

# **Отчёт по лабораторной работе №8**

**Дисциплина: Сетевые технологии**

**Ибрахим Мухсейн Алькамаль**

# **Содержание**

<b>1 Цель работы</b>	<b>5</b>
<b>2 Настройка динамической маршрутизации в сетях IPv4 и IPv6</b>	<b>6</b>
<b>3 Настройка динамической маршрутизации по протоколу RIP.</b>	<b>18</b>
<b>4 Настройка динамической маршрутизации по протоколу OSPF</b>	<b>29</b>
<b>5 Построение туннеля IPv6–IPv4</b>	<b>44</b>
<b>6 Задание для самостоятельного выполнения</b>	<b>58</b>
<b>7 Выводы</b>	<b>85</b>

# Список иллюстраций

2.1	Топология моделируемой сети в GNS3 с четырьмя маршрутизаторами и оконечными узлами . . . . .	7
2.2	Назначение IPv4-адреса и проверка конфигурации на узле PC1 . . . . .	8
2.3	Назначение IPv4-адреса и проверка конфигурации на узле PC2 . . . . .	8
2.4	Настройка IPv4-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-01 . . . . .	9
2.5	Настройка IPv4-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-02 . . . . .	10
2.6	Настройка IPv4-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-03 . . . . .	11
2.7	Настройка IPv4-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-04 . . . . .	12
2.8	Назначение и проверка IPv6-адреса на узле PC1 . . . . .	13
2.9	Назначение и проверка IPv6-адреса на узле PC2 . . . . .	13
2.10	Настройка IPv6-адресов и Router Advertisement на маршрутизаторе msk-user-gw-01 . . . . .	14
2.11	Настройка IPv6-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-02 . . . . .	15
2.12	Настройка IPv6-адресов и Router Advertisement на маршрутизаторе msk-user-gw-03 . . . . .	16
2.13	Настройка IPv6-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-04 . . . . .	17
3.1	Настройка протокола RIP версии 2 на маршрутизаторе msk-user-gw-01	18
3.2	Настройка протокола RIP версии 2 на маршрутизаторе msk-user-gw-02	19
3.3	Настройка протокола RIP версии 2 на маршрутизаторе msk-user-gw-03	19
3.4	Настройка протокола RIP версии 2 на маршрутизаторе msk-user-gw-04	20
3.5	Таблица маршрутов RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-01 . . . . .	21
3.6	Таблица маршрутов RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-02 . . . . .	22
3.7	Вывод команды show ip rip на маршрутизаторе . . . . .	23
3.8	Статус протокола RIP и параметры таймеров . . . . .	24
3.9	Проверка связности и трассировка пути пакетов от PC1 к PC2 в штатном режиме . . . . .	25
3.10	Таблица маршрутов RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-01 в штатном режиме . . . . .	26
3.11	Перехваченные RIP-, ICMP- и ARP-пакеты в Wireshark на сегменте сети	28

3.12	Фрагмент анализа трафика с RIP-обновлениями и ICMP-сообщениями при перестроении маршрутов . . . . .	28
4.1	Настройка OSPFv2 и объявление IPv4-сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	29
4.2	Настройка OSPFv2 и объявление IPv4-сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 . . . . .	30
4.3	Настройка OSPFv2 и объявление IPv4-сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 . . . . .	30
4.4	Настройка OSPFv2 и объявление IPv4-сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 . . . . .	31
4.5	Проверка связности и трассировка маршрута PC1 → 10.0.11.10 . . . . .	31
4.6	Вывод соседей OSPFv2 и таблицы маршрутизации OSPF на msk-alkamal-gw-01 . . . . .	32
4.7	Отключение интерфейса eth0 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 командой shutdown . . . . .	32
4.8	Состояние OSPFv2 и маршруты на msk-alkamal-gw-01 после отключения интерфейса на msk-alkamal-gw-02 . . . . .	33
4.9	Повторная проверка связности и трассировка маршрута PC1 → 10.0.11.10 после изменения маршрутизации . . . . .	33
4.10	Включение интерфейса eth0 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 командой no shutdown . . . . .	34
4.11	Проверка ping и трассировка маршрута PC1 → 10.0.11.10 после включения интерфейса на msk-alkamal-gw-02 . . . . .	34
4.12	ICMP и ARP пакеты при проверке связности IPv4 в Wireshark . . . . .	35
4.13	ICMP Time Exceeded пакеты при трассировке маршрута IPv4 . . . . .	35
4.14	OSPF Hello и RIP v2 пакеты в захваченном IPv4-трафике . . . . .	36
4.15	Настройка OSPFv3 и привязка IPv6-интерфейсов на msk-alkamal-gw-01 . . . . .	37
4.16	Настройка OSPFv3 и IPv6-интерфейсов на msk-alkamal-gw-02 . . . . .	37
4.17	Настройка OSPFv3 и включение интерфейсов eth0–eth2 на msk-alkamal-gw-03 . . . . .	38
4.18	Настройка OSPFv3 и IPv6-интерфейсов на msk-alkamal-gw-04 . . . . .	39
4.19	Проверка ICMPv6-связности и трассировка маршрута PC1 → 2001:11::a . . . . .	39
4.20	Соседи OSPFv3 и таблица маршрутов OSPFv3 на msk-alkamal-gw-01 . . . . .	40
4.21	Отключение интерфейса eth0 на msk-alkamal-gw-02 командой shutdown . . . . .	40
4.22	Таблица маршрутизации OSPFv3 на msk-alkamal-gw-01 после отключения интерфейса на msk-alkamal-gw-02 . . . . .	41
4.23	Повторный ping и trace PC1 → 2001:11::a после изменения маршрута в OSPFv3 . . . . .	41
4.24	Включение интерфейса eth0 на msk-alkamal-gw-02 командой no shutdown . . . . .	41

4.25	Контрольный ping и trace PC1 → 2001:11::a после включения интерфейса на msk-alkamal-gw-02 . . . . .	42
4.26	Анализ ICMPv6 Echo и Time Exceeded пакетов в Wireshark . . . . .	43
4.27	OSPF Hello, UDP и ICMPv6 Destination Unreachable пакеты в захваченном трафике . . . . .	43
5.1	Топология сети с IPv6-сегментами, IPv4-транзитом и туннелем между маршрутизаторами . . . . .	45
5.2	Назначение и проверка IPv6-адреса на узле PC1-alkamal . . . . .	46
5.3	Назначение и проверка IPv6-адреса на узле PC2-alkamal . . . . .	47
5.4	Изменение имени маршрутизатора VyOS msk-alkamal-gw-01 . . . . .	48
5.5	Изменение имени маршрутизатора VyOS msk-alkamal-gw-02 . . . . .	48
5.6	Изменение имени маршрутизатора VyOS msk-alkamal-gw-03 . . . . .	48
5.7	Настройка IPv6 RA и IPv4-адресации на msk-alkamal-gw-01 . . . . .	49
5.8	Настройка IPv6 RA и IPv4-адресации на msk-alkamal-gw-02 . . . . .	49
5.9	Проверка IPv4-адресации и интерфейсов на msk-alkamal-gw-03 . . . . .	50
5.10	Проверка IPv6-параметров на узле PC1-alkamal . . . . .	51
5.11	Проверка IPv6-параметров на узле PC2-alkamal . . . . .	51
5.12	Проверка IPv4-связности и отсутствие маршрута к сети 20.0.0.0/8 . . . . .	52
5.13	ICMP- и ARP-трафик при проверке связи в сети 10.0.0.0/8 . . . . .	53
5.14	Настройка RIP на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	53
5.15	Настройка RIP на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 . . . . .	54
5.16	Настройка RIP на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 . . . . .	54
5.17	Проверка IPv4-связности с R1 и ICMP-трафик . . . . .	55
5.18	Настройка интерфейса tun0 (SIT) на маршрутизаторах . . . . .	56
5.19	Статические IPv6-маршруты через туннель . . . . .	56
5.20	Проверка IPv6-связности и трассировка через туннель . . . . .	57
6.1	Настройка IPv4-адресации и проверка конфигурации маршрутизатора msk-alkamal-gw-01 . . . . .	59
6.2	Настройка IPv4-адресов интерфейсов маршрутизатора msk-alkamal-gw-02 . . . . .	60
6.3	Настройка интерфейсов eth0 и eth1 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 . . . . .	61
6.4	Настройка IPv4-адресов интерфейсов маршрутизатора msk-alkamal-gw-04 . . . . .	62
6.5	Настройка IPv4-адреса и шлюза по умолчанию на узле PC1-alkamal .	63
6.6	Настройка IPv4-адреса и шлюза по умолчанию на узле PC2-alkamal .	63
6.7	Настройка IPv6-адресации и включение IPv6 forwarding на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	64
6.8	Настройка IPv6-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-alkamal-gw-02 . . . . .	65

6.9	Настройка IPv6-адресов интерфейсов eth0 и eth1 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 . . . . .	66
6.10	Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 . . . . .	67
6.11	Настройка и проверка IPv6-адреса на узле PC1-alkamal . . . . .	68
6.12	Настройка и проверка IPv6-адреса на узле PC2-alkamal . . . . .	69
6.13	Настройка RIP v2 и проверка таблицы маршрутизации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	70
6.14	Настройка RIP v2 и анализ полученных маршрутов на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 . . . . .	71
6.15	Настройка RIP v2 и проверка маршрутной информации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 . . . . .	72
6.16	Настройка RIP v2 и проверка состояния протокола на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 . . . . .	73
6.17	Проверка IPv4-связности и трассировка маршрута с PC1-alkamal до PC2-alkamal . . . . .	74
6.18	Таблица маршрутизации RIP на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	74
6.19	Настройка RIPng и добавление интерфейсов на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	75
6.20	Настройка RIPng на интерфейсах eth0 и eth1 маршрутизатора msk-alkamal-gw-02 . . . . .	75
6.21	Настройка RIPng и сохранение конфигурации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 . . . . .	76
6.22	Настройка RIPng на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 . . . . .	76
6.23	Проверка IPv6-связности и трассировка маршрута с PC1-alkamal . . . . .	77
6.24	Таблица маршрутизации RIPng на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	78
6.25	Настройка OSPFv2 и добавление сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	78
6.26	Настройка OSPFv2 и объявление сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 . . . . .	79
6.27	Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 . . . . .	79
6.28	Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 . . . . .	79
6.29	Проверка IPv4-связности и трассировка маршрута при использовании OSPF . . . . .	80
6.30	Соседство и таблица маршрутизации OSPF на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	81
6.31	Настройка OSPFv3 и назначение router-id на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	81
6.32	Настройка OSPFv3 и добавление интерфейсов на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 . . . . .	82
6.33	Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 . . . . .	82
6.34	Настройка OSPFv3 и назначение router-id на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 . . . . .	83

6.35 Проверка IPv6-связности и трассировка маршрута при использовании OSPFv3 . . . . .	84
6.36 Соседство и таблица маршрутизации OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 . . . . .	84

# **Список таблиц**

# **1 Цель работы**

Изучение принципов маршрутизации в IPv4- и IPv6-сетях и принципов настройки сетевого оборудования.

## **2 Настройка динамической маршрутизации в сетях IPv4 и IPv6**

- Развёртывание моделируемой сети в GNS3

В начале выполнения лабораторной работы была запущена GNS3 VM и программа GNS3, после чего создан новый проект. В рабочем пространстве были размещены и соединены сетевые устройства в соответствии с топологией, представленной на рисунке 8.4, с использованием маршрутизаторов FRR, коммутаторов и узлов VPCS.

Подключение устройств выполнено таким образом, чтобы сформировать кольцевую топологию из четырёх маршрутизаторов (gw-01, gw-02, gw-03, gw-04). Узел PC1 был подключён через коммутатор sw-01 к маршрутизатору gw-01, а узел PC2 — через коммутатор sw-02 к маршрутизатору gw-03.

Далее были изменены отображаемые имена устройств в соответствии с требованиями задания: коммутаторы получили имена по шаблону msk-user-sw-0x, маршрутизаторы — msk-user-gw-0x, а узлы VPCS — PCx-user, где user — имя alkamal учётной записи пользователя, x — порядковый номер устройства.

На завершающем этапе был включён захват трафика на соединениях между sw-01 и gw-01, а также между sw-02 и gw-03, что позволило в дальнейшем проанализировать работу протоколов маршрутизации и передачу пользовательского

трафика (рис. 2.1).

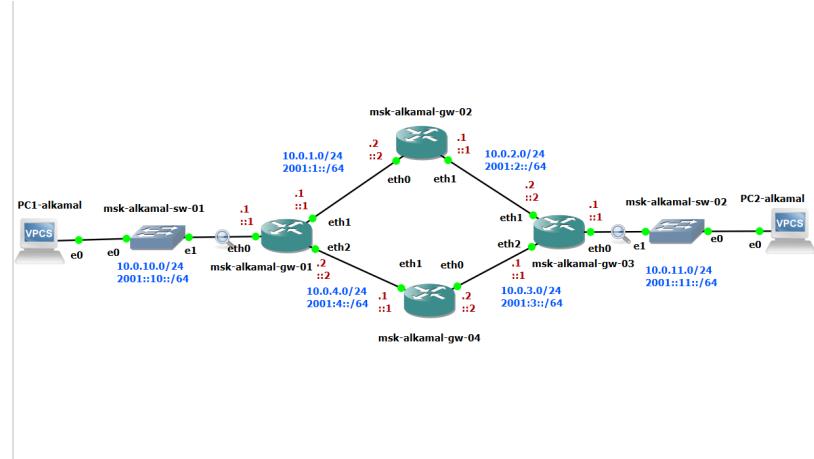


Рисунок 2.1: Топология моделируемой сети в GNS3 с четырьмя маршрутизаторами и оконечными узлами

- Назначение IPv4-адресов оконечным устройствам

В соответствии с таблицей адресации (табл. 8.2) были настроены IPv4-адреса на оконечных устройствах PC1 и PC2 с использованием команд VPCS. На узле PC1 был назначен IP-адрес 10.0.10.10/24 с указанием шлюза по умолчанию 10.0.10.1. Конфигурация была сохранена, после чего с помощью команды show ip подтверждена корректность заданных параметров. Аналогично, на узле PC2 был назначен IP-адрес 10.0.11.10/24 с шлюзом по умолчанию 10.0.11.1. После сохранения конфигурации проверка команды show ip показала корректное применение настроек. Таким образом, оконечные устройства были успешно сконфигурированы (рис. 2.2, рис. 2.3).

```

PC1-alkamal> ip 10.0.10.10/24 10.0.10.1
Checking for duplicate address...
PC1-alkamal : 10.0.10.10 255.255.255.0 gateway 10.0.10.1

PC1-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC1-alkamal> show ip

NAME      : PC1-alkamal[1]
IP/MASK   : 10.0.10.10/24
GATEWAY   : 10.0.10.1
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 20016
RHOST:PORT: 127.0.0.1:20017
MTU       : 1500

```

Рисунок 2.2: Назначение IPv4-адреса и проверка конфигурации на узле PC1

```

PC2-alkamal> ip 10.0.11.10/24 10.0.11.1
Checking for duplicate address...
PC2-alkamal : 10.0.11.10 255.255.255.0 gateway 10.0.11.1

PC2-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC2-alkamal> show ip

NAME      : PC2-alkamal[1]
IP/MASK   : 10.0.11.10/24
GATEWAY   : 10.0.11.1
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:01
LPORT     : 20018
RHOST:PORT: 127.0.0.1:20019
MTU       : 1500

```

Рисунок 2.3: Назначение IPv4-адреса и проверка конфигурации на узле PC2

- Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе msk-user-gw-01

На маршрутизаторе msk-user-gw-01 были настроены IPv4-адреса на интерфейсах eth0, eth1 и eth2 в соответствии с таблицей адресации. После назначения адресов интерфейсы были переведены в активное состояние с помощью команды no shutdown. Конфигурация была сохранена, а корректность настроек подтверждена командой show running-config (рис. 2.4).

```

frr# configure terminal
frr(config)# hostname msk-alkamal-gw-01
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ip address 10.0.10.1/24
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ip address 10.0.1.1/24
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth2
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ip address 10.0.4.2/24
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-01# show running-config
Building configuration...

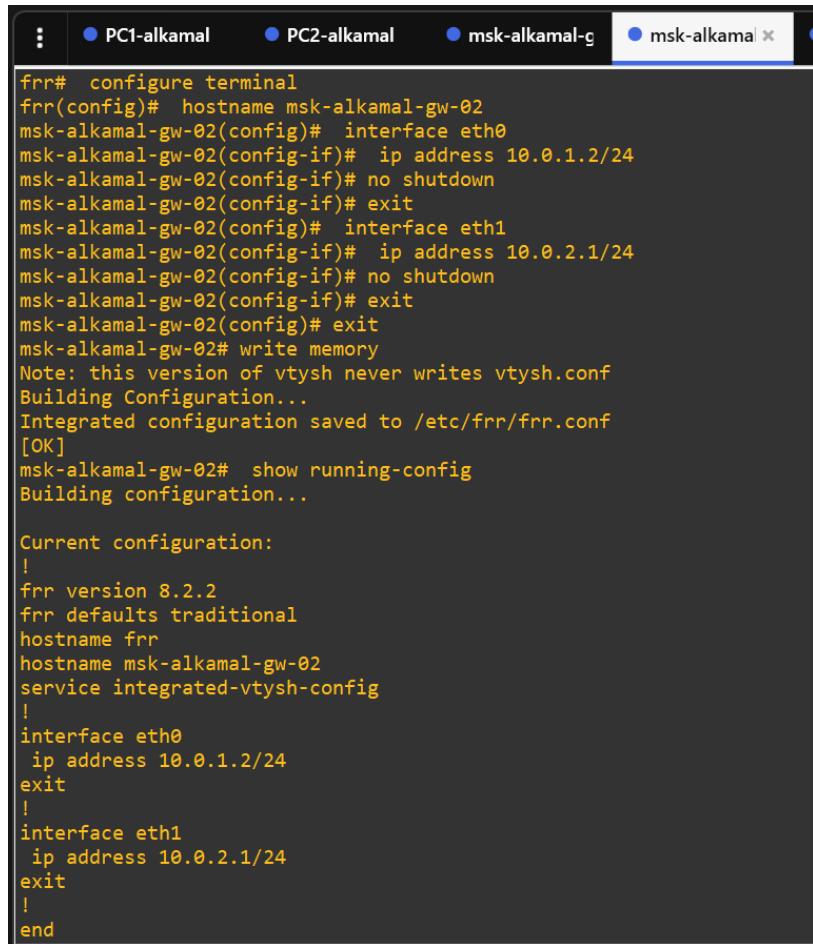
Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-01
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
  ip address 10.0.10.1/24
exit
!
interface eth1

```

Рисунок 2.4: Настройка IPv4-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-01

- Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе msk-user-gw-02

На маршрутизаторе msk-user-gw-02 была выполнена настройка IPv4-адресов на интерфейсах eth0 и eth1 согласно заданной схеме сети. Все интерфейсы были активированы, после чего конфигурация сохранена в энергонезависимой памяти. Проверка текущей конфигурации подтвердила правильность назначения IP-адресов (рис. 2.5).



