

Отчёт по лабораторной работе 6

Адресация IPv4 и IPv6. Двойной стек

Хамди Мохаммад

Содержание

1	Цель работы	5
2	Ход выполнения	6
2.1	Разбиение IPv4-сети на подсети	6
2.1.1	Сеть 172.16.20.0/24	6
2.1.2	Сеть 10.10.1.64/26	7
2.1.3	Сеть 10.10.1.0/26	7
2.2	Разбиение IPv6-сети на подсети	8
2.2.1	Сеть 2001:db8:c0de::/48	8
2.2.2	Сеть 2a02:6b8::/64	9
2.3	Настройка двойного стека адресации IPv4 и IPv6 в локальной сети	10
2.4	Самостоятельная часть	23
2.4.1	Подсеть 1 — IPv4 10.10.1.96/27	23
2.4.2	Подсеть 2 — IPv4 10.10.1.16/28	24
2.4.3	Подсети IPv6	24
2.4.4	Таблица адресации	24
2.4.5	Настройка адресации	25
2.4.6	Проверка связности	28
3	Заключение	29

Список иллюстраций

2.1	Топология сети	10
2.2	Конфигурация IP на PC1	11
2.3	Конфигурация сервера	12
2.4	Конфигурация IP на PC2	13
2.5	Настройка FRR	14
2.6	Проверка running-config	14
2.7	Проверка связности PC1	15
2.8	Конфигурация PC3	16
2.9	Конфигурация PC4	16
2.10	Конфигурация IPv6 сервера	17
2.11	Переименование маршрутизатора VyOS	17
2.12	Настройка IPv6 интерфейсов VyOS	18
2.13	Вывод show interfaces	19
2.14	Ping PC3	19
2.15	Пинг с сервера Dual Stack	20
2.16	ARP-трафик	21
2.17	ICMP IPv4 трафик	22
2.18	ICMPv6 трафик	23
2.19	Топология двух подсетей	25
2.20	PC2: show ip/ipv6	27
2.21	VyOS: интерфейсы	27
2.22	Проверка ping	28

Список таблиц

1 Цель работы

Изучение принципов распределения и настройки адресного пространства на устройствах сети.

2 Ход выполнения

2.1 Разбиение IPv4-сети на подсети

2.1.1 Сеть 172.16.20.0/24

Характеристики исходной сети - Префикс: /24 - Маска: 255.255.255.0 - Широковещательный (broadcast): 172.16.20.255 - Диапазон узлов: 172.16.20.1 - 172.16.20.254 - (Классическая модель) Базовая сеть класса В 172.16.0.0/16, занято под подсеть 24 - 16 = 8 бит → **число подсетей: $2^8 = 256$**

Требование: разбить на 3 подсети с максимально возможным числом узлов: **126, 62, 62.**

Это VLSM: /25 (126 хостов) + два /26 (по 62 хоста).

Подсеть	Префикс	Маска	Сетевой	Диапа-	Broadcast	Число
				зон узлов		
1	/25	255.255.255.0	172.16.20.0	172.16.20.1 - 172.16.20.126	172.16.20.127	126
2	/26	255.255.255.0	172.16.20.128	172.16.20.129 - 172.16.20.190	172.16.20.191	62

Подсеть	Префикс	Маска	Сетевой	Диапа- зон узлов	Broadcast	Число узлов
3	/26	255.255.255.192	10.10.1.64	10.10.1.65 - 10.10.1.126	10.10.1.127	62
				-	172.16.20.254	

2.1.2 Сеть 10.10.1.64/26

Характеристики исходной сети - Префикс: /26 - Маска: 255.255.255.192 - Сетевой адрес: 10.10.1.64 (шаг 64) - Диапазон узлов: 10.10.1.65 - 10.10.1.126 - Broadcast: 10.10.1.127 - (Классическая модель) Базовая сеть класса А 10.0.0.0/8, занято 26 - 8 = 18 бит → **число подсетей: $2^{18} = 262\ 144$**

Выделить подсеть на 30 узлов. Нужен префикс /27 (32 адреса, 30 узлов). Возьмём первую половину данной /26:

Параметр	Значение
Подсеть для 30 узлов	10.10.1.64/27
Маска	255.255.255.224
Сетевой	10.10.1.64
Диапазон узлов	10.10.1.65 - 10.10.1.94
Broadcast	10.10.1.95
Кол-во узлов	30

