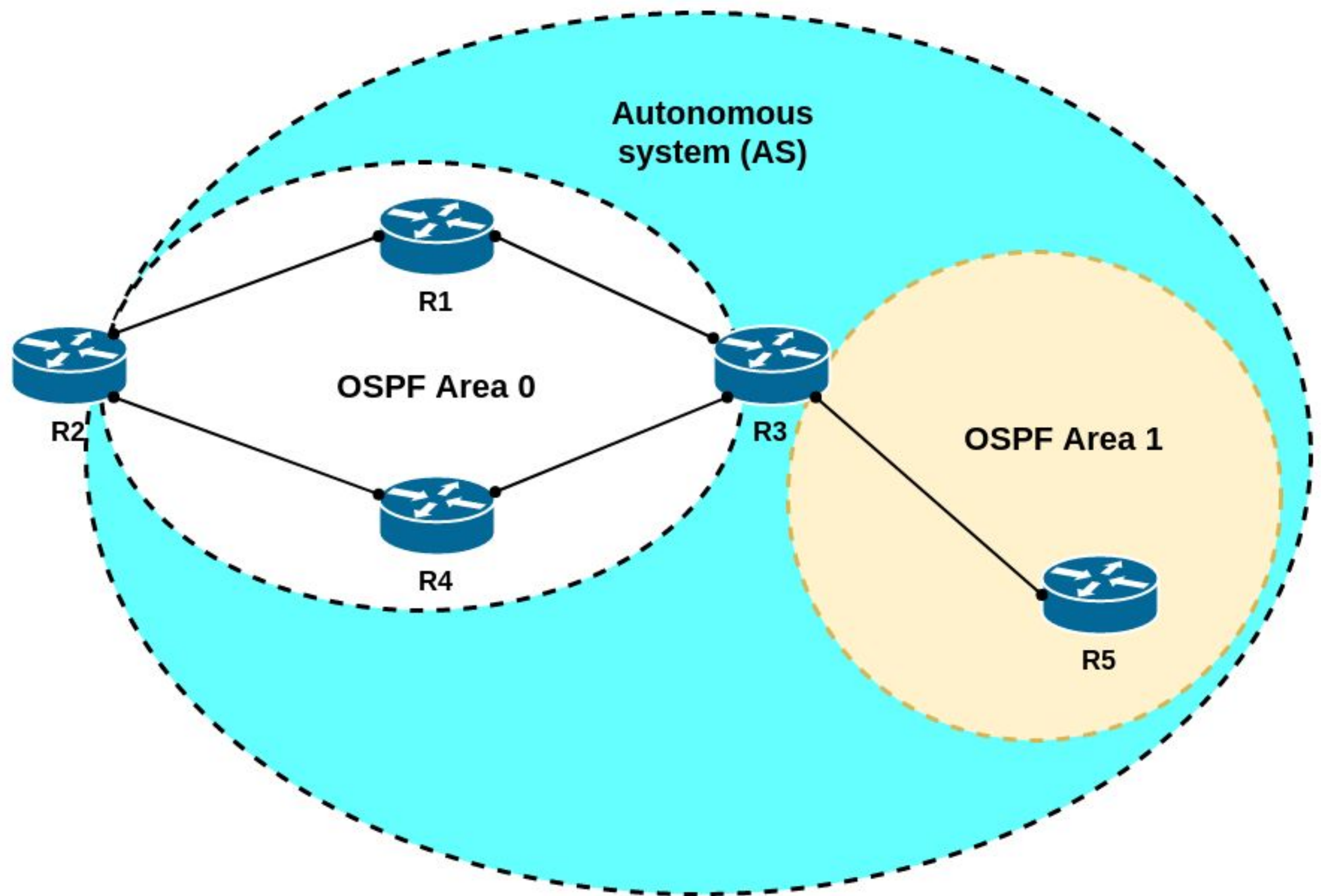


# OSPF: Примеры топологии



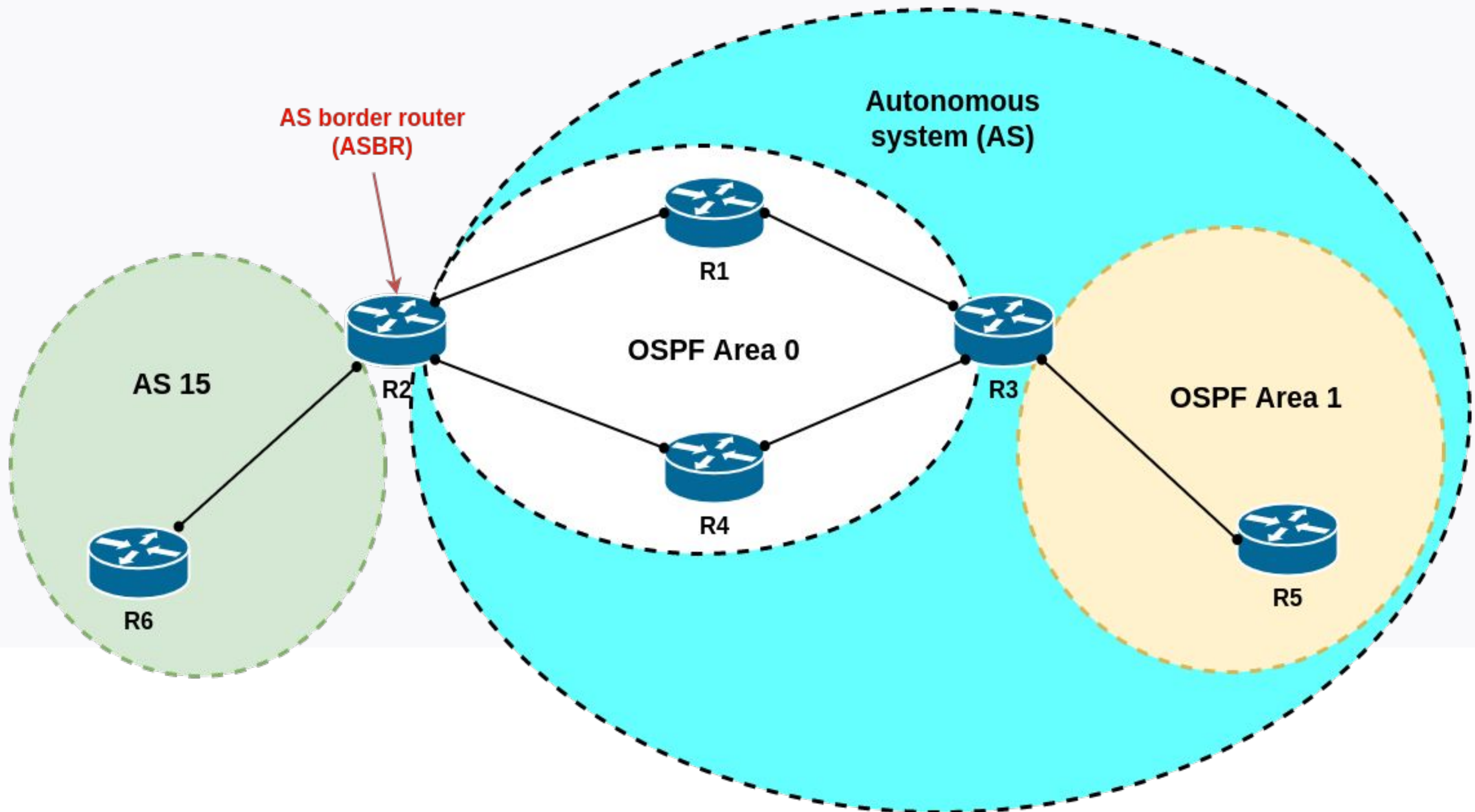


# OSPF: Примеры топологии





# OSPF: Примеры топологии

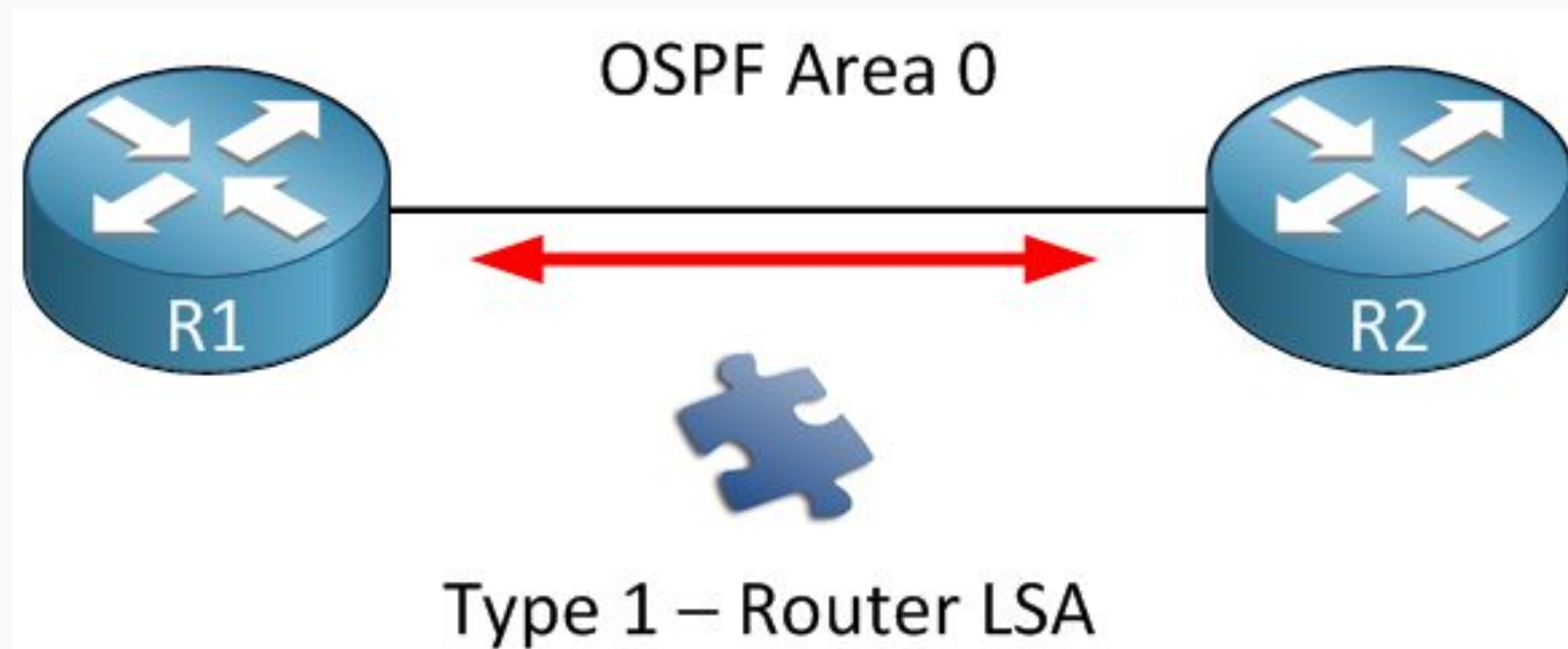




# OSPF: Типы LSA

## LSA Type 1 – Router LSA

- вещается каждым маршрутизатором только в пределах своей зоны (area)
- содержит список напрямую подключенных к роутеру линков
- линк описывается двумя параметрами: IP-префикс на интерфейсе и тип линка