The screenshot shows a terminal window with four tabs at the top: PC1-alkamal, PC2-alkamal, msk-alkamal-g, and msk-alkamal-g (selected). The main pane displays the configuration of a router named msk-alkamal-gw-02. The configuration includes setting the hostname, configuring two interfaces (eth0 and eth1) with IP addresses, exiting the configuration mode, writing the memory, and saving the integrated configuration. The current configuration is then displayed.

```
frr# configure terminal
frr(config)# hostname msk-alkamal-gw-02
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ip address 10.0.1.2/24
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ip address 10.0.2.1/24
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# exit
msk-alkamal-gw-02# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-02# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-02
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
  ip address 10.0.1.2/24
exit
!
interface eth1
  ip address 10.0.2.1/24
exit
!
end
```

Рисунок 2.5: Настройка IPv4-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-02

- Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе msk-user-gw-03

На маршрутизаторе msk-user-gw-03 были назначены IPv4-адреса на интерфейсах eth0, eth1 и eth2, обеспечивающих подключение к локальной сети и соседним маршрутизаторам. Все интерфейсы успешно активированы, конфигурация сохранена, а результаты настройки подтверждены выводом команды show running-config (рис. 2.7).

```
frr# configure terminal
frr(config)# hostname msk-alkamal-gw-03
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ip address 10.0.11.1/24
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ip address 10.0.2.2/24
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth2
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ip address 10.0.3.1/24
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-03# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-03
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
  ip address 10.0.11.1/24
exit
!
interface eth1
```

Рисунок 2.6: Назначение IPv4-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-03

- Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе msk-user-gw-04

На маршрутизаторе msk-user-gw-04 выполнена настройка IPv4-адресов на интерфейсах eth0 и eth1 в соответствии с топологией сети. После включения интерфейсов и сохранения конфигурации была выполнена проверка, подтвердившая корректность параметров (рис. 2.7).

```

frr# configure terminal
frr(config)# hostname msk-alkamal-gw-04
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ip address 10.0.3.2/24
msk-alkamal-gw-04(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ip address 10.0.4.1/24
msk-alkamal-gw-04(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-04# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-04
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
ip address 10.0.3.2/24
exit
!
interface eth1
ip address 10.0.4.1/24
exit
!
end

```

Рисунок 2.7: Настройка IPv4-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-04

- Назначение IPv6-адресов оконечным устройствам

В соответствии с таблицей адресации (табл. 8.2) на оконечных устройствах PC1 и PC2 были вручную настроены IPv6-адреса с использованием команд VPCS.

На узле PC1 был назначен глобальный IPv6-адрес 2001:10::a/64. После сохранения конфигурации проверка с помощью команды show ipv6 подтвердила корректное назначение глобального и link-local адресов.

Аналогично, на узле PC2 был назначен глобальный IPv6-адрес 2001:11::a/64. Конфигурация была сохранена, а вывод команды show ipv6 подтвердил корректность параметров IPv6 (рис. 2.8, рис. 2.9).

```

PC1-alkamal> ip 2001:10::a/64
PC1 : 2001:10::a/64

PC1-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC1-alkamal> show ipv6

NAME          : PC1-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6800/64
GLOBAL SCOPE   : 2001:10::a/64
DNS           :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC            : 00:50:79:66:68:00
LPORT          : 20016
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:20017
MTU:           : 1500

```

Рисунок 2.8: Назначение и проверка IPv6-адреса на узле PC1

```

PC2-alkamal> ip 2001:11::a/64
PC1 : 2001:11::a/64

PC2-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC2-alkamal> show ipv6

NAME          : PC2-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE   : 2001:11::a/64
DNS           :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC            : 00:50:79:66:68:01
LPORT          : 20018
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:20019
MTU:           : 1500

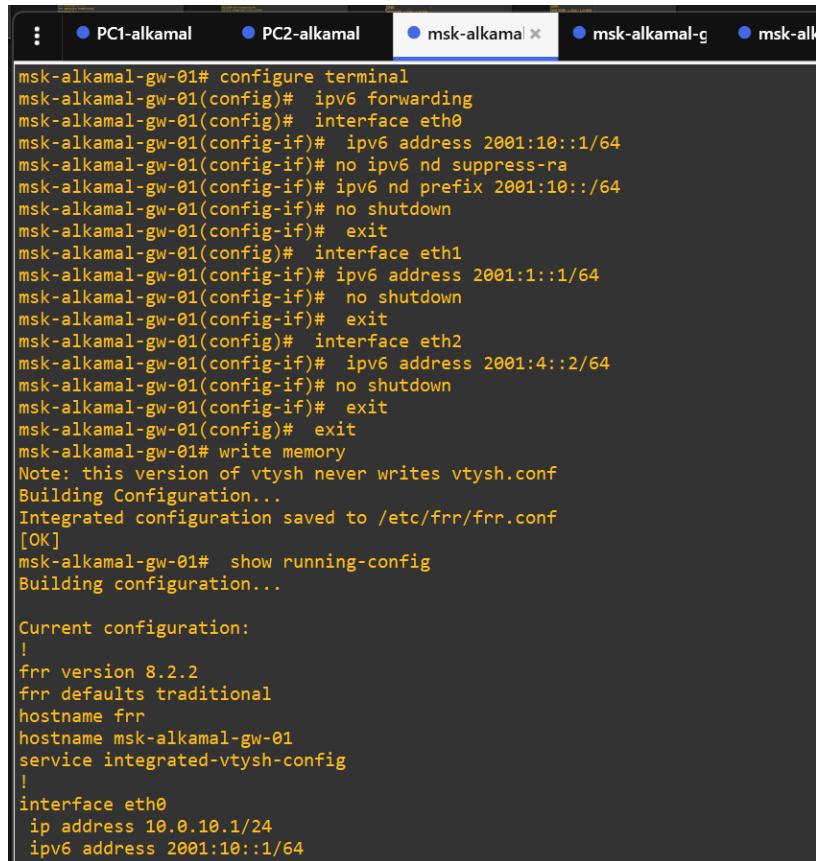
```

Рисунок 2.9: Назначение и проверка IPv6-адреса на узле PC2

- Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе msk-user-gw-01

На маршрутизаторе msk-user-gw-01 была включена поддержка пересылки IPv6 (ipv6 forwarding) и настроены IPv6-адреса на интерфейсах eth0, eth1 и eth2 в

соответствии с таблицей адресации. На интерфейсе eth0 дополнительно включена рассылка Router Advertisement для узлов локальной сети (рис. 2.10).



```
msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# ipv6 forwarding
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 address 2001:10::1/64
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no ipv6 nd suppress-ra
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 nd prefix 2001:10::/64
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 address 2001:1::1/64
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth2
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 address 2001:4::2/64
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-01# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-01
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
 ip address 10.0.10.1/24
 ipv6 address 2001:10::1/64
```

Рисунок 2.10: Настройка IPv6-адресов и Router Advertisement на маршрутизаторе msk-user-gw-01

- Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе msk-user-gw-02

На маршрутизаторе msk-user-gw-02 выполнено включение IPv6-пересылки и назначение IPv6-адресов на интерфейсах eth0 и eth1, обеспечивающих соединение с соседними маршрутизаторами. Все интерфейсы активированы, конфигурация сохранена, корректность настроек подтверждена (рис. 2.11).

```

msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# ipv6 forwarding
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ipv6 address 2001:1::2/64
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ipv6 address 2001:2::1/64
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# exit
msk-alkamal-gw-02# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-02# show running-config
Building configuration...

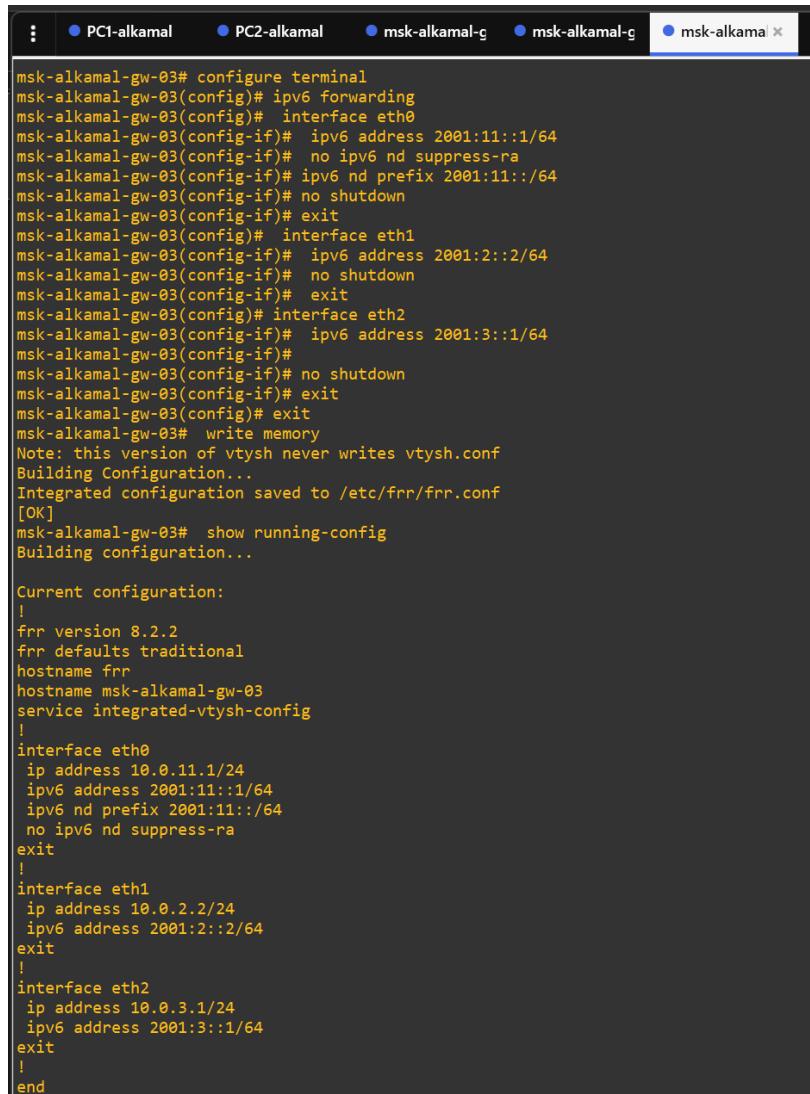
Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-02
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
    ip address 10.0.1.2/24
    ipv6 address 2001:1::2/64
exit
!
interface eth1
    ip address 10.0.2.1/24
    ipv6 address 2001:2::1/64
exit
!
end

```

Рисунок 2.11: Назначение IPv6-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-02

- Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе msk-user-gw-03

На маршрутизаторе msk-user-gw-03 была активирована поддержка IPv6 и назначены IPv6-адреса на интерфейсах eth0, eth1 и eth2. На интерфейсе eth0 включена рассылка Router Advertisement для автоматической конфигурации узлов сети. После сохранения конфигурации параметры IPv6 были успешно проверены (рис. 2.12).



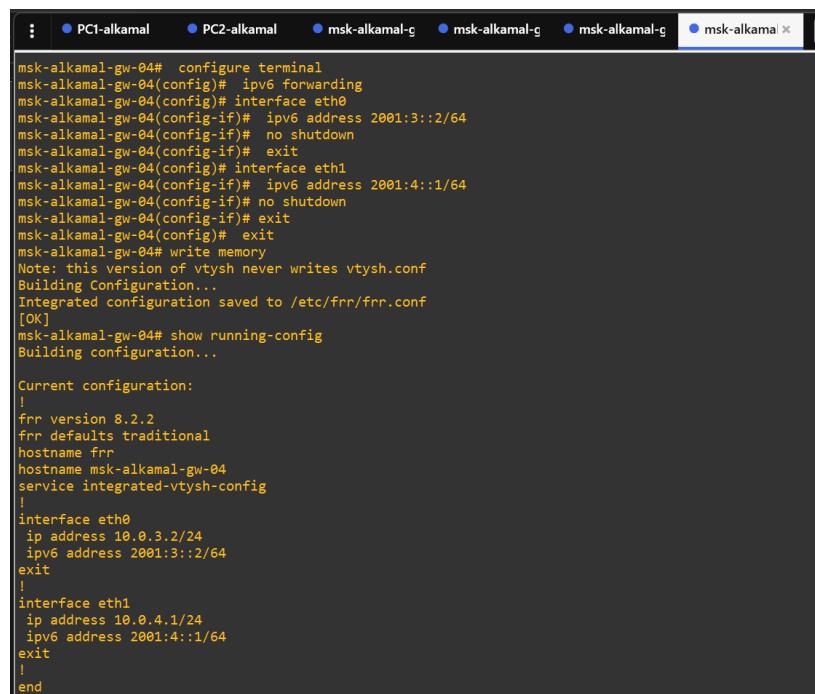
```
msk-alkamal-gw-03# configure terminal
msk-alkamal-gw-03(config)# ipv6 forwarding
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 address 2001:11::1/64
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no ipv6 nd suppress-ra
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 nd prefix 2001:11::/64
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 address 2001:2::2/64
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth2
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 address 2001:3::1/64
msk-alkamal-gw-03(config-if)#
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-03# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-03
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
    ip address 10.0.11.1/24
    ipv6 address 2001:11::1/64
    ipv6 nd prefix 2001:11::/64
    no ipv6 nd suppress-ra
exit
!
interface eth1
    ip address 10.0.2.2/24
    ipv6 address 2001:2::2/64
exit
!
interface eth2
    ip address 10.0.3.1/24
    ipv6 address 2001:3::1/64
exit
!
end
```

Рисунок 2.12: Настройка IPv6-адресов и Router Advertisement на маршрутизаторе msk-user-gw-03

- Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе msk-user-gw-04

На маршрутизаторе msk-user-gw-04 выполнена настройка IPv6-адресов на интерфейсах eth0 и eth1 с предварительным включением пересылки IPv6. Все интерфейсы переведены в активное состояние, конфигурация сохранена, что подтверждает готовность маршрутизатора к дальнейшей маршрутизации IPv6 (рис. 2.13).



The screenshot shows a terminal window with multiple tabs at the top, all labeled 'msk-alkamal'. The active tab displays the configuration of an FRRouting daemon on a router named 'msk-alkamal-gw-04'. The configuration includes setting up IPv6 forwarding, defining interfaces eth0 and eth1 with their respective IPv6 addresses, and saving the configuration to memory.

```
msk-alkamal-gw-04# configure terminal
msk-alkamal-gw-04(config)# ipv6 forwarding
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ipv6 address 2001:3::2/64
msk-alkamal-gw-04(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ipv6 address 2001:4::1/64
msk-alkamal-gw-04(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-04# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-04
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
    ip address 10.0.3.2/24
    ipv6 address 2001:3::2/64
exit
!
interface eth1
    ip address 10.0.4.1/24
    ipv6 address 2001:4::1/64
exit
!
end
```

Рисунок 2.13: Настройка IPv6-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-user-gw-04

# 3 Настройка динамической маршрутизации по протоколу RIP.

- Настройка RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-01

На маршрутизаторе msk-user-gw-01 был включён протокол динамической маршрутизации RIP версии 2. Маршрутизация активирована на интерфейсах eth0, eth1 и eth2, что позволило объявлять все непосредственно подключённые сети и получать маршруты от соседних маршрутизаторов. Конфигурация сохранена в памяти устройства (рис. 3.1).

```
msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# router rip
msk-alkamal-gw-01(config-router)# version 2
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network eth2
msk-alkamal-gw-01(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 3.1: Настройка протокола RIP версии 2 на маршрутизаторе msk-user-gw-01

- Настройка RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-02

На маршрутизаторе msk-user-gw-02 выполнена настройка RIPv2 с активацией

протокола на интерфейсах eth0 и eth1, обеспечивающих связь с соседними маршрутизаторами. После сохранения конфигурации маршрутизатор начал участвовать в обмене маршрутной информацией (рис. 3.2).

```
msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# router rip
msk-alkamal-gw-02(config-router)# version 2
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-02(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# exit
msk-alkamal-gw-02# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 3.2: Настройка протокола RIP версии 2 на маршрутизаторе msk-user-gw-02

- Настройка RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-03

На маршрутизаторе msk-user-gw-03 был настроен протокол RIPv2 и включён на интерфейсах eth0, eth1 и eth2. Это обеспечило распространение информации о локальных и транзитных сетях, а также получение маршрутов от соседних узлов. Конфигурация успешно сохранена (рис. 3.3).

```
msk-alkamal-gw-03# configure terminal
msk-alkamal-gw-03(config)# router rip
msk-alkamal-gw-03(config-router)# version 2
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network eth2
msk-alkamal-gw-03(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 3.3: Настройка протокола RIP версии 2 на маршрутизаторе msk-user-gw-03

- Настройка RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-04

На маршрутизаторе msk-user-gw-04 выполнена настройка RIPv2 с включением

протокола на интерфейсах eth0 и eth1. После сохранения параметров маршрутизатор корректно участвует в динамической маршрутизации сети (рис. 3.4).