2.1.3 Сеть 10.10.1.0/26

Характеристики исходной сети - Префикс: /26 - Маска: 255.255.255.192 - Сетевой адрес: 10.10.1.0 - Диапазон узлов: 10.10.1.1 - 10.10.1.62 - Broadcast: 10.10.1.63 - (Классическая модель) Базовая сеть класса А 10.0.0.0/8, занято 26

- 8 = 18 бит → **число подсетей: $2^{18} = 262\ 144$**

Выделить подсеть на 14 узлов. Нужен префикс /28 (16 адресов, 14 узлов).

Берём первую /28 внутри данной /26:

Параметр	Значение
Подсеть для 14 узлов	10.10.1.0/28
Маска	255.255.255.240
Сетевой	10.10.1.0
Диапазон узлов	10.10.1.1 – 10.10.1.14
Broadcast	10.10.1.15
Кол-во узлов	14

2.2 Разбиение IPv6-сети на подсети

2.2.1 Сеть 2001:db8:c0de::/48

Характеристики - Префикс: /48 - Маска (битовая форма): ffff:ffff:ffff:0000:0000:0000:0000:0000

- Сетевой адрес: 2001:db8:c0de:0000:0000:0000:0000:0000 - Диапазон адресов в сети (краевые значения): - минимальный хост в первом /64: 2001:db8:c0de:0::1

- максимальный адрес сети: 2001:db8:c0de:ffff:ffff:ffff:ffff:ffff - Внутри /48 по стандартной практике формируются подсети /64 (16 бит Subnet ID) → **65 536** подсетей /64.

Разбиение с использованием идентификатора подсети (Subnet ID)

Занимаем 1 старший бит поля Subnet ID (из 16 бит), получаем **две сети /49**:

1. 2001:db8:c0de:0000::/49 — охватывает Subnet ID 0x0000 ... 0x7fff

- крайние /64 внутри диапазона: 2001:db8:c0de:0000::/64 ... 2001:db8:c0de:7fff::/64

2. 2001:db8:c0de:8000::/49 — охватывает Subnet ID 0x8000 ... 0xffff

- крайние /64 внутри диапазона: 2001:db8:c0de:8000::/64 ... 2001:db8:c0de:ffff::/64

Разбиение с использованием идентификатора интерфейса (Interface ID)

Берём один конкретный /64 из /48 (например, 2001:db8:c0de:0::/64) и делим его, отодвигая 1 старший бит из 64-битного **Interface ID** → получаем **две сети /65**:

1. 2001:db8:c0de:0:0000:0000:0000:0000/65

- хост-диапазон: ...:0—...:7fff:ffff:ffff:ffff

2. 2001:db8:c0de:0:8000:0000:0000:0000/65

- хост-диапазон: ...:8000:0000:0000:0000—...:ffff:ffff:ffff:ffff

2.2.2 Сеть 2a02:6b8::/64

Характеристики - Префикс: /64 - Маска (битовая форма): ffff:ffff:ffff:ffff:0000:0000:0000:0000
- Сетевой адрес: 2a02:6b8:0000:0000:0000:0000:0000:0000 - Диапазон адресов узлов: - минимальный хост: 2a02:6b8::1 - максимальный хост: 2a02:6b8::ffff:ffff:ffff:ffff - Внутри /64 поле Subnet ID отсутствует (всё «нижние» 64 бита — Interface ID).

Разбиение с использованием идентификатора подсети

Неприменимо напрямую к /64. В сети /64 нет оставшихся бит Subnet ID — поле Subnet ID уже исчерпано.

Если доступна **родительская аллокация /48** (например, 2a02:6b8::/48), тогда разбиение по Subnet ID дало бы два /49 или два /64 с разными Subnet ID, например: - 2a02:6b8:0::/64 и 2a02:6b8:1::/64 (пример при наличии /48).