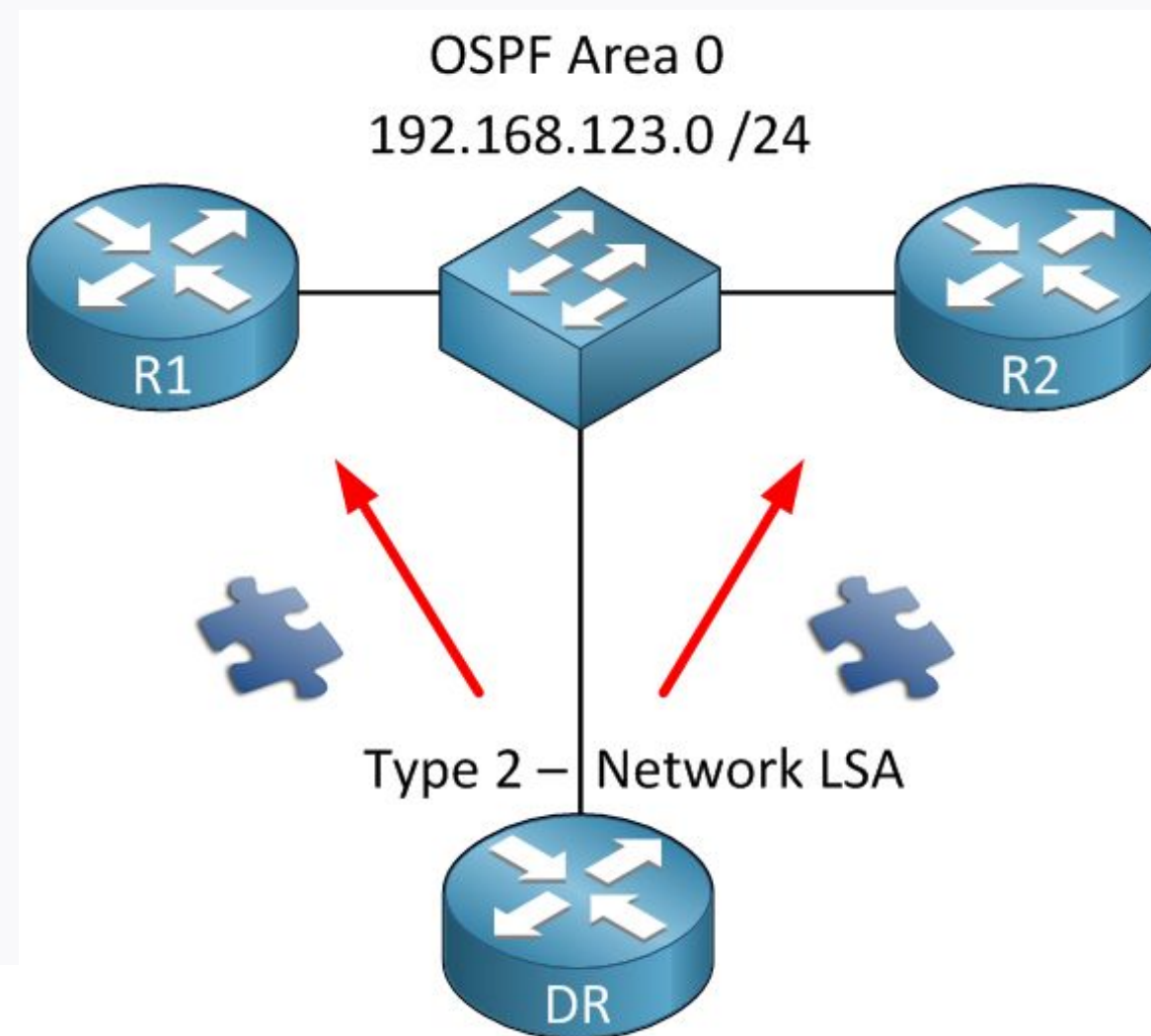




# OSPF: Типы LSA

## LSA Type 2 – Network LSA

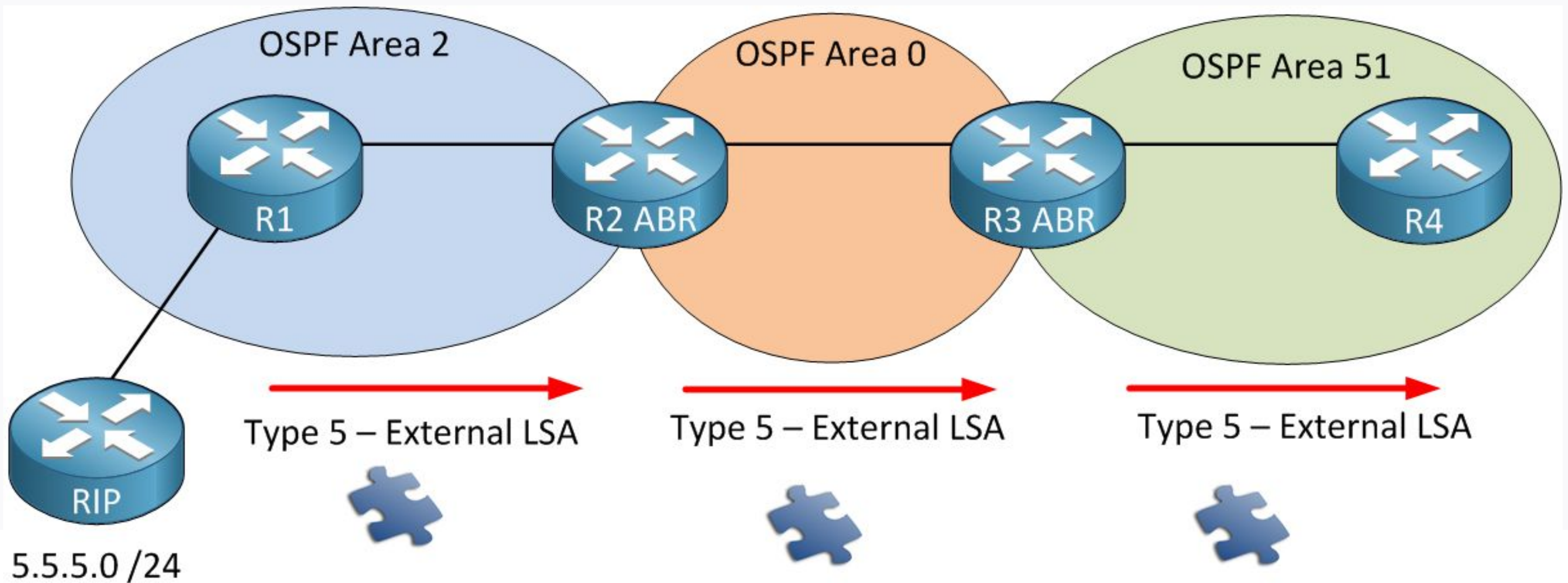
- создана для много-доступных (multi-access) сетей
- генерируется DR. Содержит список всех подключенных к сети маршрутизаторов, идентификатор DR, а также адрес и маску сети
- не выходит за пределы зоны, в которой была сгенерирована.





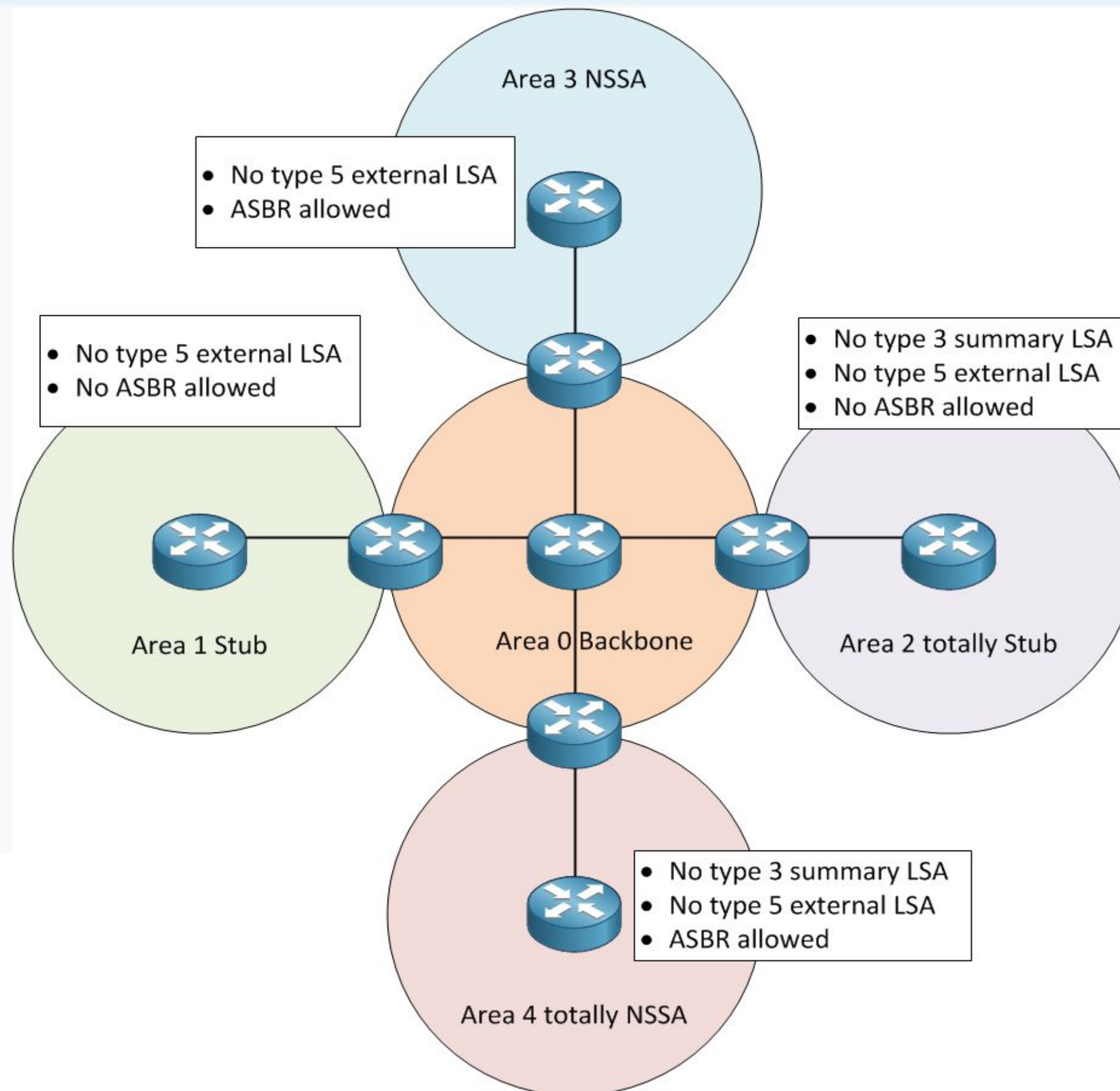
# OSPF: Типы LSA

- Type 3 - Summary LSA
- Type 4 - Summary ASBR LSA
- Type 5 - Autonomous system external LSA





# OSPF: Типы зон





# OSPF: Типы зон

- **Backbone - Area 0**