```
msk-alkamal-gw-04# configure terminal
msk-alkamal-gw-04(config)# router rip
msk-alkamal-gw-04(config-router)# version 2
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-04(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 3.4: Настройка протокола RIP версии 2 на маршрутизаторе msk-user-gw-04

- Проверка корректности настройки маршрутизации RIP

Для проверки правильности настройки динамической маршрутизации по протоколу RIP версии 2 на всех маршрутизаторах были использованы команды show ip route rip, show ip rip и show ip rip status.

Результаты команды show ip route rip показали, что маршрутизаторы успешно получили маршруты к удалённым сетям по протоколу RIP, с указанием следующего перехода (Next Hop) и соответствующих метрик. Наличие записей с кодом R подтверждает участие маршрутизаторов в RIP-маршрутизации (рис. 3.5, рис. 3.11).

Вывод команды show ip rip отразил список объявляемых и полученных сетей, значения метрик и источники маршрутной информации. Это подтверждает корректный обмен маршрутными обновлениями между соседними маршрутизаторами (рис. 4.1).

Команда show ip rip status показала, что используется RIP версии 2, обновления отправляются каждые 30 секунд, таймеры протокола соответствуют стандартным значениям, а также что маршрутизация активна на всех требуемых интерфейсах (рис. 4.2).

Таким образом, динамическая маршрутизация по протоколу RIP настроена корректно и функционирует в соответствии с заданной топологией сети.

```

msk-alkamal-gw-01# show ip route rip
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
      O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
      T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
      f - OpenFabric,
      > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
      t - trapped, o - offload failure

R>* 10.0.2.0/24 [120/2] via 10.0.1.2, eth1, weight 1, 00:04:03
R>* 10.0.3.0/24 [120/2] via 10.0.4.1, eth2, weight 1, 00:00:49
R>* 10.0.11.0/24 [120/3] via 10.0.1.2, eth1, weight 1, 00:01:57
msk-alkamal-gw-01# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
      (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
      (i) - interface

      Network          Next Hop          Metric From           Tag Time
C(i) 10.0.1.0/24    0.0.0.0           1 self              0
R(n) 10.0.2.0/24    10.0.1.2          2 10.0.1.2        0 02:33
R(n) 10.0.3.0/24    10.0.4.1          2 10.0.4.1        0 02:42
C(i) 10.0.4.0/24    0.0.0.0           1 self              0
C(i) 10.0.10.0/24   0.0.0.0           1 self              0
R(n) 10.0.11.0/24   10.0.1.2          3 10.0.1.2        0 02:33
msk-alkamal-gw-01# show ip rip status
Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds with +/-50%, next due in 8 seconds
  Timeout after 180 seconds, garbage collect after 120 seconds
  Outgoing update filter list for all interface is not set
  Incoming update filter list for all interface is not set
  Default redistribution metric is 1
  Redistributing:
    Default version control: send version 2, receive version 2
      Interface      Send  Recv  Key-chain
      eth0          2     2
      eth1          2     2
      eth2          2     2
  Routing for Networks:
    eth0
    eth1
    eth2
  Routing Information Sources:
    Gateway      BadPackets BadRoutes Distance Last Update
    10.0.1.2        0         0       120  00:00:06
    10.0.4.1        0         0       120  00:00:26
  Distance: (default is 120)

```

Рисунок 3.5: Таблица маршрутов RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-01

```

msk-alkamal-gw-02# show ip route rip
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
      O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
      T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
      f - OpenFabric,
      > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
      t - trapped, o - offload failure

R>* 10.0.3.0/24 [120/2] via 10.0.2.2, eth1, weight 1, 00:06:02
R>* 10.0.4.0/24 [120/2] via 10.0.1.1, eth0, weight 1, 00:08:03
R>* 10.0.10.0/24 [120/2] via 10.0.1.1, eth0, weight 1, 00:08:03
R>* 10.0.11.0/24 [120/2] via 10.0.2.2, eth1, weight 1, 00:05:54
msk-alkamal-gw-02# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
      (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
      (i) - interface

      Network          Next Hop          Metric From        Tag Time
C(i) 10.0.1.0/24    0.0.0.0           1 self           0
C(i) 10.0.2.0/24    0.0.0.0           1 self           0
R(n) 10.0.3.0/24    10.0.2.2          2 10.0.2.2       0 02:31
R(n) 10.0.4.0/24    10.0.1.1          2 10.0.1.1       0 02:24
R(n) 10.0.10.0/24   10.0.1.1          2 10.0.1.1       0 02:24
R(n) 10.0.11.0/24   10.0.2.2          2 10.0.2.2       0 02:31
msk-alkamal-gw-02# show ip rip status
Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds with +/-50%, next due in 0 seconds
  Timeout after 180 seconds, garbage collect after 120 seconds
  Outgoing update filter list for all interface is not set
  Incoming update filter list for all interface is not set
  Default redistribution metric is 1
  Redistributing:
  Default version control: send version 2, receive version 2
    Interface      Send  Recv  Key-chain
      eth0         2     2
      eth1         2     2
  Routing for Networks:
    eth0
    eth1
  Routing Information Sources:
    Gateway      BadPackets BadRoutes Distance Last Update
    10.0.1.1        0         0        120  00:00:06
    10.0.2.2        0         0        120  00:00:02
Distance: (default is 120)

```

Рисунок 3.6: Таблица маршрутов RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-02

```

msk-alkamal-gw-03# show ip route rip
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
      O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
      T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
      f - OpenFabric,
      > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
      t - trapped, o - offload failure

R>* 10.0.1.0/24 [120/2] via 10.0.2.1, eth1, weight 1, 00:06:56
R>* 10.0.4.0/24 [120/2] via 10.0.3.2, eth2, weight 1, 00:05:46
R>* 10.0.10.0/24 [120/3] via 10.0.2.1, eth1, weight 1, 00:06:56
msk-alkamal-gw-03# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
      (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
      (i) - interface

      Network          Next Hop          Metric From           Tag Time
R(n) 10.0.1.0/24    10.0.2.1          2 10.0.2.1          0 02:42
C(i) 10.0.2.0/24   0.0.0.0           1 self             0
C(i) 10.0.3.0/24   0.0.0.0           1 self             0
R(n) 10.0.4.0/24    10.0.3.2          2 10.0.3.2          0 02:30
R(n) 10.0.10.0/24   10.0.2.1          3 10.0.2.1          0 02:42
C(i) 10.0.11.0/24  0.0.0.0           1 self             0
msk-alkamal-gw-03# show ip rip status
Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds with +/-50%, next due in 10 seconds
  Timeout after 180 seconds, garbage collect after 120 seconds
  Outgoing update filter list for all interface is not set
  Incoming update filter list for all interface is not set
  Default redistribution metric is 1
  Redistributing:
    Default version control: send version 2, receive version 2
      Interface   Send  Recv  Key-chain
      eth0        2     2
      eth1        2     2
      eth2        2     2
  Routing for Networks:
    eth0
    eth1
    eth2
  Routing Information Sources:
    Gateway      BadPkts BadRoutes Distance Last Update
    10.0.2.1        0       0       120  00:00:24
    10.0.3.2        0       0       120  00:00:00
Distance: (default is 120)

```

Рисунок 3.7: Вывод команды show ip rip на маршрутизаторе

```

msk-alkamal-gw-04# show ip route rip
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
      O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
      T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
      f - OpenFabric,
      > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
      t - trapped, o - offload failure

R>* 10.0.1.0/24 [120/2] via 10.0.4.2, eth1, weight 1, 00:06:13
R>* 10.0.2.0/24 [120/2] via 10.0.3.1, eth0, weight 1, 00:06:19
R>* 10.0.10.0/24 [120/2] via 10.0.4.2, eth1, weight 1, 00:06:13
R>* 10.0.11.0/24 [120/2] via 10.0.3.1, eth0, weight 1, 00:06:19
msk-alkamal-gw-04# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
      (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
      (i) - interface

      Network          Next Hop          Metric From           Tag Time
R(n) 10.0.1.0/24    10.0.4.2          2 10.0.4.2          0 02:48
R(n) 10.0.2.0/24    10.0.3.1          2 10.0.3.1          0 02:50
C(i) 10.0.3.0/24    0.0.0.0          1 self              0
C(i) 10.0.4.0/24    0.0.0.0          1 self              0
R(n) 10.0.10.0/24   10.0.4.2          2 10.0.4.2          0 02:48
R(n) 10.0.11.0/24   10.0.3.1          2 10.0.3.1          0 02:50
msk-alkamal-gw-04# show ip rip status
Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds with +/-50%, next due in 9 seconds
  Timeout after 180 seconds, garbage collect after 120 seconds
  Outgoing update filter list for all interface is not set
  Incoming update filter list for all interface is not set
  Default redistribution metric is 1
  Redistributing:
    Default version control: send version 2, receive version 2
      Interface      Send  Recv  Key-chain
      eth0          2     2
      eth1          2     2
  Routing for Networks:
    eth0
    eth1
  Routing Information Sources:
    Gateway      BadPackets BadRoutes Distance Last Update
    10.0.3.1        0         0       120  00:00:17
    10.0.4.2        0         0       120  00:00:18
Distance: (default is 120)

```

Рисунок 3.8: Статус протокола RIP и параметры таймеров

### 3.0.1 Проверка путей прохождения пакетов и реакции RIP на отказ интерфейса

- Проверка связности между PC1 и PC2 (нормальный режим)

На первом этапе с узла PC1 была выполнена проверка связности с узлом PC2 с помощью команды `ping 10.0.11.10`. Ответы ICMP были успешно получены, что подтверждает корректную маршрутизацию в сети.

С помощью команды `trace 10.0.11.10 -P 6` был определён путь следования пакетов. Трассировка показала прохождение трафика через несколько маршрутизаторов, что соответствует заданной топологии и подтверждает работу динамической маршрутизации RIP (рис. 4.3).

```

PC1-alkamal> ping 10.0.11.10
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=1 ttl=61 time=9.753 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=2 ttl=61 time=8.833 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=3 ttl=61 time=6.947 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=4 ttl=61 time=12.688 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=5 ttl=61 time=6.694 ms

PC1-alkamal> ping 2001::11::a
*2001::10::1 icmp6_seq=1 ttl=64 time=7.008 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*2001::10::1 icmp6_seq=2 ttl=64 time=2.618 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*2001::10::1 icmp6_seq=3 ttl=64 time=1.257 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*2001::10::1 icmp6_seq=4 ttl=64 time=1.275 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*2001::10::1 icmp6_seq=5 ttl=64 time=1.494 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)

PC1-alkamal> ping 10.0.11.10
10.0.11.10 icmp_seq=1 timeout
10.0.11.10 icmp_seq=2 timeout
10.0.11.10 icmp_seq=3 timeout
10.0.11.10 icmp_seq=4 timeout
10.0.11.10 icmp_seq=5 timeout

PC1-alkamal> trace 10.0.11.10 -P 6
trace to 10.0.11.10, 8 hops max (TCP), press Ctrl+C to stop
1 10.0.10.1 2.018 ms 1.518 ms 0.881 ms
2 * * *
3 *10.0.10.1 147.031 ms (ICMP type:3, code:1, Destination host unreachable)

PC1-alkamal> ping 10.0.11.10
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=1 ttl=61 time=10.532 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=2 ttl=61 time=7.112 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=3 ttl=61 time=8.403 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=4 ttl=61 time=5.958 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=5 ttl=61 time=7.729 ms

PC1-alkamal> trace 10.0.11.10 -P 6
trace to 10.0.11.10, 8 hops max (TCP), press Ctrl+C to stop
1 10.0.10.1 2.338 ms 1.764 ms 1.645 ms
2 10.0.4.1 6.000 ms 3.625 ms 3.126 ms
3 10.0.3.1 5.863 ms 3.600 ms 5.898 ms
4 10.0.11.10 7.339 ms 6.024 ms 4.777 ms

PC1-alkamal>

```

Рисунок 3.9: Проверка связности и трассировка пути пакетов от PC1 к PC2 в штатном режиме

- Анализ метрик RIP в штатном режиме

На маршрутизаторе msk-user-gw-01 была выполнена команда `show ip rip`. В таблице маршрутизации отображались сети, полученные по протоколу RIP, с корректными значениями метрик (меньше 16). Это означает, что маршруты считаются доступными, а основной путь к сети 10.0.11.0/24 проходит через маршрутизатор msk-user-gw-02 (рис. 4.4).

```

msk-alkamal-gw-01# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
    (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
    (i) - interface

      Network          Next Hop        Metric From      Tag Time
C(i) 10.0.1.0/24      0.0.0.0         1 self           0
R(n) 10.0.2.0/24      10.0.1.2        16 10.0.1.2     0 01:42
R(n) 10.0.3.0/24      10.0.4.1        2 10.0.4.1     0 02:38
C(i) 10.0.4.0/24      0.0.0.0         1 self           0
C(i) 10.0.10.0/24     0.0.0.0         1 self           0
R(n) 10.0.11.0/24     10.0.1.2        16 10.0.1.2     0 01:42
msk-alkamal-gw-01# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
    (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
    (i) - interface

      Network          Next Hop        Metric From      Tag Time
C(i) 10.0.1.0/24      0.0.0.0         1 self           0
R(n) 10.0.2.0/24      10.0.1.2        2 10.0.1.2     0 02:54
R(n) 10.0.3.0/24      10.0.4.1        2 10.0.4.1     0 02:46
C(i) 10.0.4.0/24      0.0.0.0         1 self           0
C(i) 10.0.10.0/24     0.0.0.0         1 self           0
R(n) 10.0.11.0/24     10.0.4.1        3 10.0.4.1     0 02:46
msk-alkamal-gw-01#

```

Рисунок 3.10: Таблица маршрутов RIP на маршрутизаторе msk-user-gw-01 в штатном режиме

- Отключение интерфейса на маршрутизаторе msk-user-gw-02

Далее был искусственно смоделирован отказ канала связи путём отключения интерфейса eth0 на маршрутизаторе msk-user-gw-02 с помощью команды `shutdown`.

После этого на маршрутизаторе msk-user-gw-01 повторно была проверена таблица RIP. В выводе команды `show ip rip` маршруты, ранее проходившие через msk-user-gw-02, получили метрику 16, что в протоколе RIP означает недостижимый маршрут. Это подтверждает корректное обнаружение отказа и распространение информации о недоступности сети.

- Проверка связности при отказе канала

После отключения интерфейса повторная попытка `ping` с PC1 на PC2 завершилась неудачно (тайм-ауты), что свидетельствует о временной потере маршрута. Команда `trace` показала сообщения об ошибке *Destination host unreachable*, подтверждая отсутствие доступного пути в данный момент.

- Восстановление маршрута и перестроение сети

Через некоторое время RIP получил обновления от других маршрутизаторов и выбрал альтернативный маршрут (через msk-user-gw-04). Это отразилось в таблице маршрутизации msk-user-gw-01, где для сети 10.0.11.0/24 появился новый Next Hop и допустимая метрика.

После этого повторный ping с PC1 на PC2 снова стал успешным, а команда trace показала новый путь прохождения пакетов через альтернативные маршрутизаторы.

Примерное время восстановления маршрута соответствует таймерам RIP и составляет несколько десятков секунд.

- Включение интерфейса msk-user-gw-02

На заключительном этапе интерфейс eth0 на маршрутизаторе msk-user-gw-02 был снова включён командой no shutdown. После очередного обмена RIP-обновлениями основной маршрут был восстановлен, а метрики вернулись к исходным значениям.

### **3.0.2 Анализ перехваченного сетевого трафика**

В процессе выполнения работы был проанализирован перехваченный трафик на каналах между коммутаторами и маршрутизаторами, что позволило зафиксировать работу протокола RIPv2 и передачу пользовательского трафика (рис. 3.11). В захвате присутствуют RIP-пакеты, отправляемые на мультикаст-адрес 224.0.0.9, которые содержат информацию об объявляемых сетях и соответствующих метриках маршрутов. В момент отказа канала наблюдается появление маршрутов с метрикой 16, что указывает на их недостижимость и подтверждает корректную реакцию протокола RIP. Также в трафике зафиксированы ICMP Echo Request и Echo Reply, возникающие при выполнении команды ping, по которым можно определить наличие или отсутствие связности между узлами. Анализ значений TTL и IP-адресов источника и назначения позволяет проследить путь следования пакетов и его изменение после перестройки маршрутизации (рис. 3.12).