Разбиение с использованием идентификатора интерфейса

Делим предоставленную сеть /64, занимая 1 бит из Interface ID → **две сети /65**:

1. 2a02:6b8:0:0:0000:0000:0000:0000/65

- хост-диапазон: ...:0—...:7fff:ffff:ffff:ffff

2. 2a02:6b8:0:0:8000:0000:0000:0000/65

- хост-диапазон: ...:8000:0000:0000:0000—...:ffff:ffff:ffff:ffff

2.3 Настройка двойного стека адресации IPv4 и IPv6 в локальной сети

1. Запущены GNS3 VM и GNS3, создан новый проект.
2. В рабочей области размещены устройства согласно топологии:
 - Коммутаторы: msk-hamdimohammad-sw-01 ... msk-hamdimohammad-sw-05
 - Маршрутизаторы: msk-hamdimohammad-gw-01 (FRR), msk-hamdimohammad-gw-02 (VyOS)
 - Узлы VPCS: PC1-hamdimohammad, PC2-hamdimohammad, PC3-hamdimohammad, PC4-hamdimohammad, Server-hamdimohammad

Устройства соединены линками согласно схеме.

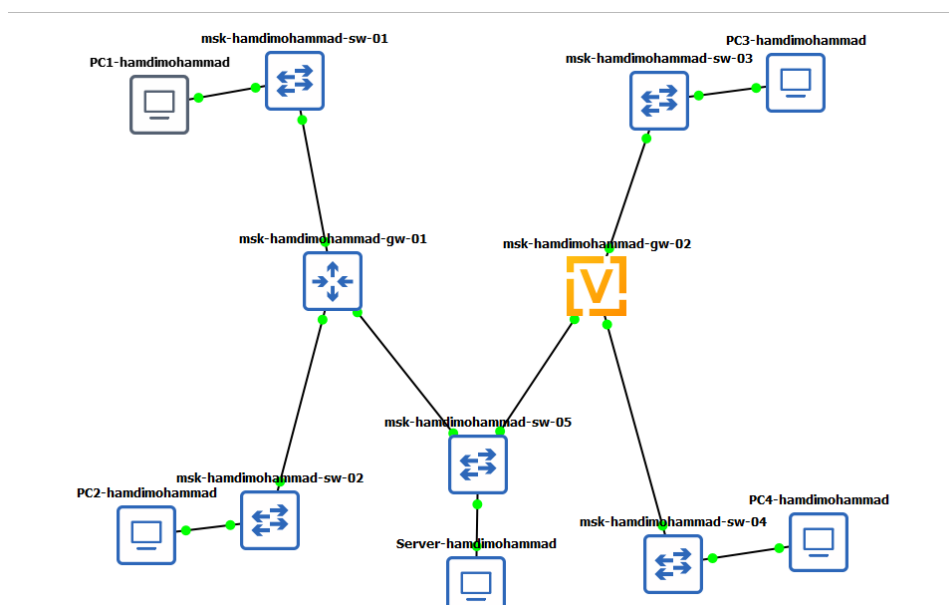


Рис. 2.1: Топология сети

3. Всем устройствам присвоены названия по требованиям задания. Проверено, что соединения активны.
4. На PC1-hamdimohammad настроен адрес:

```
ip 172.16.20.10/25 172.16.20.1
```

```
save
```