- **Standart**
- **Stub area** – Запрещен ASBR и блокируются все External LSA Type5. Network LSA Type3 разрешены.
- **Not-so-stubby area** – Разрешен ASBR и Network LSA Type3. Блокируются все External LSA Type5
- **Total Stub area** – Запрещен ASBR и блокируются все External LSA Type5 и Network LSA Type3
- **Total Not-so-stubby area** – Разрешен ASBR и блокируются все External LSA Type5 и Network LSA Type3

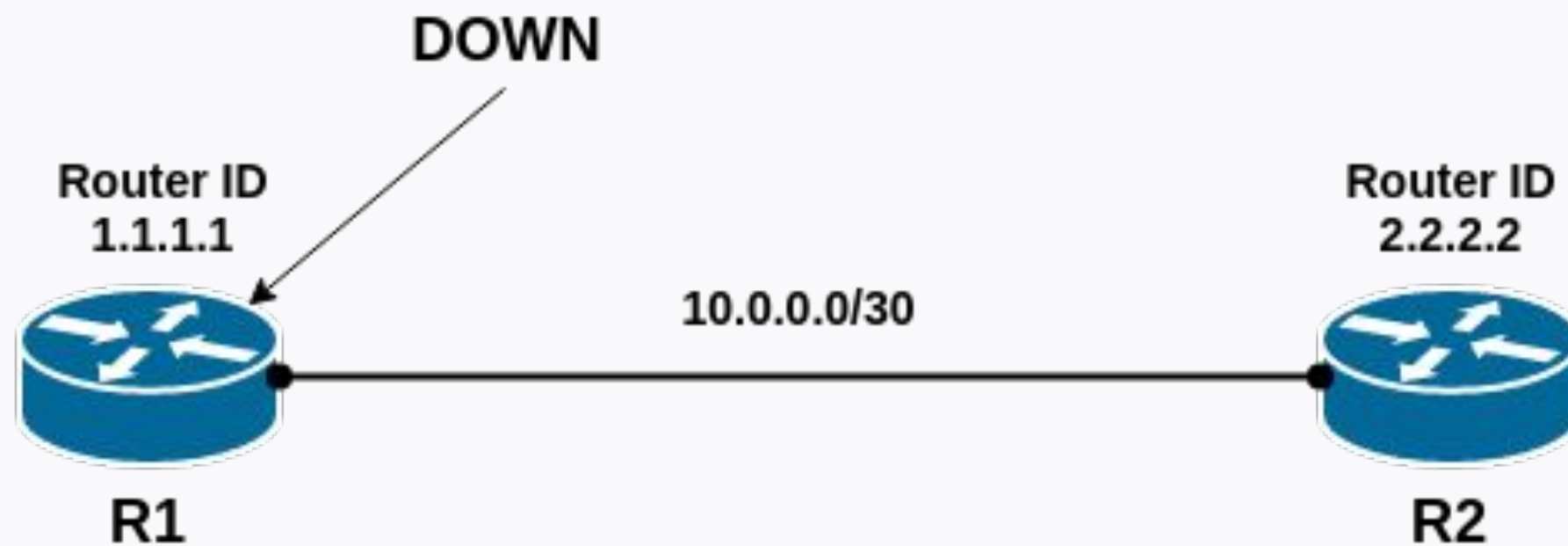
Некоторые правила, которые нужно знать при работе со stub и totaly stub зонами:

- Из stub area в другие зоны можно попасть по дефолтному маршруту
- В зоне должен быть хотя бы один ABR
- Каждый маршрутизатор должен быть настроен как stub
- В этих зонах не может быть ASBR
- Backbone area не может быть stub или totaly stub



# OSPF: Алгоритм работы

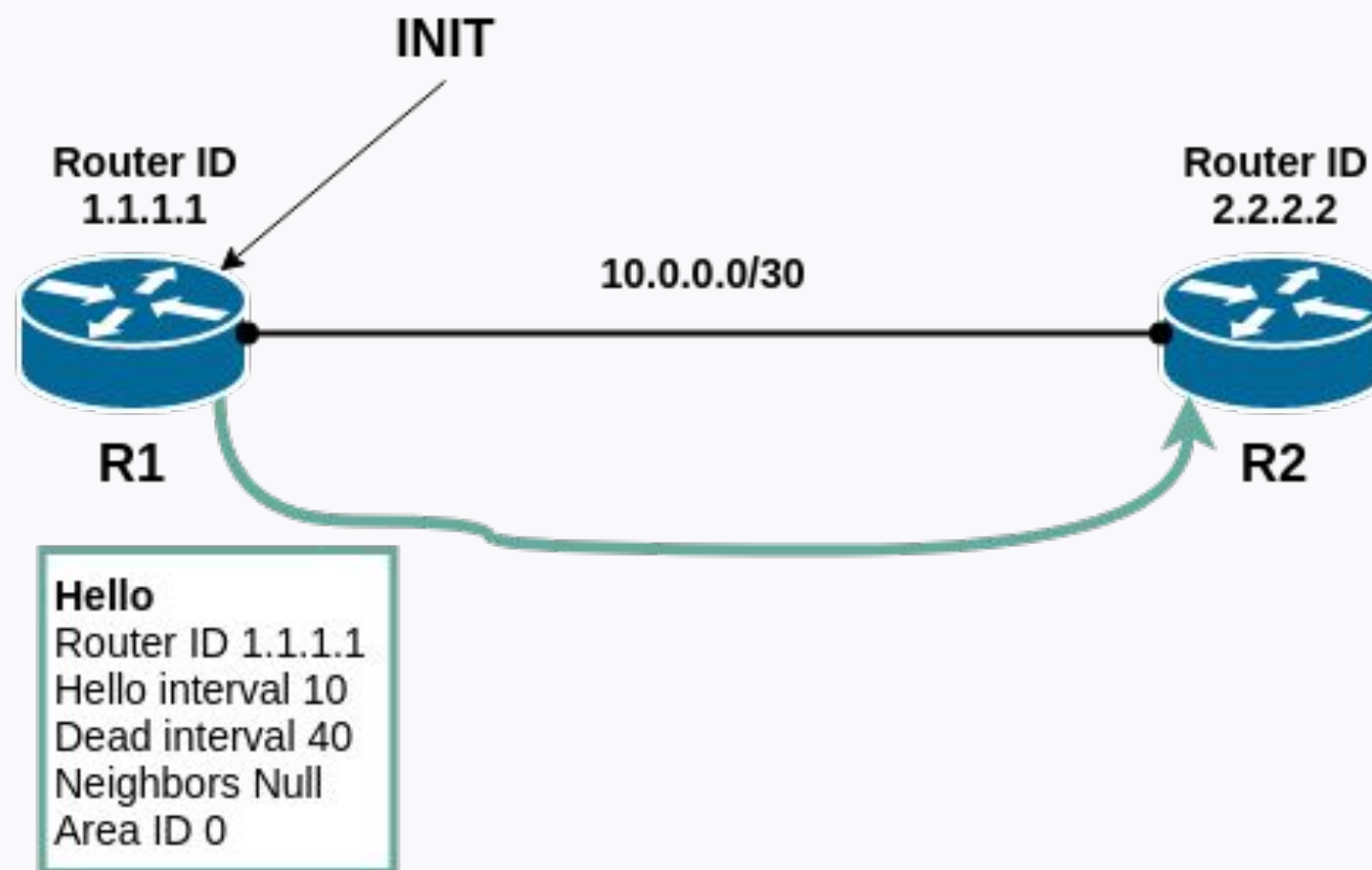
## 1. Обмен HELLO-пакетами





# OSPF: Алгоритм работы

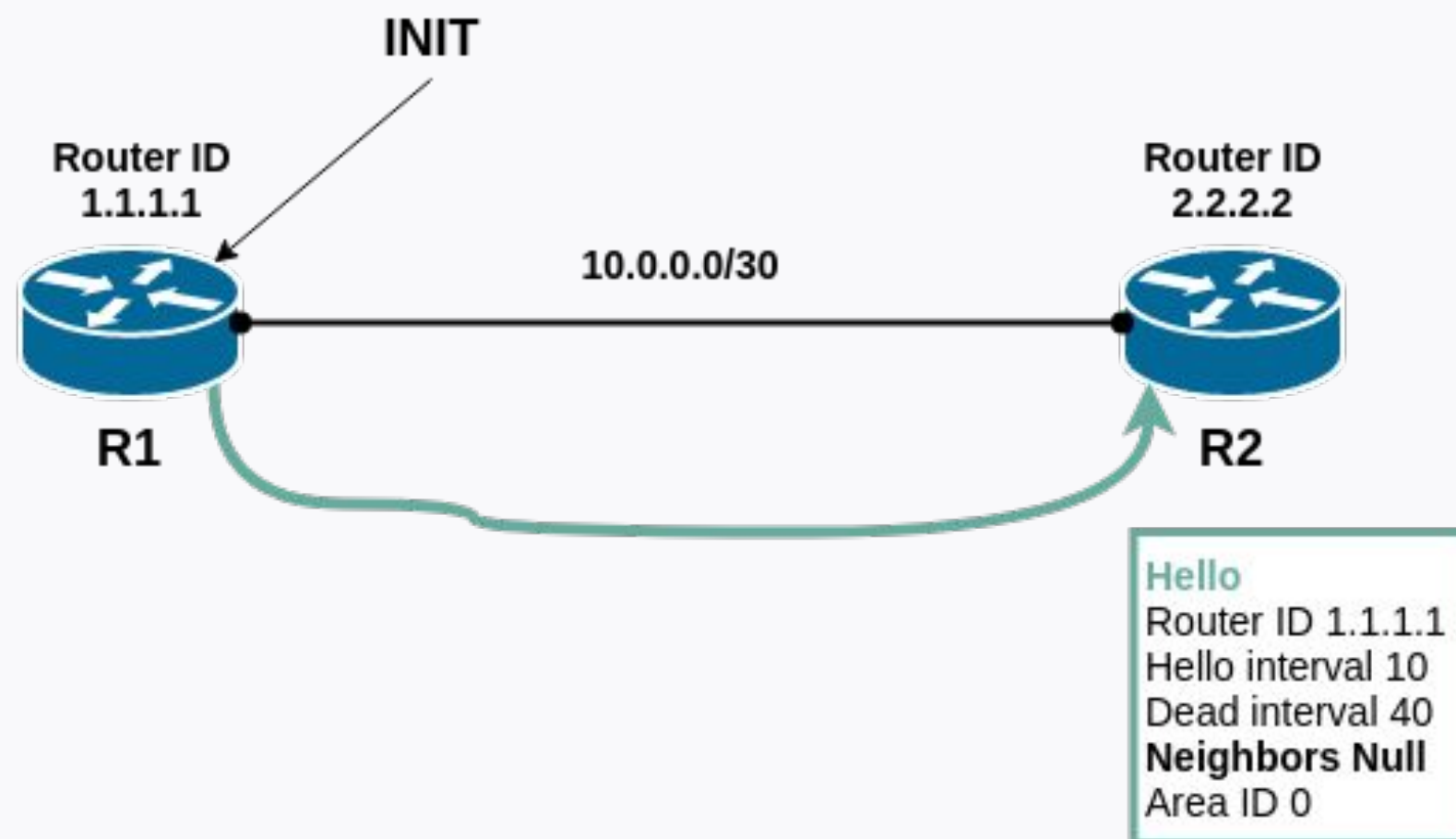
2. Формируется таблица состояний связей с соседями (link-state)