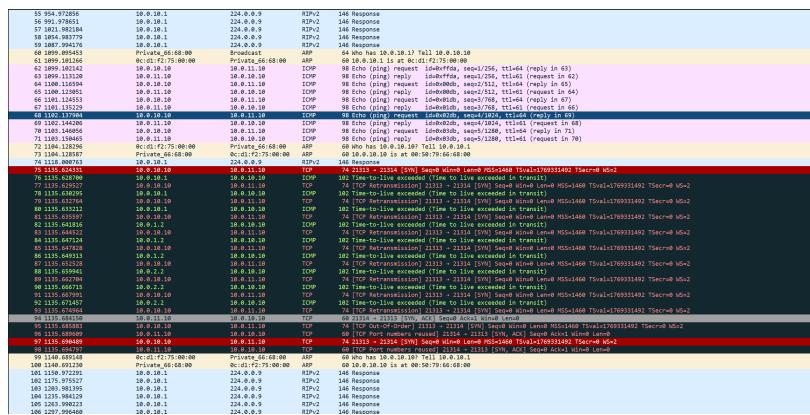


Рисунок 3.11: Перехваченные RIP-, ICMP- и ARP-пакеты в Wireshark на сегменте сети

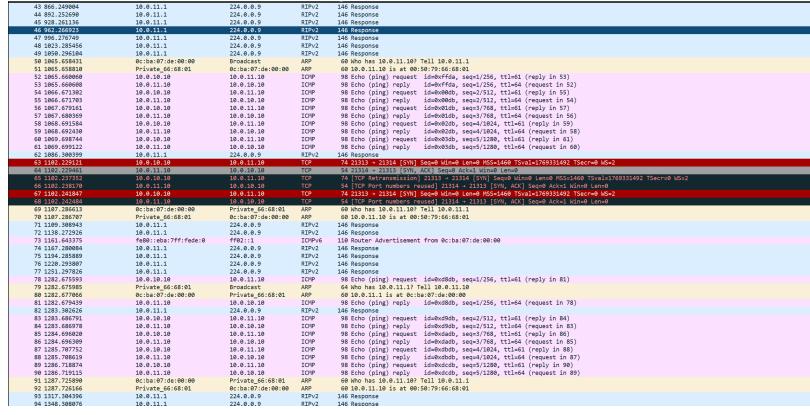


Рисунок 3.12: Фрагмент анализа трафика с RIP-обновлениями и ICMP-сообщениями при перестроении маршрутов

# 4 Настройка динамической маршрутизации по протоколу OSPF

- Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнена настройка протокола динамической маршрутизации OSPFv2. В процесс OSPF добавлены сети 10.0.10.0/24, 10.0.1.0/24 и 10.0.4.0/24, все они включены в область 0.0.0.0. После завершения конфигурирования изменения сохранены в постоянную конфигурацию (рис. 4.1).

```
msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# router ospf
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network 10.0.10.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network 10.0.1.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network 10.0.4.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-01(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-01#
```

Рисунок 4.1: Настройка OSPFv2 и объявление IPv4-сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

- Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 активирован процесс OSPFv2 и выполнено объявление сетей 10.0.1.0/24 и 10.0.2.0/24 в область 0.0.0.0. После

выхода из режима конфигурирования текущая конфигурация была сохранена в файл настроек FRR (рис. 4.2).

```
end
msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# router ospf
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network 10.0.1.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network 10.0.2.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-02(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# exit
msk-alkamal-gw-02# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-02#
```

Рисунок 4.2: Настройка OSPFv2 и объявление IPv4-сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

- Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 в процесс OSPFv2 включены сети 10.0.11.0/24, 10.0.2.0/24 и 10.0.3.0/24, относящиеся к области 0.0.0.0. Конфигурация маршрутизатора сохранена после завершения настройки (рис. 4.3).

```
end
msk-alkamal-gw-03# configure terminal
msk-alkamal-gw-03(config)# router ospf
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network 10.0.11.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network 10.0.2.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network 10.0.3.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-03(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-03#
```

Рисунок 4.3: Настройка OSPFv2 и объявление IPv4-сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

- Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 выполнена настройка OSPFv2 с добавлением сетей 10.0.3.0/24 и 10.0.4.0/24 в магистральную область 0.0.0.0. После завершения конфигурирования параметры маршрутизации сохранены в постоянной конфигурации (рис. 4.4).

```

msk-alkamal-gw-04# configure terminal
msk-alkamal-gw-04(config)# router ospf
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network 10.0.3.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network 10.0.4.0/24 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-04(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]

```

Рисунок 4.4: Настройка OSPFv2 и объявление IPv4-сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

- С узла PC1 выполнена проверка связности с узлом PC2 (10.0.11.10) командой `ping`, получены ответы ICMP (`icmp_seq=1-5`) с TTL=61. Командой `trace 10.0.11.10 -P 6` определён маршрут прохождения пакетов: 10.0.10.1 → 10.0.1.2 → 10.0.2.2 → 10.0.11.10 (рис. 4.5).

```

PC1-alkamal> ping 10.0.11.10
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=1 ttl=61 time=31.712 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=2 ttl=61 time=82.838 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=3 ttl=61 time=10.737 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=4 ttl=61 time=12.901 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=5 ttl=61 time=18.332 ms

PC1-alkamal> trace 10.0.11.10 -P 6
trace to 10.0.11.10, 8 hops max (TCP), press Ctrl+C to stop
 1  10.0.10.1    4.966 ms   4.107 ms   2.683 ms
 2  10.0.1.2     9.017 ms  15.385 ms  12.699 ms
 3  10.0.2.2    23.889 ms  18.881 ms  15.409 ms
 4  10.0.11.10   28.117 ms  27.574 ms  26.562 ms

```

Рисунок 4.5: Проверка связности и трассировка маршрута PC1 → 10.0.11.10

- На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 проверено состояние соседства OSPFv2 и таблица маршрутов протокола командами `show ip ospf neighbor` и `show ip ospf route`. В выводе `show ip ospf neighbor` отображаются два соседа в состоянии Full/Backup (адреса соседей: 10.0.1.2 и 10.0.4.1). В таблице OSPF присутствуют маршруты к сетям 10.0.2.0/24 и 10.0.3.0/24 через соответствующие `next-hop`, а также к сети 10.0.11.0/24 сразу по двум направлениям: `via 10.0.1.2 (eth1)` и `via 10.0.4.1 (eth2)` (рис. 4.6).

```

msk-alkamal-gw-01# show ip ospf neighbor
Neighbor ID      Pri State        Up Time     Dead Time Address      Interface          RXmtL Rq
stL DBsmI
10.0.2.1          1 Full/Backup   2m17s      34.858s 10.0.1.2      eth1:10.0.1.1          0
0                 0
10.0.4.1          1 Full/Backup   38.691s    38.267s 10.0.4.1      eth2:10.0.4.2          0
0                 0

msk-alkamal-gw-01# show ip ospf route
=====
OSPF network routing table =====
N  10.0.1.0/24      [100] area: 0.0.0.0
                                directly attached to eth1
N  10.0.2.0/24      [200] area: 0.0.0.0
                                via 10.0.4.1, eth2
N  10.0.3.0/24      [300] area: 0.0.0.0
                                via 10.0.4.1, eth2
N  10.0.4.0/24      [100] area: 0.0.0.0
                                directly attached to eth2
N  10.0.10.0/24     [100] area: 0.0.0.0
                                directly attached to eth0
N  10.0.11.0/24     [300] area: 0.0.0.0
                                via 10.0.1.2, eth1
                                via 10.0.4.1, eth2

=====
OSPF router routing table =====
=====
OSPF external routing table =====

```

Рисунок 4.6: Вывод соседей OSPFv2 и таблицы маршрутизации OSPF на msk-alkamal-gw-01

- Для моделирования отказа канала на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 выполнено отключение интерфейса eth0 командой `shutdown` в режиме конфигурирования (`configure terminal` → `interface eth0`). Операция выполнялась без изменения остальных параметров маршрутизации (рис. 4.7).

```

msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)#

```

Рисунок 4.7: Отключение интерфейса eth0 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 командой `shutdown`

- После отключения интерфейса на msk-alkamal-gw-02 повторно проверены соседство и маршруты OSPFv2 на msk-alkamal-gw-01. В выводе `show ip ospf route` маршрут к сети 10.0.2.0/24 отображается через 10.0.4.1 (eth2), а маршрут к сети 10.0.11.0/24 остаётся доступным через 10.0.4.1 (eth2), то есть используется альтернативный путь. Состояние соседства OSPF отображается в таблице `show ip ospf neighbor` (рис. 4.8).

```

msk-alkamal-gw-01# show ip ospf neighbor
Neighbor ID      Pri State        Up Time       Dead Time Address      Interface      RXmtL RastL DBsmL
16.0.2.1          1 Full/Backup   4m09s        23.048s 10.0.1.2      eth1:10.0.1.1      1     0     0
16.0.4.1          1 Full/Backup   2m38s        38.466s 10.0.4.1      eth2:10.0.4.2      0     0     0

msk-alkamal-gw-01# show ip ospf network routing table
=====
N  10.0.1.0/24      [100] area: 0.0.0.0
    via 10.0.4.1, eth1
N  10.0.2.0/24      [300] area: 0.0.0.0
    via 10.0.4.1, eth2
N  10.0.3.0/24      [200] area: 0.0.0.0
    via 10.0.4.1, eth2
N  10.0.4.0/24      [100] area: 0.0.0.0
    directly attached to eth2
N  10.0.10.0/24     [100] area: 0.0.0.0
    directly attached to eth0
N  10.0.11.0/24     [300] area: 0.0.0.0
    via 10.0.4.1, eth2
=====
OSPF router routing table
=====
OSPF external routing table
=====
```

Рисунок 4.8: Состояние OSPFv2 и маршруты на msk-alkamal-gw-01 после отключения интерфейса на msk-alkamal-gw-02

- Затем снова выполнены `ping` и `trace 10.0.11.10 -P 6` с узла PC1 для контроля связности и нового пути прохождения пакетов. Связность с 10.0.11.10 сохраняется (получены ответы ICMP), а трассировка показывает изменённый маршрут: 10.0.10.1 → 10.0.4.1 → 10.0.3.1 → 10.0.11.10 (рис. 4.9).

```

PC1-alkamal> ping 10.0.11.10
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=1 ttl=61 time=16.936 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=2 ttl=61 time=27.126 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=3 ttl=61 time=14.581 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=4 ttl=61 time=15.179 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=5 ttl=61 time=17.487 ms

PC1-alkamal> trace 10.0.11.10 -P 6
trace to 10.0.11.10, 8 hops max (TCP), press Ctrl+C to stop
 1  10.0.10.1   8.961 ms  9.519 ms  1.828 ms
 2  10.0.4.1   8.113 ms  7.469 ms  8.396 ms
 3  10.0.3.1   9.184 ms  6.481 ms  11.145 ms
 4  10.0.11.10  23.117 ms 12.510 ms  13.036 ms
```

Рисунок 4.9: Повторная проверка связности и трассировка маршрута PC1 → 10.0.11.10 после изменения маршрутизации

- На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 выполнено восстановление работоспособности интерфейса `eth0` командой `no shutdown` в режиме конфигурирования (`configure terminal → interface eth0`). Тем самым интерфейс был вновь включён после ранее выполненного отключения (рис. 4.10).

```
msk-alkamal-gw-02(config-if)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)#[
```

Рисунок 4.10: Включение интерфейса eth0 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 командой no shutdown

- После включения интерфейса на msk-alkamal-gw-02 на узле PC1 повторно проверена связность с PC2 (10.0.11.10) командой ping, получены ответы ICMP. Командой trace 10.0.11.10 -P 6 определён маршрут прохождения пакетов: 10.0.10.1 → 10.0.1.2 → 10.0.3.1 → 10.0.11.10 (рис. 4.11).

```
PC1-alkamal> ping 10.0.11.10
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=1 ttl=61 time=16.765 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=2 ttl=61 time=10.983 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=3 ttl=61 time=10.358 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=4 ttl=61 time=19.267 ms
84 bytes from 10.0.11.10 icmp_seq=5 ttl=61 time=21.852 ms

PC1-alkamal> trace 10.0.11.10 -P 6
trace to 10.0.11.10, 8 hops max (TCP), press Ctrl+C to stop
1 10.0.10.1 17.254 ms 2.382 ms 5.779 ms
2 10.0.1.2 32.940 ms 10.492 ms 30.784 ms
3 10.0.3.1 16.768 ms 13.870 ms 10.780 ms
4 10.0.11.10 32.700 ms 20.109 ms 28.143 ms
```

Рисунок 4.11: Проверка ping и трассировка маршрута PC1 → 10.0.11.10 после включения интерфейса на msk-alkamal-gw-02

- В захваченном трафике на соединении между коммутатором и маршрутизатором msk-alkamal-gw-01 фиксируются ARP-пакеты, используемые для сопоставления IPv4-адресов с MAC-адресами, а также ICMP Echo Request и Echo Reply между узлами 10.0.10.10 и 10.0.11.10, что подтверждает проверку связности на сетевом уровне. Значения поля TTL в ICMP-ответах уменьшаются относительно исходного, что указывает на прохождение пакетов через несколько маршрутизаторов (рис. 4.12).

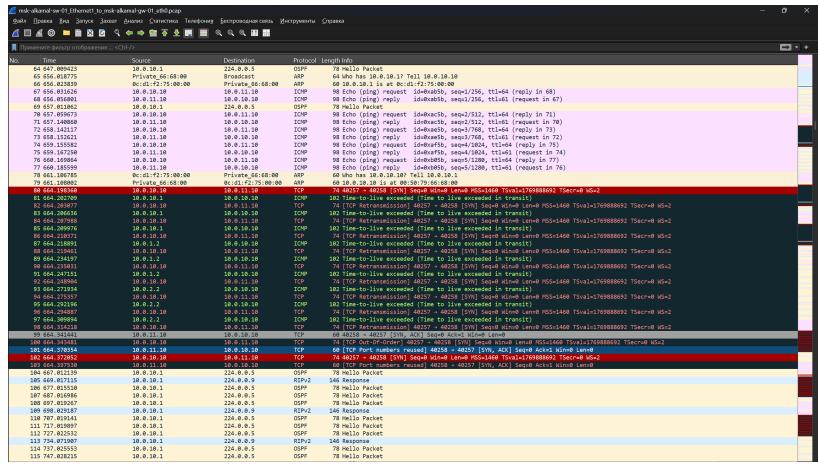


Рисунок 4.12: ICMP и ARP пакеты при проверке связности IPv4 в Wireshark

- В процессе трассировки маршрута в захвате наблюдаются ICMP-сообщения Time-to-live exceeded (Time to live exceeded in transit), которые формируются промежуточными маршрутизаторами при истечении значения TTL. Эти пакеты позволяют определить количество переходов и порядок следования маршрута между источником и получателем (рис. 4.13).

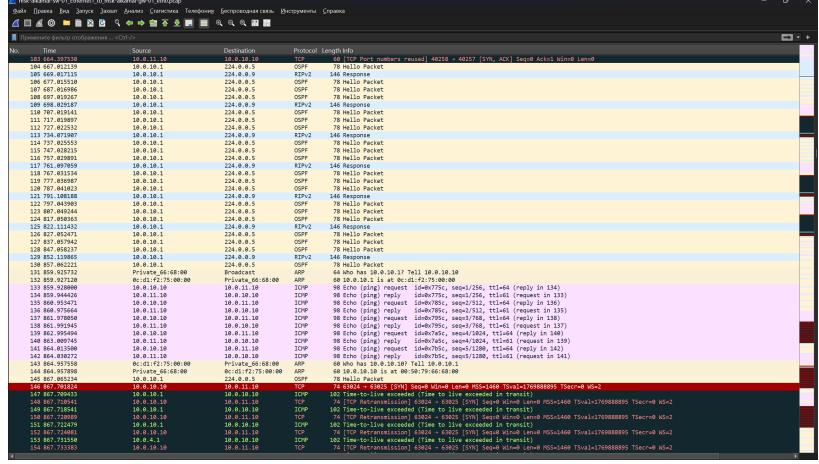


Рисунок 4.13: ICMP Time Exceeded пакеты при трассировке маршрута IPv4

- Кроме диагностического трафика, зафиксированы служебные пакеты протоколов маршрутизации OSPF (Hello Packet), передаваемые на мультикаст-адрес 224.0.0.5, а также пакеты RIP v2, отправляемые на

адрес 224.0.0.9. Это подтверждает одновременную работу протоколов динамической маршрутизации и обмен маршрутной информацией между маршрутизаторами в сети (рис. 4.14).

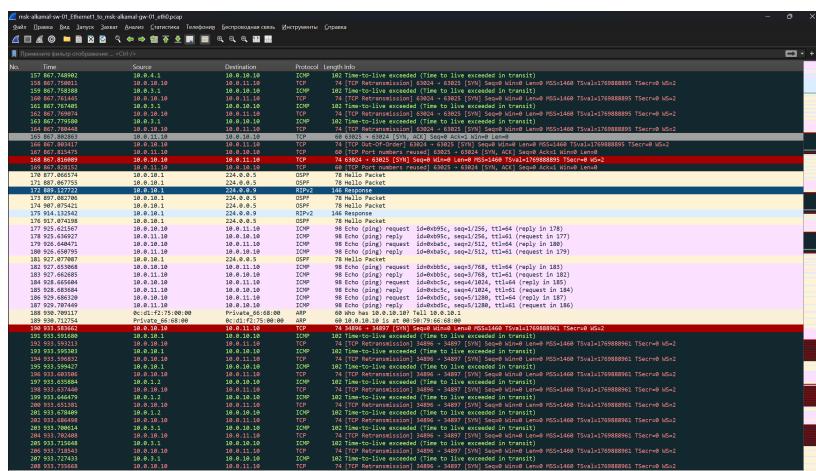


Рисунок 4.14: OSPF Hello и RIP v2 пакеты в захваченном IPv4-трафике

- Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 активирован процесс маршрутизации OSPFv3 для IPv6 и задан идентификатор маршрутизатора 1.1.1.1. Далее протокол OSPFv3 был включён на интерфейсах eth0, eth1 и eth2 с привязкой к области 0. После завершения настройки конфигурация сохранена в постоянную память (рис. 4.15).

```

msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# router ospf6
msk-alkamal-gw-01(config-ospf6)# ospf6 router-id 1.1.1.1
msk-alkamal-gw-01(config-ospf6)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]

```

Рисунок 4.15: Настройка OSPFv3 и привязка IPv6-интерфейсов на msk-alkamal-gw-01

- Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 выполнено включение OSPFv3 с назначением router-id 2.2.2.2. Протокол OSPFv3 активирован на интерфейсах eth0 и eth1, которые добавлены в магистральную область 0. После выхода из режима конфигурирования изменения сохранены (рис. 4.16).

```

msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# router ospf6
msk-alkamal-gw-02(config-ospf6)# ospf6 router-id 2.2.2.2
msk-alkamal-gw-02(config-ospf6)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# # exit
)#
msk-alkamal-gw-02(config)# msk-alkamal-gw-02(config)#
% Unknown command: msk-alkamal-gw-02(config)#
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# exit
msk-alkamal-gw-02# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-02# 

```

Рисунок 4.16: Настройка OSPFv3 и IPv6-интерфейсов на msk-alkamal-gw-02

- Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 настроен процесс OSPFv3 с идентификатором маршрутизатора 3.3.3.3. Интерфейсы eth0, eth1 и eth2 подключены к области 0, что обеспечивает участие всех IPv6-сегментов данного маршрутизатора в динамической маршрутизации. Конфигурация сохранена командой write memory (рис. 4.17).

```
msk-alkamal-gw-03# configure terminal
msk-alkamal-gw-03(config)# router ospf6
msk-alkamal-gw-03(config-ospf6)# ospf6 router-id 3.3.3.3
msk-alkamal-gw-03(config-ospf6)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth2
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-03#
```