# OSPF: Алгоритм работы

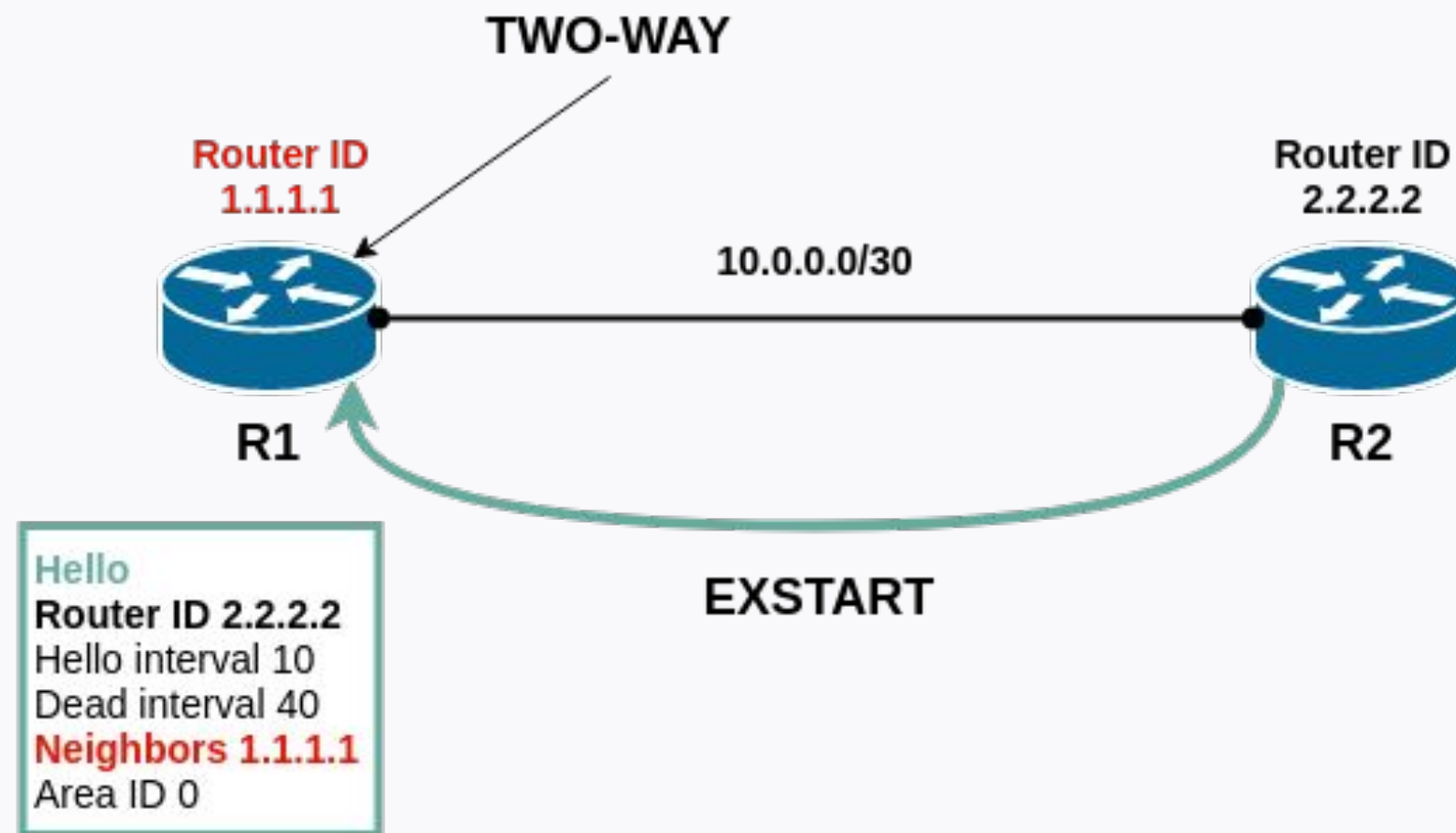
3. Формируют LSA - (router id, neighbor id, net/mask, net type, cost)





# OSPF: Алгоритм работы

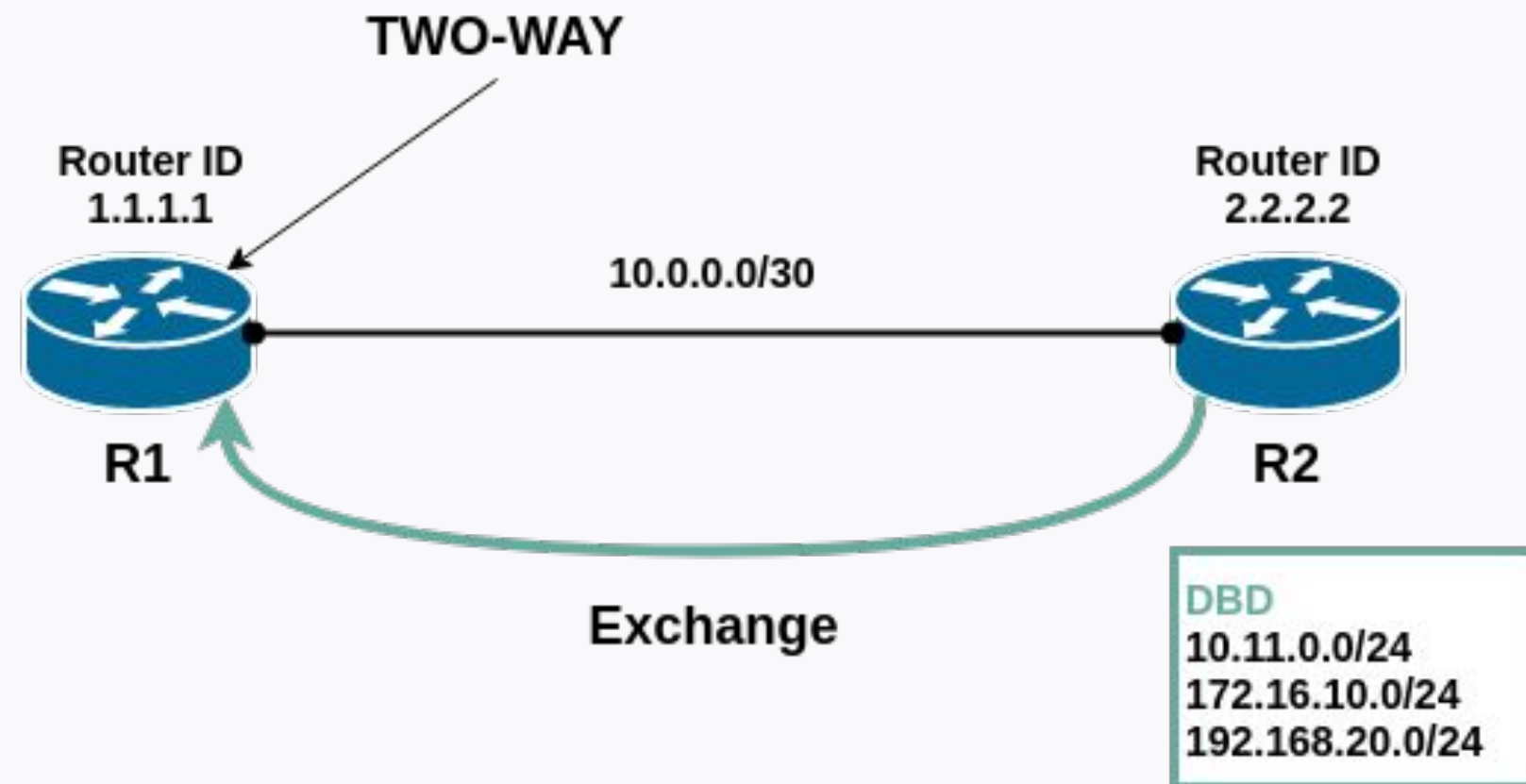
4. Маршрутизатор рассылает LSA своим соседям, те распространяют LSA дальше.





# OSPF: Алгоритм работы

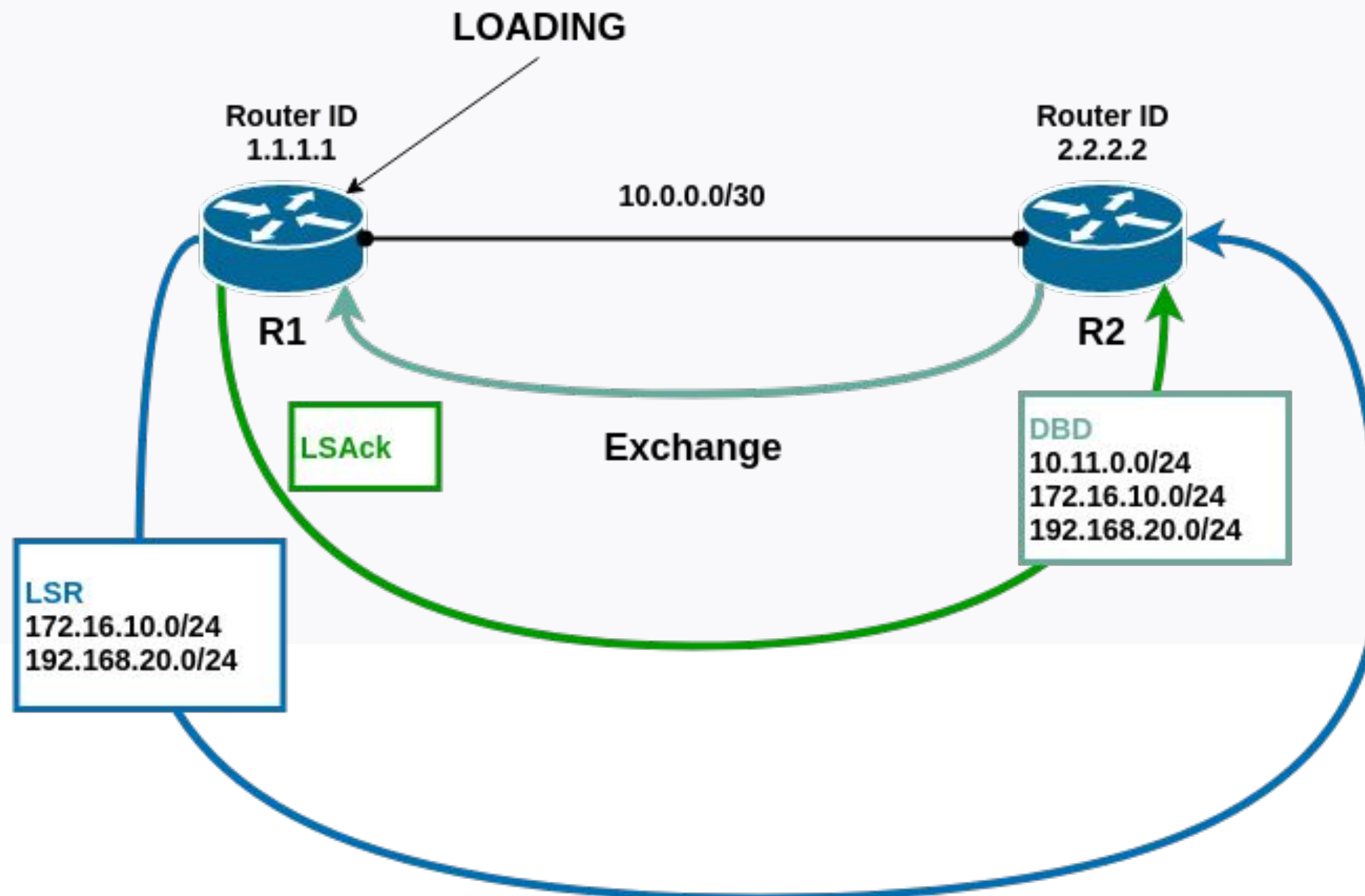
5. Каждый маршрутизатор, получивший LSA добавляет его в свою локальную табличку LSDB (Link State Database)





# OSPF: Алгоритм работы

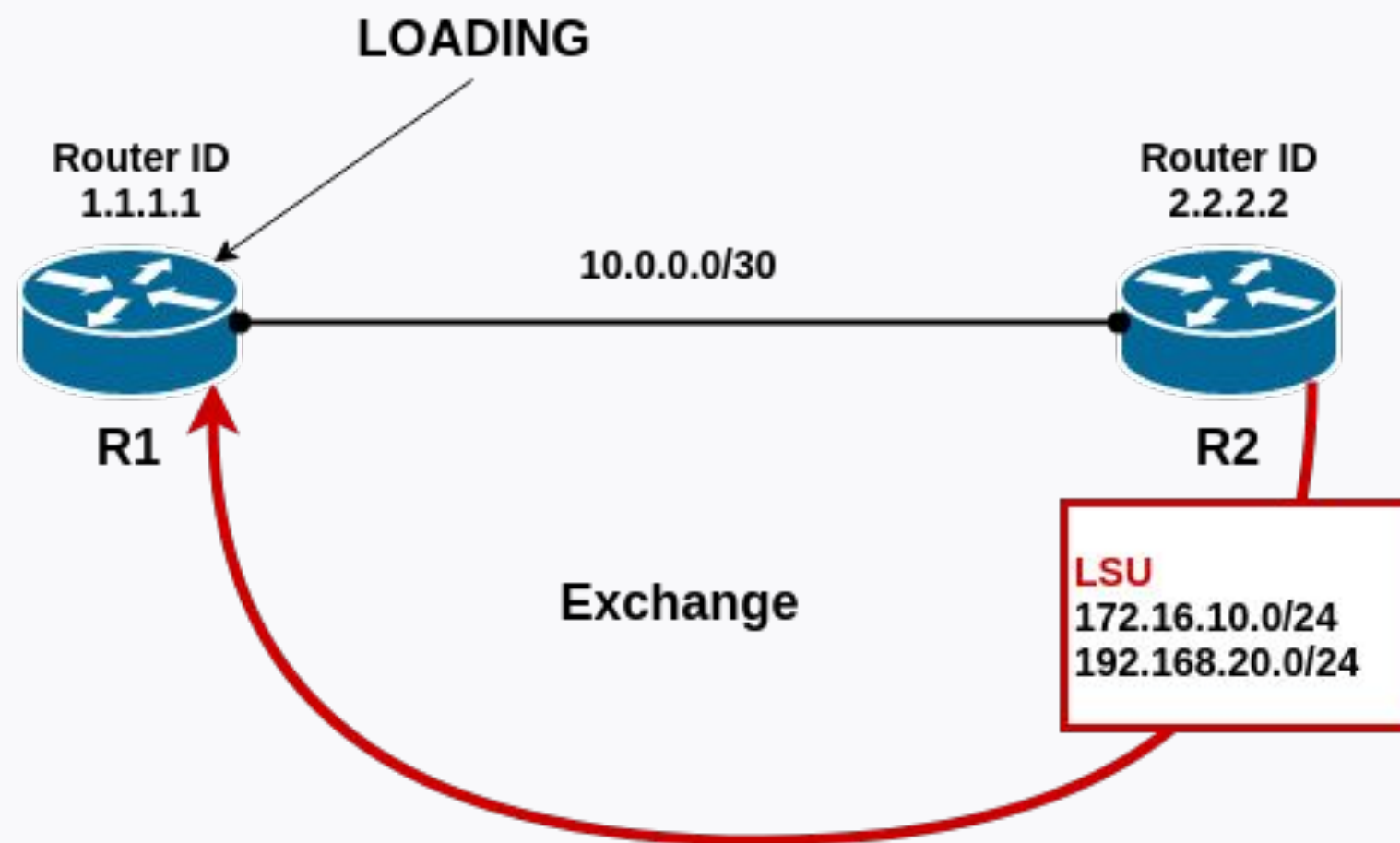
6. В LSDB скапливается информация, обо всех парах соединённых в сети маршрутизаторов