Рисунок 4.17: Настройка OSPFv3 и включение интерфейсов eth0–eth2 на msk-alkamal-gw-03

- Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 активирован OSPFv3 с router-id 4.4.4.4. Протокол включён на интерфейсах eth0 и eth1 и привязан к области 0. После завершения конфигурирования параметры маршрутизации сохранены в файл конфигурации FRR (рис. 4.18).

```

msk-alkamal-gw-04# configure terminal
msk-alkamal-gw-04(config)# router ospf6
msk-alkamal-gw-04(config-ospf6)# ospf6 router-id 4.4.4.4
msk-alkamal-gw-04(config-ospf6)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-04#

```

Рисунок 4.18: Настройка OSPFv3 и IPv6-интерфейсов на msk-alkamal-gw-04

- С узла PC1 выполнена проверка связности с PC2 по IPv6-адресу 2001:11::a с помощью ping; получены ответы ICMPv6 (icmp6\_seq=1–5) с hop limit=58. Командой trace 2001:11::a определён маршрут прохождения пакетов: 2001:10::1 → 2001:1::2 → 2001:2::2 → 2001:11::a (рис. 4.19).

```

PC1-alkamal> ping 2001:11::a
2001:11::a icmp6_seq=1 ttl=58 time=144.457 ms
2001:11::a icmp6_seq=2 ttl=58 time=14.956 ms
2001:11::a icmp6_seq=3 ttl=58 time=14.091 ms
2001:11::a icmp6_seq=4 ttl=58 time=18.875 ms
2001:11::a icmp6_seq=5 ttl=58 time=11.379 ms

PC1-alkamal> trace 2001:11::a
trace to 2001:11::a, 64 hops max
1 2001:10::1 6.439 ms 5.896 ms 2.253 ms
2 2001:1::2 8.939 ms 7.573 ms 5.038 ms
3 2001:2::2 15.014 ms 9.847 ms 11.087 ms
4 2001:11::a 14.992 ms 10.691 ms 46.786 ms

```

Рисунок 4.19: Проверка ICMPv6-связности и трассировка маршрута PC1 → 2001:11::a

- На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 проверено состояние соседства OSPFv3 и таблица маршрутизации протокола командами show ipv6 ospf6 neighbor и show ipv6 ospf6 route. В списке соседей отображаются router-id 2.2.2.2 и 4.4.4.4 в состоянии Full/BDR, а в таблице

маршрутов присутствуют IA-префиксы 2001:1::/64, 2001:2::/64, 2001:3::/64, 2001:4::/64, 2001:10::/64 и 2001:11::/64 с указанием интерфейсов и next-hop (link-local) (рис. 4.20).

```
msk-alkamal-gw-01# show ipv6 ospf6 neighbor
Neighbor ID      Pri   DeadTime     State/IfState      Duration I/F[State]
2.2.2.2          1     00:00:31    Full/BDR           00:03:40 eth1[DR]
4.4.4.4          1     00:00:39    Full/BDR           00:00:45 eth2[DR]
msk-alkamal-gw-01# show ipv6 ospf6 route
*N IA 2001:1::/64          ::                           eth1 00:00:50
*N IA 2001:2::/64          fe80::eca:7bff:fe4c:0    eth1 00:00:50
*N IA 2001:3::/64          fe80::e6d:f2ff:fe83:1    eth2 00:00:50
*N IA 2001:4::/64          ::                           eth2 00:00:50
*N IA 2001:10::/64         ::                           eth0 00:00:50
*N IA 2001:11::/64         fe80::eca:7bff:fe4c:0    eth1 00:00:50
                                         fe80::e6d:f2ff:fe83:1    eth2
msk-alkamal-gw-01#
```

Рисунок 4.20: Соседи OSPFv3 и таблица маршрутов OSPFv3 на msk-alkamal-gw-01

- Для моделирования отказа на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 выполнено отключение интерфейса eth0 командой `shutdown` в режиме конфигурирования (`configure terminal` → `interface eth0`). Действие выполнено без изменения других параметров маршрутизации (рис. 4.21).

```
msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)#
```

Рисунок 4.21: Отключение интерфейса eth0 на msk-alkamal-gw-02 командой `shutdown`

- После отключения интерфейса на msk-alkamal-gw-02 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 повторно просмотрена таблица маршрутизации OSPFv3 командой `show ipv6 ospf6 route`. В выводе маршруты к IA- префиксам отображаются с выбором доступного next-hop через link-local адрес и привязкой к соответствующему интерфейсу, что отражает пересчёт маршрутов после изменения топологии (рис. 4.22).

```
msk-alkamal-gw-01# show ipv6 ospf6 route
*N IA 2001:1::/64          ::                           eth1 00:00:08
*N IA 2001:2::/64          fe80::e6d:f2ff:fe83:1    eth2 00:00:08
*N IA 2001:3::/64          fe80::e6d:f2ff:fe83:1    eth2 00:00:08
*N IA 2001:4::/64          ::                           eth2 00:00:08
*N IA 2001:10::/64         ::                           eth0 00:00:08
*N IA 2001:11::/64         fe80::e6d:f2ff:fe83:1    eth2 00:00:08
msk-alkamal-gw-01#
```

Рисунок 4.22: Таблица маршрутизации OSPFv3 на msk-alkamal-gw-01 после отключения интерфейса на msk-alkamal-gw-02

- Затем на PC1 повторно выполнены `ping 2001:11::a` и `trace 2001:11::a` для проверки связности и нового пути. Связность сохраняется (получены ответы ICMPv6), а трассировка показывает изменённый маршрут:  $2001:10::1 \rightarrow 2001:4::1 \rightarrow 2001:3::1 \rightarrow 2001:11::a$  (рис. 4.23).

```
PC1-alkamal> ping 2001:11::a
2001:11::a icmp6_seq=1 ttl=58 time=11.962 ms
2001:11::a icmp6_seq=2 ttl=58 time=17.059 ms
2001:11::a icmp6_seq=3 ttl=58 time=15.614 ms
2001:11::a icmp6_seq=4 ttl=58 time=9.701 ms
2001:11::a icmp6_seq=5 ttl=58 time=16.262 ms

PC1-alkamal> trace 2001:11::a
trace to 2001:11::a, 64 hops max
 1 2001:10::1  21.304 ms  6.670 ms  4.802 ms
 2 2001:4::1  12.225 ms  8.398 ms  7.866 ms
 3 2001:3::1  13.104 ms  26.379 ms  7.390 ms
 4 2001:11::a  14.130 ms  11.656 ms  16.351 ms

PC1-alkamal>
```

Рисунок 4.23: Повторный ping и trace PC1 → 2001:11::a после изменения маршрута в OSPFv3

- После проверки альтернативного пути на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 выполнено включение интерфейса `eth0` командой `no shutdown` в режиме конфигурирования. Тем самым интерфейс был возвращён в рабочее состояние (рис. 4.24).

```
msk-alkamal-gw-02(config-if)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)#
```

Рисунок 4.24: Включение интерфейса `eth0` на msk-alkamal-gw-02 командой `no shutdown`

- После включения интерфейса на msk-alkamal-gw-02 на узле PC1 снова выполнены ping 2001:11::a и trace 2001:11::a для контроля связности и маршрута. Получены ответы ICMPv6, а трассировка фиксирует текущий путь прохождения пакетов: 2001:10::1 → 2001:4::1 → 2001:3::1 → 2001:11::a (рис. 4.25).

```

PC1-alkamal> ping 2001:11::a
2001:11::a icmp6_seq=1 ttl=58 time=16.825 ms
2001:11::a icmp6_seq=2 ttl=58 time=11.820 ms
2001:11::a icmp6_seq=3 ttl=58 time=6.571 ms
2001:11::a icmp6_seq=4 ttl=58 time=51.483 ms
2001:11::a icmp6_seq=5 ttl=58 time=8.775 ms

PC1-alkamal> trace 2001:11::a
trace to 2001:11::a, 64 hops max
1 2001:10::1 21.170 ms 32.387 ms 27.280 ms
2 2001:4::1 39.995 ms 85.493 ms 21.159 ms
3 2001:3::1 48.451 ms 27.249 ms 28.716 ms
4 2001:11::a 31.853 ms 96.152 ms 54.941 ms

```

Рисунок 4.25: Контрольный ping и trace PC1 → 2001:11::a после включения интерфейса на msk-alkamal-gw-02

В захваченном трафике фиксируются ICMPv6-пакеты Echo Request и Echo Reply между узлами с IPv6-адресами 2001:10::a и 2001:11::a, что подтверждает проверку связности на сетевом уровне. Значения поля Hop Limit в ответах (меньше исходного) позволяют определить факт прохождения пакетов через несколько маршрутизаторов. Также в трассировке присутствуют ICMPv6-сообщения Time Exceeded (Hop limit exceeded in transit), которые формируются промежуточными маршрутизаторами при истечении лимита переходов и используются для определения пути следования пакетов (рис. 4.26).

Рисунок 4.26: Анализ ICMPv6 Echo и Time Exceeded пакетов в Wireshark

Помимо ICMPv6, в захвате наблюдаются пакеты OSPF (Hello Packet), отправляемые на мультикал-адреса ff02::5 и 224.0.0.5, что указывает на поддержание соседства между маршрутизаторами и обмен служебной информацией протокола маршрутизации. Также зафиксированы UDP-пакеты с последующими ICMPv6-сообщениями Destination Unreachable (Port unreachable), возникающими при работе механизма трассировки маршрута. Совокупность этих пакетов позволяет проанализировать активность протоколов маршрутизации, процесс определения маршрута и реакцию сети на диагностические запросы (рис. 4.27).

Рисунок 4.27: OSPF Hello, UDP и ICMPv6 Destination Unreachable пакеты в захваченном трафике

## 5 Построение туннеля IPv6–IPv4

- Развёртывание топологии сети в GNS3

В среде GNS3 был создан новый проект, после чего выполнено размещение и соединение сетевых устройств в соответствии с заданной топологией, включающей маршрутизаторы VyOS, коммутаторы и узлы VPCS (рис. 5.1). Топология состоит из двух IPv6-сегментов, соединённых через IPv4-транзитную сеть, а также логического IPv6-туннеля между границными маршрутизаторами. Имена всех устройств приведены в соответствие с требованиями задания: маршрутизаторы — msk-user-gw-0x, коммутаторы — msk-user-sw-0x, оконечные узлы — PCx-user. Для последующего анализа сетевых взаимодействий был включён захват трафика на соединении между маршрутизаторами msk-user-gw-01 и msk-user-gw-03.

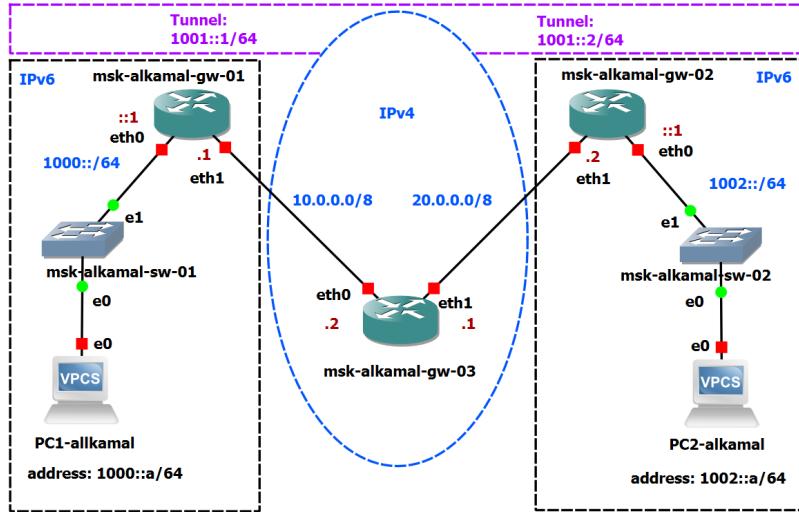


Рисунок 5.1: Топология сети с IPv6-сегментами, IPv4-транзитом и туннелем между маршрутизаторами

- Назначение IPv6-адресов оконечным устройствам

На оконечных узлах PC1-alkamal и PC2-alkamal были вручную настроены глобальные IPv6-адреса в соответствии с таблицей адресации (рис. 5.2). Узлу PC1-alkamal был назначен адрес 1000::a/64, а узлу PC2-alkamal – адрес 1002::a/64. После сохранения конфигурации команды `show ipv6` подтвердили наличие как глобальных, так и link-local IPv6-адресов, что свидетельствует о корректной настройке интерфейсов оконечных устройств.

```
PC1-allkamal> ip 1000::a/64
PC1 : 1000::a/64

PC1-allkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC1-allkamal> show ip

NAME      : PC1-allkamal[1]
IP/MASK   : 0.0.0.0/0
GATEWAY   : 0.0.0.0
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 20012
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20013
MTU       : 1500

PC1-allkamal> show ipv6

NAME      : PC1-allkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6800/64
GLOBAL SCOPE   : 1000::a/64
DNS       :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC       : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 20012
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20013
MTU       : 1500

PC1-allkamal> █
```

Рисунок 5.2: Назначение и проверка IPv6-адреса на узле PC1-alkamal

```
VPCS is free software, distributed under the terms of the "BSD" license.
Source code and license can be found at vpcs.sf.net.
For more information, please visit wiki.freecode.com.cn.

Add new tab

Press '?' to get help.

Executing the startup file

PC2-alkamal> ip 1002::a/64
PC1 : 1002::a/64

PC2-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC2-alkamal> show ip

NAME      : PC2-alkamal[1]
IP/MASK   : 0.0.0.0/0
GATEWAY   : 0.0.0.0
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:01
LPORT     : 20014
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20015
MTU       : 1500

PC2-alkamal> show ipv6

NAME      : PC2-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE   : 1002::a/64
DNS       :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC       : 00:50:79:66:68:01
LPORT     : 20014
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20015
MTU       : 1500

PC2-alkamal>
```

Рисунок 5.3: Назначение и проверка IPv6-адреса на узле PC2-alkamal

- Изменение имён маршрутизаторов VyOS

На всех маршрутизаторах VyOS был выполнен переход в режим конфигурирования и изменены системные имена в соответствии с требованиями задания (рис. 5.4). Для каждого устройства имя было проверено командой compare, затем конфигурация применена с помощью commit и сохранена командой save. После перезагрузки маршрутизаторов новые имена вступили в силу, что подтверждает корректность выполненных изменений.

```
VyOS is a free software distribution that includes multiple components,  
you can check individual component licenses under /usr/share/doc/*copyright  
vyos@vyos:~$ configure  
[edit]  
vyos@vyos# set system host-name msk-alkamal-gw-01  
[edit]  
vyos@vyos# compare  
[edit system]  
>host-name msk-alkamal-gw-01  
[edit]  
vyos@vyos# commit  
[edit]  
vyos@vyos# save  
Saving configuration to '/config/config.boot'...  
Done  
[edit]  
vyos@vyos# exit  
exit  
vyos@vyos:~$ reboot  
Are you sure you want to reboot this system? [y/N] y
```

Рисунок 5.4: Изменение имени маршрутизатора VyOS msk-alkamal-gw-01

```
VyOS is a free software distribution that includes multiple components,  
you can check individual component licenses under /usr/share/doc/*copyright  
vyos@vyos:~$ configure  
[edit]  
vyos@vyos# set system host-name msk-alkamal-gw-02  
[edit]  
vyos@vyos# compare  
[edit system]  
>host-name msk-alkamal-gw-02  
[edit]  
vyos@vyos# commit  
[edit]  
vyos@vyos# save  
Saving configuration to '/config/config.boot'...  
Done  
[edit]  
vyos@vyos# exit  
exit  
vyos@vyos:~$ reboot  
Are you sure you want to reboot this system? [y/N] y
```

Рисунок 5.5: Изменение имени маршрутизатора VyOS msk-alkamal-gw-02

```
vyos@vyos:~$ configure  
[edit]  
vyos@vyos# set system host-name msk-alkamal-gw-03  
[edit]  
vyos@vyos# compare  
[edit system]  
>host-name msk-alkamal-gw-03  
[edit]  
vyos@vyos# commit  
[edit]  
vyos@vyos# save  
Saving configuration to '/config/config.boot'...  
Done  
[edit]  
vyos@vyos# exit  
exit  
vyos@vyos:~$ reboot  
Are you sure you want to reboot this system? [y/N] y
```

Рисунок 5.6: Изменение имени маршрутизатора VyOS msk-alkamal-gw-03

- Настройка IPv4- и IPv6-адресации на маршрутизаторах VyOS

На маршрутизаторах VyOS была выполнена настройка IPv4- и IPv6-адресов на интерфейсах в соответствии с заданной топологией сети (рис. 5.7). На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 на интерфейсе eth0 был назначен IPv6-адрес 1000::1/64 и включена рассылка Router Advertisement с префиксом 1000::/64, а на интерфейсе eth1 настроен IPv4-адрес 10.0.0.1/8. На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 на интерфейсе eth0 был назначен IPv6-адрес 1002::1/64 с включённым Router Advertisment, а на eth1 – IPv4-адрес 20.0.0.2/8. На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 была выполнена настройка IPv4-адресов на интерфейсах eth0 (10.0.0.2/8) и eth1 (20.0.0.1/8). После проверки состояния интерфейсов конфигурации были сохранены, что обеспечило корректную работу IPv4-транзитной сети и автоматическую IPv6-настройку оконечных узлов.

```
vyos@msk-alkamal-gw-01# set interfaces ethernet eth1 address 10.0.0.1/8
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set service router-advert interface eth0 prefix 1000::/64
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01#
```