# OSPF: Алгоритм работы

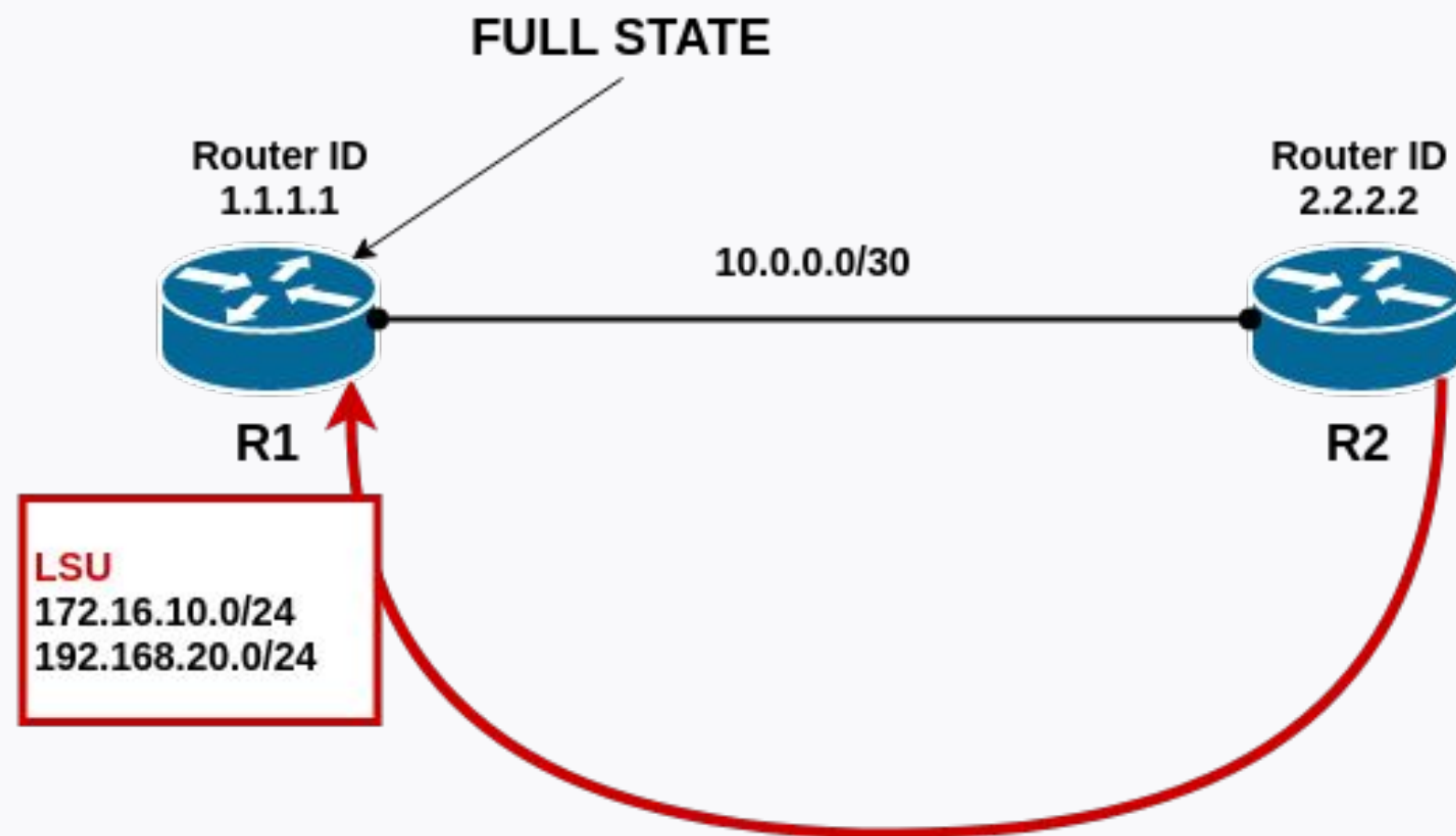
7. После обмена LSA, каждый маршрутизатор знает про все линки, на основании пар строится полная карта сети





# OSPF: Алгоритм работы

8. На основании этой карты каждый маршрутизатор индивидуально ищет кратчайшие с точки зрения метрики маршруты во все сети и добавляет их в таблицу маршрутизации.





# OSPF: Выбор лучшего маршрута

Если маршрутизатору известны маршруты к одной и той же сети, но эти маршруты разных типов, то маршрутизатор выбирает наиболее приоритетный тип маршрута и не учитывает **стоимость** маршрута.

Различные типы маршрутов, в порядке убывания приоритета:

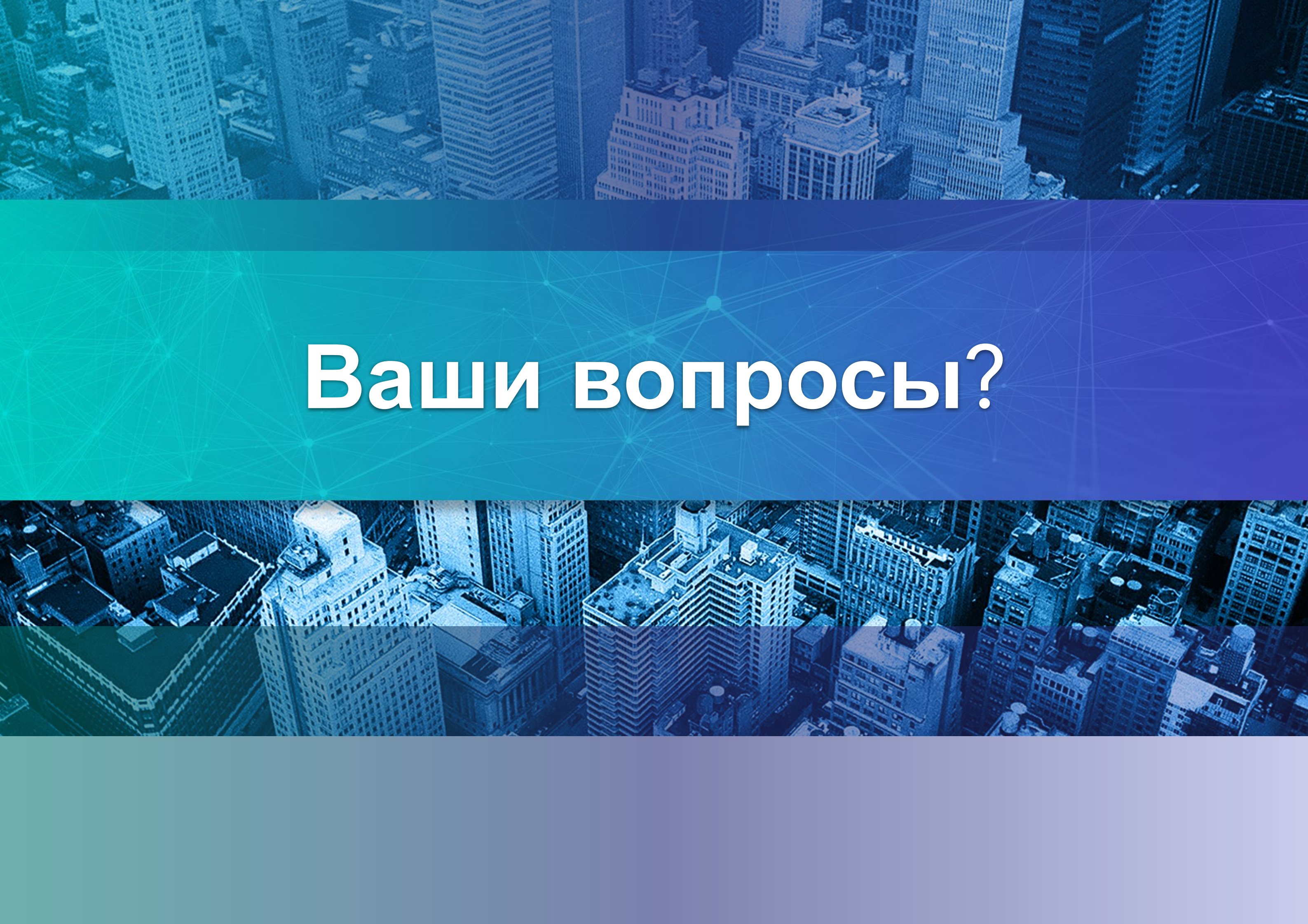
- Внутренние маршруты зоны (intra-area)
- Маршруты между зонами (interarea)
- Внешние маршруты типа 1 (E1)
- Внешние маршруты типа 2 (E2)