Рисунок 5.7: Настройка IPv6 RA и IPv4-адресации на msk-alkamal-gw-01

```
vyos@msk-alkamal-gw-02:~$ configure
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02# set interfaces ethernet eth0 address 1002::1/64
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02#
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02#
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02# set interfaces ethernet eth1 address 20.0.0.2/8
[edit]
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02# set service router-advert interface eth0 prefix 1002::/64
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02# commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02#
```

Рисунок 5.8: Настройка IPv6 RA и IPv4-адресации на msk-alkamal-gw-02

```
vyos@msk-alkamal-gw-03# show interfaces
  ethernet eth0 {
    - address dhcp
+    address 10.0.0.2/8
      hw-id 0c:a8:d6:19:00:00
  }
  ethernet eth1 {
    address 20.0.0.1/8
    hw-id 0c:a8:d6:19:00:01
  }
  ethernet eth2 {
    hw-id 0c:a8:d6:19:00:02
  }
  loopback lo {
  }
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-03# commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-03# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-03#
```

Рисунок 5.9: Проверка IPv4-адресации и интерфейсов на msk-alkamal-gw-03

- Проверка получения IPv6-параметров по Router Advertisement

На оконечных устройствах PC1-alkamal и PC2-alkamal с помощью команды `show ipv6` была проверена автоматическая конфигурация IPv6-параметров по механизму Router Advertisement (рис. 5.10, рис. 5.11). В выводе команд зафиксировано наличие link-local IPv6-адресов из диапазона fe80::/64, а также глобальных IPv6-адресов из соответствующих подсетей. Для PC1-alkamal был получен адрес 1000::a/64, для PC2-alkamal – адрес 1002::a/64. В поле Router link-layer отображается MAC-адрес ближайшего маршрутизатора, что подтверждает корректное обнаружение маршрутизатора и получение параметров IPv6 по RA.

```
PC1-alkamal> show ipv6

NAME          : PC1-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6800/64
GLOBAL SCOPE   : 1000::a/64
DNS           :
ROUTER LINK-LAYER : 0c:2c:06:01:00:00
MAC            : 00:50:79:66:68:00
LPORT          : 20012
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:20013
MTU:           : 1500

PC1-alkamal>
```

Рисунок 5.10: Проверка IPv6-параметров на узле PC1-alkamal

```
PC2-alkamal> show ipv6

NAME          : PC2-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE   : 1002::a/64
DNS           :
ROUTER LINK-LAYER : 0c:22:d3:62:00:00
MAC            : 00:50:79:66:68:01
LPORT          : 20014
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:20015
MTU:           : 1500

PC2-alkamal>
```

Рисунок 5.11: Проверка IPv6-параметров на узле PC2-alkamal

- Проверка связности между маршрутизаторами до настройки маршрутизации

С маршрутизатора msk-alkamal-gw-01 была выполнена проверка связности с соседним маршрутизатором в сети 10.0.0.0/8 с помощью команды ping, которая завершилась успешно (рис. 5.12). Это подтверждает корректную настройку IPv4-адресации и работу канального уровня. Попытки выполнения ping в сеть 20.0.0.0/8

завершились сообщением Network is unreachable, что указывает на отсутствие маршрута к данной сети в таблице маршрутизации маршрутизатора.

```
vyos@msk-alkamal-gw-01:~$ ping 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=9.72 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.54 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=2.60 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=3.17 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=2.93 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=3.28 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=2.69 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=2.73 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=2.61 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=3.31 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=6.40 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=2.64 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=2.88 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=3.40 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=1.32 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=2.28 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=2.01 ms
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
17 packets transmitted, 17 received, 0% packet loss, time 59ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.323/3.382/9.719/1.876 ms
vyos@msk-alkamal-gw-01:~$ ping 20.0.0.1
connect: Network is unreachable
vyos@msk-alkamal-gw-01:~$ 
Invalid command: [$]
vyos@msk-alkamal-gw-01:~$ ping 20.0.0.1
connect: Network is unreachable
vyos@msk-alkamal-gw-01:~$ ping 20.0.0.3
connect: Network is unreachable
vyos@msk-alkamal-gw-01:~$ ping 20.0.0.2
connect: Network is unreachable
vyos@msk-alkamal-gw-01:~$ 
```

Рисунок 5.12: Проверка IPv4-связности и отсутствие маршрута к сети 20.0.0.0/8

- Анализ ICMP-трафика при проверке IPv4-связности

При выполнении команды ping 10.0.0.2 с маршрутизатора msk-alkamal-gw-01 в перехваченном трафике зафиксированы ICMP Echo Request и Echo Reply без потерь пакетов (рис. 5.13). Это подтверждает корректную работу ARP-механизма и успешную передачу данных между маршрутизаторами в одной IPv4-подсети. При попытках ping к адресам 20.0.0.1 и 20.0.0.2 ICMP-пакеты не формировались, так как маршрутизатор отбрасывал трафик на этапе маршрутизации из-за отсутствия записи о сети назначения.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length Info
263	4453.479018	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d3
264	4453.479020	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
265	4501.302853	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
266	4501.302854	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
267	4501.302855	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
268	4519.998708	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
269	4519.998709	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
270	4519.998710	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
271	4519.998710	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
272	4532.349974	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
273	4532.349975	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
274	4602.154463	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
275	4615.748453	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
276	4615.748453	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342 DHCP Discover - Transaction ID 0x6b2f04d7
277	4616.386513	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 who has 10.0.0.2 at 0:0:0:0:0:0? r=255 t=156 ttl=64 (request in 276)
278	4616.386513	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 10.0.0.2 is at 0:0:0:0:0:0 r=255 t=156 ttl=64 (reply in 276)
279	4616.386513	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 who has 10.0.0.2 at 0:0:0:0:0:0? r=255 t=156 ttl=64 (request in 276)
280	4617.128853	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 10.0.0.2 is at 0:0:0:0:0:0 r=255 t=156 ttl=64 (reply in 276)
281	4617.128853	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=156 ttl=64 (request in 280)
282	4618.128857	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1789 ttl=64 (reply in 281)
283	4618.128857	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1789 ttl=64 (request in 281)
284	4619.386817	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1824 ttl=64 (reply in 285)
285	4619.386817	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1824 ttl=64 (request in 285)
286	4620.382915	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1826 ttl=64 (reply in 287)
287	4620.382915	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1826 ttl=64 (request in 287)
288	4621.385686	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1536 ttl=64 (reply in 289)
289	4621.385686	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1536 ttl=64 (request in 289)
290	4621.386412	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 who has 10.0.0.2 at 0:0:0:0:0:0? r=255 t=156 ttl=64 (request in 288)
291	4621.386412	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 10.0.0.2 is at 0:0:0:0:0:0 r=255 t=156 ttl=64 (reply in 290)
292	4621.386411	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 who has 10.0.0.2 at 0:0:0:0:0:0? r=255 t=156 ttl=64 (request in 292)
293	4622.389970	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1792 ttl=64 (request in 294)
294	4622.389970	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1792 ttl=64 (request in 294)
295	4623.389277	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1793 ttl=64 (request in 295)
296	4623.389277	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1793 ttl=64 (request in 295)
297	4624.311459	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1794 ttl=64 (request in 296)
298	4624.311459	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1794 ttl=64 (request in 296)
299	4625.317776	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1795 ttl=64 (request in 298)
300	4625.317776	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1795 ttl=64 (request in 298)
301	4626.328693	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1796 ttl=64 (request in 300)
302	4627.329515	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1797 ttl=64 (reply in 301)
303	4627.329515	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1797 ttl=64 (request in 302)
304	4628.328908	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1798 ttl=64 (request in 303)
305	4628.328908	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1798 ttl=64 (request in 304)
306	4629.334698	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1799 ttl=64 (request in 305)
307	4629.334698	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1799 ttl=64 (request in 305)
308	4629.334699	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1800 ttl=64 (request in 306)
309	4629.334699	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1800 ttl=64 (request in 306)
310	4630.335449	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1801 ttl=64 (reply in 309)
311	4631.338512	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1802 ttl=64 (request in 310)
312	4631.338512	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1802 ttl=64 (request in 310)
313	4632.338568	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) request 10:0:0:0:0:0 seq=1803 ttl=64 (request in 312)
314	4632.338568	0.0.0.0	0.0.0.0	ARP	68 Echo (ping) reply 10:0:0:0:0:0 seq=1803 ttl=64 (request in 312)

Рисунок 5.13: ICMP- и ARP-трафик при проверке связи в сети 10.0.0.0/8

- Настройка динамической маршрутизации IPv4 по протоколу RIP

На маршрутизаторах VyOS была настроена динамическая маршрутизация IPv4 с использованием протокола RIP (рис. 5.14, рис. 5.15, рис. 5.16). На msk-alkamal-gw-01 в RIP была добавлена сеть 10.0.0.0/8, на msk-alkamal-gw-02 — сеть 20.0.0.0/8. Маршрутизатор msk-alkamal-gw-03 был настроен для участия сразу в обеих сетях, что позволило ему выполнять транзитную функцию между IPv4-доменами. После применения и сохранения конфигурации маршрутизаторы начали обмен маршрутной информацией, в результате чего была обеспечена IPv4-связность между сетями 10.0.0.0/8 и 20.0.0.0/8 без использования статической маршрутизации.

```
msk-alkamal-gw x msk-alkamal-gw-l msk-alkamal-gw-l PC1-alkamal PC2
Check out project news at https://blog.vyos.io
and feel free to report bugs at https://vyos.dev

You can change this banner using "set system login banner post-login" command.

VyOS is a free software distribution that includes multiple components,
you can check individual component licenses under /usr/share/doc/*copyright
vyos@msk-alkamal-gw-01:~$ configure
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set protocols rip network 10.0.0.0/8
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
```

Рисунок 5.14: Настройка RIP на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

```
vyos@msk-alkamal-gw-02:~$ configure
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02# set protocols rip network 20.0.0.0/8
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02# commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
```

Рисунок 5.15: Настройка RIP на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

```
vyos@msk-alkamal-gw-03:~$ configure
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-03# set protocols rip network 10.0.0.0/8
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-03# set protocols rip network 20.0.0.0/8
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-03# commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-03# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
```

Рисунок 5.16: Настройка RIP на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

- Проверка маршрутов с R1 с учётом анализа трафика

С маршрутизатора msk-alkamal-gw-01 выполнены проверки связности с узлами IPv4-сетей (рис. 5.17). Команда ping 10.0.0.2 завершилась успешно, что подтверждает корректную связность внутри сети 10.0.0.0/8 и доступность соседнего маршрутизатора. Проверка ping 20.0.0.1 и ping 20.0.0.2 также показала успешную доставку пакетов, что свидетельствует о корректной работе динамической маршрутизации RIP между сетями 10.0.0.0/8 и 20.0.0.0/8. В захваченном трафике наблюдаются ICMP Echo Request/Echo Reply, ARP-обмен и RIP-обновления на адрес 224.0.0.9, подтверждающие нормальную работу канального и сетевого уровней.

```

vyos@msk-alkamal-gw-01# ping 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=9.08 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=7.77 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=5.03 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=2.61 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=1.98 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=2.85 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=3.02 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=1.80 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=3.72 ms
^X64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=2.16 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=1.84 ms
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
11 packets transmitted, 11 received, 0% packet loss, time 186ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.802/3.804/9.083/2.374 ms
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# ping 20.0.0.1
PING 20.0.0.1 (20.0.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 20.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.36 ms
64 bytes from 20.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.21 ms
64 bytes from 20.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.41 ms
64 bytes from 20.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=2.46 ms
64 bytes from 20.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=3.69 ms
^C
--- 20.0.0.1 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 57ms
rtt min/avg/max/mdev = 2.455/3.425/4.410/0.637 ms
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# ping 20.0.0.2
PING 20.0.0.2 (20.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 20.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=63 time=8.02 ms
64 bytes from 20.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=63 time=4.17 ms
64 bytes from 20.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=63 time=3.43 ms
64 bytes from 20.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=63 time=7.94 ms
64 bytes from 20.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=63 time=4.52 ms

```

Рисунок 5.17: Проверка IPv4-связности с R1 и ICMP-трафик

- Создание IPv6-туннеля через IPv4

На маршрутизаторах msk-alkamal-gw-01 и msk-alkamal-gw-02 был настроен IPv6-туннель поверх IPv4 с использованием механизма SIT (рис. 5.18). На msk-alkamal-gw-01 создан интерфейс tun0 с локальным IPv4-адресом 10.0.0.1, удалённым адресом 20.0.0.2 и IPv6-адресом туннеля 1001::1/64. На msk-alkamal-gw-02 интерфейс tun0 настроен с локальным IPv4-адресом 20.0.0.2, удалённым адресом 10.0.0.1 и IPv6-адресом 1001::2/64. После выполнения commit и save между маршрутизаторами сформирован логический IPv6-канал поверх IPv4-сети.

```

vyos@msk-alkamal-gw-01# set interfaces tunnel tun0 encapsulation sit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set interfaces tunnel tun0 source-address 10.0.0.1
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set interfaces tunnel tun0 remote 20.0.0.2
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set interfaces tunnel tun0 address 1001::1/64
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set protocols static route6

```

Рисунок 5.18: Настройка интерфейса tun0 (SIT) на маршрутизаторах

- Настройка статической маршрутизации IPv6

Для обеспечения связности между IPv6-подсетями через созданный туннель была настроена статическая маршрутизация IPv6 (рис. 5.19). На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 добавлен маршрут к сети 1002::/64 с указанием следующего перехода 1001::2. На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 добавлен маршрут к сети 1000::/64 через следующий переход 1001::1. После применения и сохранения конфигурации обеспечена двусторонняя маршрутизация IPv6-трафика между удалёнными сегментами.

```

vyos@msk-alkamal-gw-01# set protocols static route6 1002::0/64 next-hop 1001::2
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]

```

Рисунок 5.19: Статические IPv6-маршруты через туннель

- Проверка доступности оконечных устройств и анализ туннеля IPv6-over-IPv4

С узла PC1 успешно выполнены команды ping 1002::a и trace 1002::a, что подтверждает достижимость узла PC2 по IPv6 (рис. 5.20). Аналогично, с узла PC2 успешно выполнены ping 1000::a и trace 1000::a, подтверждающие обратную связность. Трассировка показывает прохождение трафика через туннельные IPv6-адреса 1001::1 → 1001::2. Анализ перехваченного трафика демонстрирует инкапсуляцию IPv6-пакетов в IPv4 (SIT), где во внешнем IPv4-заголовке

используются адреса 10.0.0.1 и 20.0.0.2, а полезной нагрузкой является IPv6-пакет между адресами 1000::a и 1002::a.

```
PC1-alkamal> ping 1002::a
1002::a icmp6_seq=1 ttl=60 time=21.899 ms
1002::a icmp6_seq=2 ttl=60 time=7.479 ms
1002::a icmp6_seq=3 ttl=60 time=7.603 ms
1002::a icmp6_seq=4 ttl=60 time=12.239 ms
1002::a icmp6_seq=5 ttl=60 time=7.545 ms

PC1-alkamal> trace 1002::a
trace to 1002::a, 64 hops max
 1 1000::1    3.614 ms  1.506 ms  0.935 ms
 2 1001::2    11.665 ms  10.461 ms  5.772 ms
 3 1002::a    7.617 ms  11.251 ms  11.514 ms
```

Рисунок 5.20: Проверка IPv6-связности и трассировка через туннель

## **6 Задание для самостоятельного выполнения**

- Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнена базовая настройка IPv4-адресации интерфейсов eth0 и eth1. Интерфейсу eth0 назначен адрес 10.10.1.97/27, а интерфейсу eth1 — адрес 10.10.1.5/30. Интерфейсы переведены в активное состояние командой `no shutdown`. Конфигурация сохранена и подтверждена выводом текущих настроек командой `show running-config` (рис. 6.1).

```

frr# configure terminal
frr(config)# hostname msk-alkamal-gw-01
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ip address 10.10.1.97/27
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ip address 10.10.1.5/30
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-01# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-01
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
  ip address 10.10.1.97/27
exit
!
interface eth1
  ip address 10.10.1.5/30
exit
!
end

```

Рисунок 6.1: Настройка IPv4-адресации и проверка конфигурации маршрутизатора msk-alkamal-gw-01

- Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 выполнена настройка трёх интерфейсов. Интерфейсу eth0 присвоен адрес 10.10.1.65/28, интерфейсу eth1 – адрес 10.10.1.18/30, интерфейсу eth2 – адрес 10.10.1.33/30. Все интерфейсы активированы. Конфигурация сохранена в постоянную память и проверена с помощью команды `show running-config` (рис. 6.2).

```

frr# configure terminal
frr(config)# hostname msk-alkamal-gw-02
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ip address 10.10.1.65/28
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ip address 10.10.1.18/30
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth2
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ip address 10.10.1.33/30
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# exit
msk-alkamal-gw-02# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-02# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-02
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
  ip address 10.10.1.65/28
exit
!
interface eth1
  ip address 10.10.1.18/30
exit
!
interface eth2
  ip address 10.10.1.33/30
exit
!
end

```

Рисунок 6.2: Настройка IPv4-адресов интерфейсов маршрутизатора msk-alkamal-gw-02

- Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 настроены интерфейсы eth0 и eth1. Интерфейсу eth0 назначен IPv4-адрес 10.10.1.6/30, интерфейсу eth1 — адрес 10.10.1.17/30. Интерфейсы включены и конфигурация сохранена. Корректность

параметров подтверждена выводом текущей конфигурации (рис. 6.3).

```
frr# configure terminal
frr(config)# hostname msk-alkamal-gw-03
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ip address 10.10.1.6/30
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ip address 10.10.1.17/30
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-03# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-03
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
  ip address 10.10.1.6/30
exit
!
interface eth1
  ip address 10.10.1.17/30
exit
!
end
```

Рисунок 6.3: Настройка интерфейсов eth0 и eth1 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

- Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 выполнена настройка интерфейсов eth0 и eth1. Интерфейсу eth0 присвоен адрес 10.10.1.9/30, интерфейсу eth1 — адрес 10.10.1.34/30. После активации интерфейсов конфигурация сохранена и проверена командой `show running-config` (рис. 6.4).

```

frr# configure terminal
frr(config)# hostname msk-alkamal-gw-04
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ip address 10.10.1.9/30
msk-alkamal-gw-04(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ip address 10.10.1.34/30
msk-alkamal-gw-04(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-04# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-04
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
  ip address 10.10.1.9/30
exit
!
interface eth1
  ip address 10.10.1.34/30
exit
!
end

```

Рисунок 6.4: Настройка IPv4-адресов интерфейсов маршрутизатора msk-alkamal-gw-04

- Настройка IPv4-адресации на узле PC1-alkamal

На узле PC1-alkamal вручную настроен IPv4-адрес 10.10.1.98/27 с указанием шлюза по умолчанию 10.10.1.97. Конфигурация сохранена, после чего выполнена проверка параметров сетевого интерфейса командой `show ip`, подтвердившая корректность заданных значений (рис. 6.5).

```

PC1-alkamal> ip 10.10.1.98/27 10.10.1.97
Checking for duplicate address...
PC1-alkamal : 10.10.1.98 255.255.255.224 gateway 10.10.1.97

PC1-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC1-alkamal> show ip

NAME      : PC1-alkamal[1]
IP/MASK   : 10.10.1.98/27
GATEWAY   : 10.10.1.97
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 20016
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20017
MTU       : 1500

```

Рисунок 6.5: Настройка IPv4-адреса и шлюза по умолчанию на узле PC1-alkamal

- Настройка IPv4-адресации на узле PC2-alkamal

На узле PC2-alkamal задан IPv4-адрес 10.10.1.66/28 и шлюз по умолчанию 10.10.1.65. После сохранения конфигурации выполнен просмотр текущих сетевых параметров командой `show ip`, что подтверждает корректную настройку адресации узла (рис. 6.6).

```

PC2-alkamal> ip 10.10.1.66/28 10.10.1.65
Checking for duplicate address...
PC2-alkamal : 10.10.1.66 255.255.255.240 gateway 10.10.1.65

PC2-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC2-alkamal> show ip

NAME      : PC2-alkamal[1]
IP/MASK   : 10.10.1.66/28
GATEWAY   : 10.10.1.65
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:01
LPORT     : 20018
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20019
MTU       : 1500

```

Рисунок 6.6: Настройка IPv4-адреса и шлюза по умолчанию на узле PC2-alkamal

- Включение IPv6 и настройка интерфейсов на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 включена пересылка IPv6-пакетов командой `ipv6 forwarding`. На интерфейсе eth0 настроен IPv6-адрес 2001:db8:1:1::1/64, включена рассылка Router Advertisement и задан IPv6- префикс 2001:db8:1:1::/64. На интерфейсе eth1 назначен IPv6-адрес 2001:db8:1:2::1/64. Конфигурация сохранена и подтверждена выводом текущих настроек (рис. 6.7).

```
end
msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# ipv6 forwarding
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 address 2001:db8:1:1::1/64
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no ipv6 nd suppress-ra
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 nd prefix 2001:db8:1:1::/64
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 address 2001:db8:1:2::1/64
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-01# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-01
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
  ip address 10.10.1.97/27
  ipv6 address 2001:db8:1:1::1/64
  ipv6 nd prefix 2001:db8:1:1::/64
  no ipv6 nd suppress-ra
exit
!
interface eth1
  ip address 10.10.1.5/30
  ipv6 address 2001:db8:1:2::1/64
exit
!
end
```

Рисунок 6.7: Настройка IPv6-адресации и включение IPv6 forwarding на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

- Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 активирована поддержка IPv6. Интерфейсу eth0 присвоен адрес 2001:db8:1:6::1/64, интерфейсу eth1 — адрес 2001:db8:1:4::2/64,

интерфейсу eth2 — адрес 2001:db8:1:5::2/64. Все интерфейсы переведены в рабочее состояние. Конфигурация сохранена и проверена командой show running-config (рис. 6.8).

```
msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# ipv6 forwarding
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ipv6 address 2001:db8:1:6::1/64
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ipv6 address 2001:db8:1:4::2/64
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth2
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ipv6 address 2001:db8:1:5::2/64
msk-alkamal-gw-02(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# exit
msk-alkamal-gw-02# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-02# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-02
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
    ip address 10.10.1.65/28
    ipv6 address 2001:db8:1:6::1/64
exit
!
interface eth1
    ip address 10.10.1.18/30
    ipv6 address 2001:db8:1:4::2/64
exit
!
interface eth2
    ip address 10.10.1.33/30
    ipv6 address 2001:db8:1:5::2/64
exit
!
end
```

Рисунок 6.8: Настройка IPv6-адресов на интерфейсах маршрутизатора msk-alkamal-gw-02

- Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 включена маршрутизация IPv6. На

интерфейсе eth0 настроен IPv6-адрес 2001:db8:1:2::2/64, а на интерфейсе eth1 — адрес 2001:db8:1:4::1/64. Интерфейсы активированы, конфигурация сохранена и подтверждена выводом текущих параметров (рис. 6.9).

```
msk-alkamal-gw-03# configure terminal
msk-alkamal-gw-03(config)# ipv6 forwarding
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 address 2001:db8:1:2::2/64
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 address 2001:db8:1:4::1/64
msk-alkamal-gw-03(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-03# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-03
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
    ip address 10.10.1.6/30
    ipv6 address 2001:db8:1:2::2/64
exit
!
interface eth1
    ip address 10.10.1.17/30
    ipv6 address 2001:db8:1:4::1/64
exit
!
end
```

Рисунок 6.9: Настройка IPv6-адресов интерфейсов eth0 и eth1 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

- Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 выполнено включение IPv6 forwarding и назначение IPv6-адресов. Интерфейсу eth0 присвоен адрес 2001:db8:1:3::1/64, интерфейсу eth1 — адрес 2001:db8:1:5::1/64. После активации интерфейсов конфигурация сохранена и проверена (рис. 6.10).

```

msk-alkamal-gw-04# configure terminal
msk-alkamal-gw-04(config)# ipv6 forwarding
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ipv6 address 2001:db8:1:3::1/64
msk-alkamal-gw-04(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ipv6 address 2001:db8:1:5::1/64
msk-alkamal-gw-04(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-04# show running-config
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-alkamal-gw-04
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
    ip address 10.10.1.9/30
    ipv6 address 2001:db8:1:3::1/64
exit
!
interface eth1
    ip address 10.10.1.34/30
    ipv6 address 2001:db8:1:5::1/64
exit
!
end

```

Рисунок 6.10: Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

- Назначение IPv6-адреса на узле PC1-alkamal

На узле PC1-alkamal вручную задан глобальный IPv6-адрес 2001:db8:1:1::a/64. Конфигурация сохранена, после чего выполнена проверка параметров командой `show ipv6`, подтвердившая наличие link-local и global IPv6-адресов (рис. 6.11).

```
PC1-alkamal> ip 2001:db8:1:1::a/64
PC1 : 2001:db8:1:1::a/64

PC1-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC1-alkamal> show ipv6

NAME          : PC1-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6800/64
GLOBAL SCOPE   : 2001:db8:1:1::a/64
DNS           :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC           : 00:50:79:66:68:00
LPORT          : 20016
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:20017
MTU            : 1500
```

Рисунок 6.11: Настройка и проверка IPv6-адреса на узле PC1-alkamal

- Назначение IPv6-адреса на узле PC2-alkamal

На узле PC2-alkamal выполнена настройка IPv6-адреса 2001:db8:1:6::a/64. После сохранения конфигурации произведён вывод текущих IPv6-параметров, подтверждающий корректное назначение адреса и формирование link-local адреса (рис. 6.12).

```
PC2-alkamal> ip 2001:db8:1:6::a/64
PC1 : 2001:db8:1:6::a/64

PC2-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC2-alkamal> show ipv6

NAME : PC2-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE : 2001:db8:1:6::a/64
DNS :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC : 00:50:79:66:68:01
LPORT : 20018
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20019
MTU : 1500
```

Рисунок 6.12: Настройка и проверка IPv6-адреса на узле PC2-alkamal

- Настройка и проверка RIP v2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнена настройка динамической маршрутизации по протоколу RIP версии 2. В процесс RIP добавлены интерфейсы eth0, eth1 и eth2. После сохранения конфигурации выполнена проверка таблицы маршрутизации, в которой зафиксировано получение маршрутов 10.10.1.16/30 и 10.10.1.64/28 с указанием следующего узла 10.10.1.6 и соответствующих метрик. Состояние RIP подтверждено выводом параметров протокола и источника маршрутной информации (рис. 6.13).

```

msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# router rip
msk-alkamal-gw-01(config-router)# version 2
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network eth2
msk-alkamal-gw-01(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-01# show ip route rip
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
       T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
       f - OpenFabric,
       > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - b
       t - trapped, o - offload failure

R>* 10.10.1.16/30 [120/2] via 10.10.1.6, eth1, weight 1, 00:01:11
R>* 10.10.1.64/28 [120/3] via 10.10.1.6, eth1, weight 1, 00:01:06
msk-alkamal-gw-01# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
      (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
      (i) - interface

      Network          Next Hop           Metric From        Tag Time
C(i) 10.10.1.4/30    0.0.0.0            1 self           0
R(n) 10.10.1.16/30   10.10.1.6          2 10.10.1.6      0 02:35
R(n) 10.10.1.64/28   10.10.1.6          3 10.10.1.6      0 02:35
C(i) 10.10.1.96/27   0.0.0.0            1 self           0
msk-alkamal-gw-01# show ip rip status
Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds with +/-50%, next due in 0 seconds
  Timeout after 180 seconds, garbage collect after 120 seconds
  Outgoing update filter list for all interface is not set
  Incoming update filter list for all interface is not set
  Default redistribution metric is 1
  Redistributing:
    Default version control: send version 2, receive version 2
      Interface      Send  Recv  Key-chain
      eth0          2     2
      eth1          2     2
  Routing for Networks:
    eth0
    eth1
    eth2
  Routing Information Sources:
    Gateway      BadPackets BadRoutes Distance Last Update
    10.10.1.6        0         0       120  00:00:31
Distance: (default is 120)

```

Рисунок 6.13: Настройка RIP v2 и проверка таблицы маршрутизации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

- Настройка и проверка RIP v2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 настроен протокол RIP версии 2 с включением интерфейсов eth0, eth1 и eth2. После применения конфигурации в таблице RIP отображаются удалённые сети 10.10.1.4/30 и 10.10.1.96/27, полученные

от маршрутизатора с адресом 10.10.1.17. Вывод состояния RIP подтверждает корректный обмен маршрутной информацией и работу протокола на всех задействованных интерфейсах (рис. 6.14).

```

msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# router rip
msk-alkamal-gw-02(config-router)# version 2
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network eth2
msk-alkamal-gw-02(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# exit
msk-alkamal-gw-02# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-02# show ip route rip
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
       T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
       f - OpenFabric,
       > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
       t - trapped, o - offload failure

R>* 10.10.1.4/30 [120/2] via 10.10.1.17, eth1, weight 1, 00:12:23
R>* 10.10.1.96/27 [120/3] via 10.10.1.17, eth1, weight 1, 00:12:23
msk-alkamal-gw-02# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
      (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
      (i) - interface

      Network          Next Hop          Metric From        Tag Time
R(n) 10.10.1.4/30    10.10.1.17        2 10.10.1.17      0 02:35
C(i) 10.10.1.16/30   0.0.0.0           1 self            0
C(i) 10.10.1.32/30   0.0.0.0           1 self            0
C(i) 10.10.1.64/28   0.0.0.0           1 self            0
R(n) 10.10.1.96/27   10.10.1.17        3 10.10.1.17      0 02:35
msk-alkamal-gw-02# show ip rip status
Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds with +/-50%, next due in 14 seconds
  Timeout after 180 seconds, garbage collect after 120 seconds
  Outgoing update filter list for all interface is not set
  Incoming update filter list for all interface is not set
  Default redistribution metric is 1
  Redistributing:
    Default version control: send version 2, receive version 2
      Interface      Send  Recv  Key-chain
      eth0          2     2
      eth1          2     2
      eth2          2     2
  Routing for Networks:
    eth0
    eth1
    eth2
  Routing Information Sources:
    Gateway      BadPackets  BadRoutes  Distance Last Update
    10.10.1.17        0          0        120  00:00:29
  Distance: (default is 120)

```

Рисунок 6.14: Настройка RIP v2 и анализ полученных маршрутов на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

- Настройка и проверка RIP v2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 выполнена настройка RIP версии

2 с добавлением интерфейсов eth0, eth1 и eth2. В таблице маршрутизации зафиксировано получение маршрутов к сетям 10.10.1.64/28 и 10.10.1.96/27 через соседние маршрутизаторы 10.10.1.18 и 10.10.1.5. Состояние RIP подтверждает регулярную рассылку обновлений и наличие двух источников маршрутной информации (рис. 6.15).

```

msk-alkamal-gw-03# configure terminal
msk-alkamal-gw-03(config)# router rip
msk-alkamal-gw-03(config-router)# version 2
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network eth2
msk-alkamal-gw-03(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-03# show ip route rip
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
       T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
       f - OpenFabric,
       > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
       t - trapped, o - offload failure

R>* 10.10.1.64/28 [120/2] via 10.10.1.18, eth1, weight 1, 00:02:03
R>* 10.10.1.96/27 [120/2] via 10.10.1.5, eth0, weight 1, 00:02:08
msk-alkamal-gw-03# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
      (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
      (i) - interface

      Network          Next Hop          Metric From           Tag Time
C(i) 10.10.1.4/30    0.0.0.0            1 self              0
C(i) 10.10.1.16/30   0.0.0.0            1 self              0
R(n) 10.10.1.64/28   10.10.1.18         2 10.10.1.18      0 02:29
R(n) 10.10.1.96/27   10.10.1.5          2 10.10.1.5      0 02:37
msk-alkamal-gw-03# show ip rip status
Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds with +/-50%, next due in 12 seconds
  Timeout after 180 seconds, garbage collect after 120 seconds
  Outgoing update filter list for all interface is not set
  Incoming update filter list for all interface is not set
  Default redistribution metric is 1
  Default redistribution metric is 1
  Redistributing:
  Default version control: send version 2, receive version 2
    Interface      Send  Recv  Key-chain
    eth0          2     2
    eth1          2     2
  Routing for Networks:
    eth0
    eth1
    eth2
  Routing Information Sources:
    Gateway      BadPackets BadRoutes Distance Last Update
    10.10.1.5        0        0       120  00:00:02
    10.10.1.18        0        0       120  00:00:35
  Distance: (default is 120)

```

Рисунок 6.15: Настройка RIP v2 и проверка маршрутной информации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

- Настройка и проверка RIP v2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 настроен протокол RIP версии 2 с участием интерфейсов eth0 и eth1. В таблице RIP отображаются только непосредственно подключённые сети 10.10.1.8/30 и 10.10.1.32/30, что соответствует текущему состоянию маршрутизатора. Вывод параметров протокола подтверждает активную работу RIP и корректную конфигурацию версий отправки и приёма обновлений (рис. 6.16).

```

msk-alkamal-gw-04# configure terminal
msk-alkamal-gw-04(config)# router rip
msk-alkamal-gw-04(config-router)# version 2
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-04(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-04# show ip route rip
msk-alkamal-gw-04# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
    (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
    (i) - interface

      Network          Next Hop          Metric From           Tag Time
C(i) 10.10.1.8/30    0.0.0.0            1 self              0
C(i) 10.10.1.32/30   0.0.0.0            1 self              0
msk-alkamal-gw-04# show ip rip status
Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds with +/-50%, next due in 15 seconds
  Timeout after 180 seconds, garbage collect after 120 seconds
  Outgoing update filter list for all interface is not set
  Incoming update filter list for all interface is not set
  Default redistribution metric is 1
  Default redistributing:
  Default version control: send version 2, receive version 2
    Interface      Send  Recv  Key-chain
      eth0         2     2
      eth1         2     2
  Routing for Networks:
    eth0
    eth1
  Routing Information Sources:
    Gateway      BadPackets BadRoutes Distance Last Update
  Distance: (default is 120)

```

Рисунок 6.16: Настройка RIP v2 и проверка состояния протокола на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

- Проверка IPv4-связности и пути следования пакетов между PC1-alkamal и PC2-alkamal

С узла PC1-alkamal выполнена проверка связности с узлом PC2-alkamal командой ping 10.10.1.66. Получены ответы на все эхо-запросы без потерь пакетов, что подтверждает корректную маршрутизацию IPv4 между конечными

узлами. Для определения пути следования пакетов выполнена команда `trace 10.10.1.66 -P 6`, в результате которой зафиксировано прохождение трафика через узлы 10.10.1.97, 10.10.1.6 и 10.10.1.18 с последующим достижением адреса назначения 10.10.1.66 (рис. 6.17).

```
PC1-alkamal> ping 10.10.1.66
84 bytes from 10.10.1.66 icmp_seq=1 ttl=61 time=13.710 ms
84 bytes from 10.10.1.66 icmp_seq=2 ttl=61 time=15.474 ms
84 bytes from 10.10.1.66 icmp_seq=3 ttl=61 time=9.181 ms
84 bytes from 10.10.1.66 icmp_seq=4 ttl=61 time=9.979 ms
84 bytes from 10.10.1.66 icmp_seq=5 ttl=61 time=10.837 ms

PC1-alkamal> trace 10.10.1.66 -P 6
trace to 10.10.1.66, 8 hops max (TCP), press Ctrl+C to stop
 1  10.10.1.97  3.595 ms  1.092 ms  0.721 ms
 2  10.10.1.6  5.762 ms  3.229 ms  1.876 ms
 3  10.10.1.18  6.943 ms  4.577 ms  4.417 ms
 4  10.10.1.66  6.894 ms  6.801 ms  12.594 ms
```

Рисунок 6.17: Проверка IPv4-связности и трассировка маршрута с PC1-alkamal до PC2-alkamal

- Анализ таблицы маршрутизации RIP на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнен анализ состояния протокола RIP командой `show ip rip`. В таблице отображаются непосредственно подключённые сети 10.10.1.4/30 и 10.10.1.96/27, а также динамически полученные маршруты 10.10.1.16/30, 10.10.1.32/30 и 10.10.1.64/28 с указанием следующего узла 10.10.1.6 и соответствующих метрик. Наличие данных записей подтверждает корректный обмен маршрутной информацией по протоколу RIP и согласованность таблицы маршрутизации с результатами трассировки (рис. 6.18).

```
msk-alkamal-gw-01# show ip rip
Codes: R - RIP, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP
Sub-codes:
  (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute,
  (i) - interface

      Network          Next Hop           Metric From          Tag Time
C(i) 10.10.1.4/30    0.0.0.0            1 self              0
R(n) 10.10.1.16/30   10.10.1.6          2 10.10.1.6        0 02:27
R(n) 10.10.1.32/30   10.10.1.6          3 10.10.1.6        0 02:27
R(n) 10.10.1.64/28   10.10.1.6          3 10.10.1.6        0 02:27
C(i) 10.10.1.96/27   0.0.0.0            1 self              0
msk-alkamal-gw-01#
```

Рисунок 6.18: Таблица маршрутизации RIP на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

- Настройка RIPng на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнена настройка динамической маршрутизации IPv6 с использованием протокола RIPng. В процесс RIPng добавлены интерфейсы eth0, eth1 и eth2, что обеспечивает участие всех IPv6-сегментов, подключённых к маршрутизатору, в обмене маршрутной информацией. После завершения конфигурирования параметры сохранены в постоянную память (рис. 6.19).

```
msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# router ripng
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network eth2
msk-alkamal-gw-01(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 6.19: Настройка RIPng и добавление интерфейсов на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

- Настройка RIPng на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 активирован протокол RIPng для поддержки динамической маршрутизации IPv6. В конфигурацию RIPng включены интерфейсы eth0 и eth1, через которые осуществляется обмен маршрутной информацией с соседними маршрутизаторами. Конфигурация сохранена командой write memory, что подтверждает завершение этапа настройки (рис. 6.20).