# OSPF: Стоимость интерфейса

Interface type	Bandwidth	Cost value
Serial	56 Kbps	1562
T1	1.544 Mbps	64
Token Ring	4 Mbps	25
Token Ring	16 Mbps	6
Fast Ethernet	100 Mbps	1
Gigabit Ethernet	1 Gbps	1
Ten Gigabit Ethernet	10 Gbps	1





**Ваши вопросы?**



# Маршрут вебинара

Статическая маршрутизация



Динамическая маршрутизация



Программные  
маршрутизаторы





# Программные маршрутизаторы



# Программные маршрутизаторы

**Quagga:** <https://www.quagga.net>

- разрабатывается с 1999 года
- умеет: OSPF, IS-IS, RIP, BGP
- Cisco-like синтаксис конфигов
- модульный, состоит из нескольких демонов
- умеет IPv6
- начиная с CentOS 8.1 отсутствует в базовых репозиториях

**FRR:** <https://frrouting.org>

- форк Quagga
- разрабатывается с 2017 года
- умеет: BGP, IS-IS, LDP, OSPF, PIM, RIP, MPLS, VRRP и поддержку IPv6
- присутствует в репозитории AppStream начиная с CentOS 8.1



# Программные маршрутизаторы

**BIRD:** <https://bird.network.cz>

- разрабатывается с 2005 года
- умеет: OSPF, IS-IS, RIP, BGP, BFD
- умеет IPv6
- свой язык описания конфигов и фильтров
- поддерживает множественные таблицы маршрутизации
- используется: DE-CIX, LINX, PAIX, MSK-IX



# Программные маршрутизаторы

## Quagga (ex-Zebra)

Набор демонов,  
реализующий  
управление  
сетью в linux

Quagga

RIPD

OSPFD

BGPD

ISISD

vtush

Zebra (Forwarding Information Base, FIB)

Netlink

Kernel Routing Table

Возможно так же  
управление  
интерфейсами и  
разнообразными  
сетевыми настройками

Полностью копирует  
управление и  
функциональность  
Cisco IOS



# Параметры ядра в Linux

**net.ipv4.ip\_forward** - пропуск пакетов в ядре Linux

- по-умолчанию отключен, пакеты между разными интерфейсами пропускаться не будут
- проверить статус: **sysctl net.ipv4.ip\_forward**
- включить прямо сейчас: **sysctl -w net.ipv4.ip\_forward=1**
- включить насовсем: **echo net.ipv4.ip\_forward = 1 >> /etc/sysctl.conf**

**net.ipv4.conf.eth\*.rp\_filter = 0** - проверка маршрута источника

- по-умолчанию включена “строгая” проверка на всех интерфейсах
- проверить статус например **eth2**: **sysctl net.ipv4.conf.eth2.rp\_filter**
- для реализации асимметричного роутинга нужно включить “нестрогую” проверку (2) или выключить проверку совсем (0)
- пример выключения: **sysctl -w net.ipv4.conf.eth2.rp\_filter = 0**
- выключить насовсем:  
**echo net.ipv4.conf.eth2.rp\_filter = 0 >> /etc/sysctl.conf**

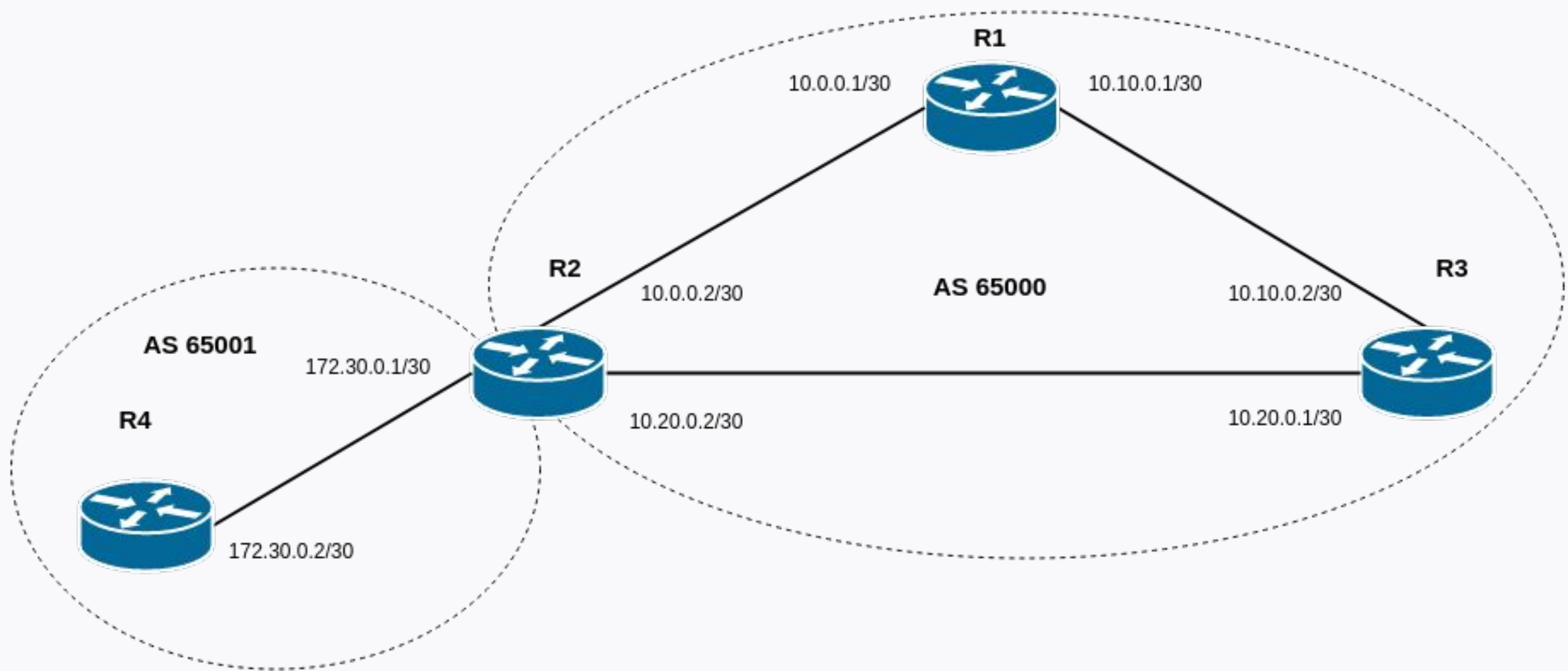




**Переходим от слов к делу**



# Тестовый стенд





# Домашнее задание

- 1 Поднять три виртуалки  
Объединить их разными private network
- 2 Поднять OSPF между машинами  
средствами программных  
маршрутизаторов на выбор: Quagga, FRR  
или BIRD
- 3 Изобразить ассиметричный роутинг
- 4 Сделать один из линков "дорогим", но  
чтобы при этом роутинг был  
симметричным
- 5 Формат сдачи:  
Vagrantfile + ansible



# Рефлексия



Назовите 3 момента, которые вам запомнились в процессе занятия



Что вы будете применять в работе из сегодняшнего вебинара?



# Список материалов для изучения

- Книга "**Компьютерные сети**", авторы: Таненбаум Э., Уэзеролл Д.
- Книга "**TCP/IP учебный курс**", авторы: Лора А. Чеппел, Эд Титтел
- Книга "**Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF. Руководство Cisco**" Том М. Томас
- Сайт и подкасты: <https://linkmeup.ru>
- Видео про LSA в OSPFv2: <https://www.youtube.com/watch?v=wQX88Kw7qxQ>
- Best practice по дизайну OSPF от Cisco:  
<https://community.cisco.com/t5/networking-documents/ospf-design-best-practices/ta-p/3112070>





Заполните, пожалуйста,  
опрос о занятии по ссылке в чате





Спасибо за внимание!  
Приходите на следующие вебинары



Викирюк Павел

Системный инженер