```
msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# router ripng
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-02(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 6.20: Настройка RIPng на интерфейсах eth0 и eth1 маршрутизатора msk-alkamal-gw-02

- Настройка RIPng на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 выполнено включение RIPng с добавлением интерфейсов eth0, eth1 и eth2. Данная конфигурация обеспечивает распространение маршрутов IPv6 между всеми подключёнными сегментами сети. После применения настроек конфигурация сохранена, что фиксирует корректную инициализацию протокола RIPng на маршрутизаторе (рис. 6.21).

```
msk-alkamal-gw-03# configure terminal
msk-alkamal-gw-03(config)# router ripng
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network eth2
msk-alkamal-gw-03(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 6.21: Настройка RIPng и сохранение конфигурации на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

- Завершение настройки RIPng на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 выполнено включение протокола динамической маршрутизации IPv6 RIPng. В процесс RIPng добавлены интерфейсы eth0 и eth1, что обеспечивает участие соответствующих IPv6-сегментов в обмене маршрутной информацией. После завершения конфигурирования настройки сохранены в постоянную память командой `write memory` (рис. 6.22).

```
msk-alkamal-gw-04# configure terminal
msk-alkamal-gw-04(config)# router ripng
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network eth0
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network eth1
msk-alkamal-gw-04(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 6.22: Настройка RIPng на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

- Проверка IPv6-связности и трассировка маршрута с узла PC1-alkamal

С узла PC1-alkamal выполнена проверка связности IPv6 с узлом PC2-alkamal командой `ping 2001:db8:1:6::a`. Эхо-ответы не получены, что указывает на отсутствие сквозной IPv6-связности на момент проверки. Для анализа пути следования пакетов выполнена команда `trace 2001:db8:1:6::a`, в результате которой зафиксировано прохождение пакетов через узлы с адресами 2001:db8:1:1::1, 2001:db8:1:2::2 и 2001:db8:1:4::2, после чего дальнейшая доставка пакетов не была завершена (рис. 6.23).

```
PC1-alkamal> ping 2001:db8:1:6::a
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=1 timeout
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=2 timeout
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=3 timeout
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=4 timeout
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=5 timeout

PC1-alkamal> trace 2001:db8:1:6::a
trace to 2001:db8:1:6::a, 64 hops max
 1 2001:db8:1:1::1  2.719 ms  1.440 ms  2.363 ms
 2 2001:db8:1:2::2  8.309 ms  3.852 ms  4.251 ms
 3 2001:db8:1:4::2  9.765 ms  7.207 ms  17.966 ms
 4 * 22.435 ms  995.958 ms
```

Рисунок 6.23: Проверка IPv6-связности и трассировка маршрута с PC1-alkamal

- Анализ таблицы маршрутизации RIPng на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнен анализ таблицы маршрутизации RIPng с помощью команды `show ipv6 ripng`. В таблице присутствуют непосредственно подключённые сети 2001:db8:1:1::/64 и 2001:db8:1:2::/64, а также динамически полученные маршруты к сетям 2001:db8:1:4::/64 и 2001:db8:1:6::/64 через link-local адрес следующего узла fe80::e7f:63ff:feb4:0 по интерфейсу eth1. Данные записи подтверждают корректное распространение IPv6-маршрутов по протоколу RIPng (рис. 6.24).

Codes: R - RIPng, C - connected, S - Static, O - OSPF, B - BGP Sub-codes: (n) - normal, (s) - static, (d) - default, (r) - redistribute, (i) - interface, (a/S) - aggregated/Suppressed						
Network	Next Hop	Via	Metric	Tag	Time	
C(i) 2001:db8:1:1::/64	::	self	1	0		
C(i) 2001:db8:1:2::/64	::	self	1	0		
R(n) 2001:db8:1:4::/64	fe80::e7f:63ff:feb4:0	eth1	2	0	02:50	
R(n) 2001:db8:1:6::/64	fe80::e7f:63ff:feb4:0	eth1	3	0	02:50	

Рисунок 6.24: Таблица маршрутизации RIPng на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

- Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнена настройка динамической маршрутизации IPv4 по протоколу OSPF. В область 0.0.0 добавлены сети 10.10.1.96/27 и 10.10.1.4/30. После завершения конфигурирования параметры сохранены в постоянную память командой `write memory` (рис. 6.25).

```
msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# router ospf
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network 10.10.1.96/27 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-01(config-router)# network 10.10.1.4/30 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-01(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-01#
```

Рисунок 6.25: Настройка OSPFv2 и добавление сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

- Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 выполнена настройка протокола OSPF с включением сетей 10.10.1.64/28, 10.10.1.16/30 и 10.10.1.32/30 в область 0.0.0. Конфигурация сохранена, что завершает этап инициализации OSPF на данном маршрутизаторе (рис. 6.26).

```

msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# router ospf
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network 10.10.1.64/28 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network 10.10.1.16/30 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-02(config-router)# network 10.10.1.32/30 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-02(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# exit
msk-alkamal-gw-02# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]

```

Рисунок 6.26: Настройка OSPFv2 и объявление сетей на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

- Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 настроен протокол OSPF с добавлением сетей 10.10.1.4/30 и 10.10.1.16/30 в магистральную область 0.0.0.0. После применения конфигурации параметры сохранены в постоянную память (рис. 6.27).

```

msk-alkamal-gw-03# configure terminal
msk-alkamal-gw-03(config)# router ospf
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network 10.10.1.4/30 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-03(config-router)# network 10.10.1.16/30 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-03(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]

```

Рисунок 6.27: Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

- Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 выполнена настройка OSPF с включением сетей 10.10.1.8/30 и 10.10.1.32/30 в область 0.0.0.0. Конфигурация сохранена, что завершает настройку OSPF на всех маршрутизаторах топологии (рис. 6.28).

```

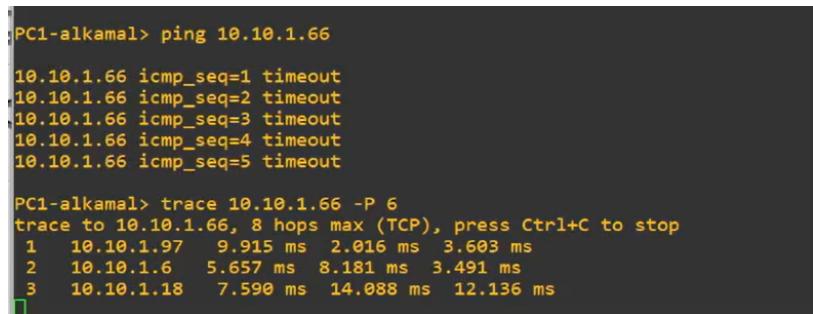
[OK]
msk-alkamal-gw-04# configure terminal
msk-alkamal-gw-04(config)# router ospf
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network 10.10.1.8/30 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-04(config-router)# network 10.10.1.32/30 area 0.0.0.0
msk-alkamal-gw-04(config-router)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-04#

```

Рисунок 6.28: Настройка OSPFv2 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

- Проверка IPv4-связности и трассировка маршрута при работе OSPF

С узла PC1-alkamal выполнена проверка связности с узлом PC2-alkamal командой `ping 10.10.1.66`. Эхо-ответы не получены, что указывает на отсутствие сквозной IPv4-связности на момент проверки. Команда `trace 10.10.1.66 -P 6` показала прохождение пакетов через маршрутизаторы с адресами 10.10.1.97, 10.10.1.6 и 10.10.1.18, после чего доставка пакетов не была завершена (рис. 6.29).



```

PC1-alkamal> ping 10.10.1.66
10.10.1.66 icmp_seq=1 timeout
10.10.1.66 icmp_seq=2 timeout
10.10.1.66 icmp_seq=3 timeout
10.10.1.66 icmp_seq=4 timeout
10.10.1.66 icmp_seq=5 timeout

PC1-alkamal> trace 10.10.1.66 -P 6
trace to 10.10.1.66, 8 hops max (TCP), press Ctrl+C to stop
 1  10.10.1.97   9.915 ms  2.016 ms  3.603 ms
 2  10.10.1.6   5.657 ms  8.181 ms  3.491 ms
 3  10.10.1.18   7.590 ms  14.088 ms  12.136 ms

```

Рисунок 6.29: Проверка IPv4-связности и трассировка маршрута при использовании OSPF

- Анализ соседства и таблицы маршрутизации OSPF на msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнена проверка состояния OSPF. В таблице соседей зафиксировано установленное соседство с маршрутизатором с идентификатором 10.10.1.17 в состоянии Full/Backup. Таблица маршрутизации OSPF содержит непосредственно подключённые сети 10.10.1.4/30 и 10.10.1.96/27, а также сети 10.10.1.16/30, 10.10.1.32/30 и 10.10.1.64/28, полученные через следующий узел 10.10.1.6. Данные подтверждают корректный обмен маршрутной информацией по протоколу OSPF (рис. 6.30).

```

msk-alkamal-gw-01# show ip ospf neighbor
Neighbor ID      Pri State        Up Time       Dead Time Address          Interface          RXmtL Rq
stl DBsmI        1 Full/Backup   2m14s        31.105s 10.10.1.6        eth1:10.10.1.5          0
0     0

msk-alkamal-gw-01# show ip ospf route
=====
N 10.10.1.4/30      [100] area: 0.0.0.0
via 10.10.1.6, eth1
N 10.10.1.16/30     [200] area: 0.0.0.0
via 10.10.1.6, eth1
N 10.10.1.32/30     [300] area: 0.0.0.0
via 10.10.1.6, eth1
N 10.10.1.64/28     [300] area: 0.0.0.0
via 10.10.1.6, eth1
N 10.10.1.96/27     [100] area: 0.0.0.0
directly attached to eth0
=====
===== OSPF router routing table =====
===== OSPF external routing table =====

```

Рисунок 6.30: Соседство и таблица маршрутизации OSPF на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

- Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнена настройка динамической маршрутизации IPv6 по протоколу OSPFv3. Задан идентификатор маршрутизатора 1.1.1.1, после чего на интерфейсах eth0 и eth1 включено участие в области OSPFv3 с номером 0. Конфигурация сохранена в постоянную память командой write memory (рис. 6.31).

```

msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# router ospf6
msk-alkamal-gw-01(config-ospf6)# ospf6 router-id 1.1.1.1
msk-alkamal-gw-01(config-ospf6)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]

```

Рисунок 6.31: Настройка OSPFv3 и назначение router-id на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

- Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02 выполнено включение протокола OSPFv3 с назначением идентификатора маршрутизатора 2.2.2.2. Интерфейсы eth0 и eth1 добавлены в область OSPFv3 0. В процессе конфигурирования зафиксировано

сообщение об ошибке при вводе команды сохранения конфигурации из режима конфигурирования, после чего настройка была продолжена (рис. 6.32).

```
msk-alkamal-gw-02# configure terminal
msk-alkamal-gw-02(config)# router ospf6
msk-alkamal-gw-02(config-ospf6)# ospf6 router-id 2.2.2.2
msk-alkamal-gw-02(config-ospf6)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-02(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-02(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-02(config)# write memory
% Unknown command:  write memory
msk-alkamal-gw-02(config)# █
```

Рисунок 6.32: Настройка OSPFv3 и добавление интерфейсов на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-02

- Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03 настроен протокол OSPFv3 с идентификатором маршрутизатора 3 . 3 . 3 . 3. Интерфейсы eth0 и eth1 подключены к области 0, что обеспечивает участие маршрутизатора в обмене IPv6-маршрутами. Конфигурация успешно сохранена (рис. 6.33).

```
msk-alkamal-gw-03# configure terminal
msk-alkamal-gw-03(config)# router ospf6
msk-alkamal-gw-03(config-ospf6)# ospf6 router-id 3.3.3.3
msk-alkamal-gw-03(config-ospf6)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-03(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-03(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-03(config)# exit
msk-alkamal-gw-03# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 6.33: Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-03

- Настройка OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04 выполнена настройка OSPFv3 с назначением router-id 4.4.4.4. Интерфейсы eth0 и eth1 включены в область OSPFv3 0. После завершения конфигурирования параметры сохранены в постоянную память (рис. 6.34).

```
msk-alkamal-gw-04# configure terminal
msk-alkamal-gw-04(config)# router ospf6
msk-alkamal-gw-04(config-ospf6)# ospf6 router-id 4.4.4.4
msk-alkamal-gw-04(config-ospf6)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-04(config-if)# ipv6 ospf6 area 0
msk-alkamal-gw-04(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-04(config)# exit
msk-alkamal-gw-04# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
```

Рисунок 6.34: Настройка OSPFv3 и назначение router-id на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-04

- Проверка IPv6-связности и трассировка маршрута при использовании OSPFv3

С узла PC1-alkamal выполнена проверка IPv6-связности с узлом PC2-alkamal командой ping 2001:db8:1:6::a. Эхо-ответы не получены. Для анализа пути следования пакетов выполнена команда trace 2001:db8:1:6::a, в результате которой зафиксировано прохождение пакетов через маршрутизаторы с адресами 2001:db8:1:1::1, 2001:db8:1:2::2 и 2001:db8:1:4::2, после чего дальнейшая доставка пакетов не была завершена (рис. 6.35).

```

PC1-alkamal> ping 2001:db8:1:6::a
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=1 timeout
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=2 timeout
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=3 timeout
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=4 timeout
2001:db8:1:6::a icmp6_seq=5 timeout

PC1-alkamal> trace 2001:db8:1:6::a
trace to 2001:db8:1:6::a, 64 hops max
 1 2001:db8:1:1::1    2.517 ms  2.367 ms  2.154 ms
 2 2001:db8:1:2::2    5.335 ms  6.487 ms  2.546 ms
 3 2001:db8:1:4::2    3.078 ms  4.495 ms  8.913 ms
 4 * 9.889 ms

```

Рисунок 6.35: Проверка IPv6-связности и трассировка маршрута при использовании OSPFv3

- Анализ соседства и таблицы маршрутизации OSPFv3 на msk-alkamal-gw-01

На маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01 выполнена проверка состояния OSPFv3. В таблице соседей зафиксировано установленное соседство с маршрутизатором, имеющим идентификатор 3 . 3 . 3 . 3, в состоянии Full/BDR. Таблица маршрутизации OSPFv3 содержит IPv6-префиксы 2001:db8:1:1::/64 и 2001:db8:1:2::/64 как непосредственно подключённые, а также маршруты к сетям 2001:db8:1:4::/64 и 2001:db8:1:6::/64, полученные через link-local адрес следующего узла по интерфейсу eth1. Данные подтверждают корректное формирование базы маршрутов OSPFv3 (рис. 6.36).

```

msk-alkamal-gw-01# show ipv6 ospf6 neighbor
Neighbor ID      Pri   DeadTime     State/IfState          Duration I/F[State]
3.3.3.3           1     00:00:33   Full/BDR               00:02:24 eth1[DR]
msk-alkamal-gw-01# show ipv6 ospf6 route
*N IA 2001:db8:1:1::/64      ::                           eth0 00:02:03
*N IA 2001:db8:1:2::/64      ::                           eth1 00:02:03
*N IA 2001:db8:1:4::/64      fe80::e7f:63ff:feb4:0   eth1 00:02:03
*N IA 2001:db8:1:6::/64      fe80::e7f:63ff:feb4:0   eth1 00:02:03
msk-alkamal-gw-01#

```

Рисунок 6.36: Соседство и таблица маршрутизации OSPFv3 на маршрутизаторе msk-alkamal-gw-01

## **7 Выводы**

В ходе выполнения лабораторной работы была смоделирована сеть с поддержкой IPv4 и IPv6 в среде GNS3 и выполнена настройка адресации в соответствии с заданной топологией и таблицами адресов. Были настроены и исследованы протоколы динамической маршрутизации RIP/RIPng и OSPFv2/OSPFv3, а также проверены таблицы маршрутизации, соседство и пути прохождения пакетов. Экспериментально подтверждена работа механизмов динамической маршрутизации и их реакция на изменение состояния интерфейсов, а также особенности маршрутизации в сетях IPv4 и IPv6. Полученные результаты соответствуют поставленной цели работы и требованиям задания.