Выполнена проверка конфигурации IPv4/IPv6.

```
PC1-hamdimohammad - PuTTY
VPCS> show ip
NAME       : VPCS[1]
IP/MASK    : 172.16.20.10/25
GATEWAY    : 172.16.20.1
DNS        :
MAC        : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 10022
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10023
MTU        : 1500

VPCS> show ipv6
NAME       : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6800/64
GLOBAL SCOPE    :
DNS            :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC           : 00:50:79:66:68:00
LPORT        : 10022
RHOST:PORT    : 127.0.0.1:10023
MTU          : 1500

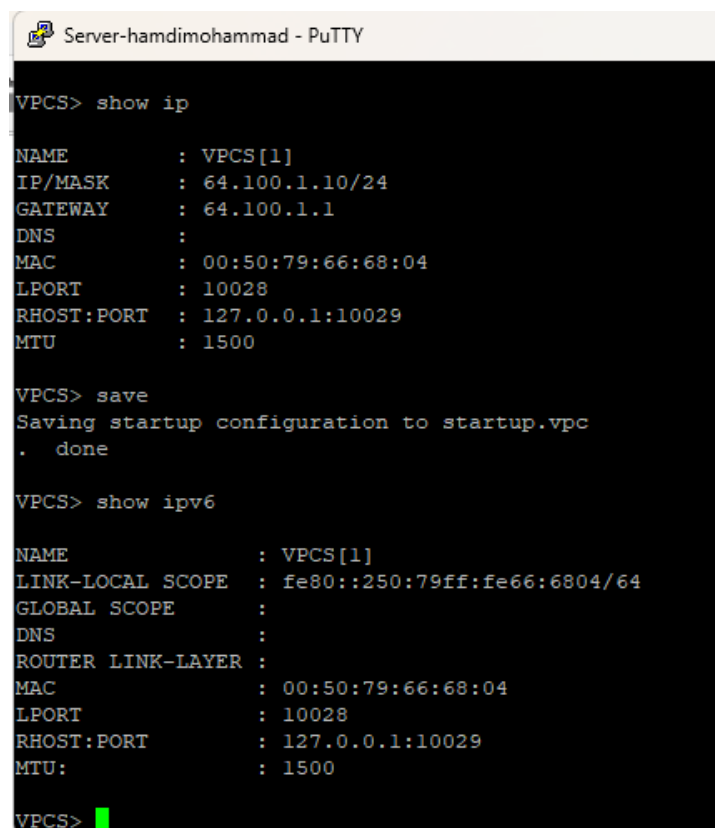
VPCS> 
```

Рис. 2.2: Конфигурация IP на PC1

5. На Server-hamdimohammad настроен адрес:

```
ip 64.100.1.10/24 64.100.1.1
```

```
save
```



```
Server-hamdimohammad - PuTTY

VPCS> show ip

NAME       : VPCS[1]
IP/MASK    : 64.100.1.10/24
GATEWAY    : 64.100.1.1
DNS        :
MAC        : 00:50:79:66:68:04
LPORT      : 10028
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10029
MTU        : 1500

VPCS> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

VPCS> show ipv6

NAME           : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6804/64
GLOBAL SCOPE    :
DNS             :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC            : 00:50:79:66:68:04
LPORT          : 10028
RHOST:PORT      : 127.0.0.1:10029
MTU            : 1500

VPCS> █
```

Рис. 2.3: Конфигурация сервера

6. На PC2-hamdimohammad выполнена аналогичная настройка:

ip 172.16.20.138/25 172.16.20.129

save



```
PC2-hamdimohammad - PuTTY
VPCS> show ip
NAME       : VPCS[1]
IP/MASK    : 172.16.20.138/25
GATEWAY    : 172.16.20.129
DNS        :
MAC        : 00:50:79:66:68:01
LPORT      : 10024
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10025
MTU        : 1500

VPCS> show ipv6
NAME           : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE   :
DNS            :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC            : 00:50:79:66:68:01
LPORT          : 10024
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:10025
MTU            : 1500

VPCS> 
```

Рис. 2.4: Конфигурация IP на PC2

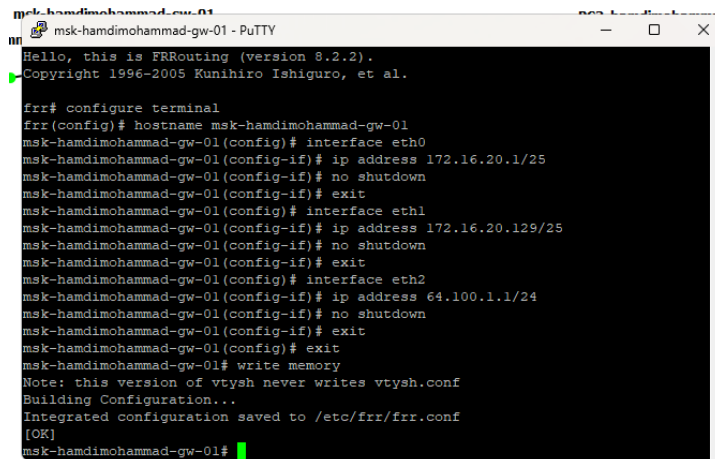
7. На маршрутизаторе msk-hamdimohammad-gw-01 выполнена настройка интерфейсов:

interface eth0 → 172.16.20.1/25

interface eth1 → 172.16.20.129/25

interface eth2 → 64.100.1.1/24

Конфигурация сохранена.

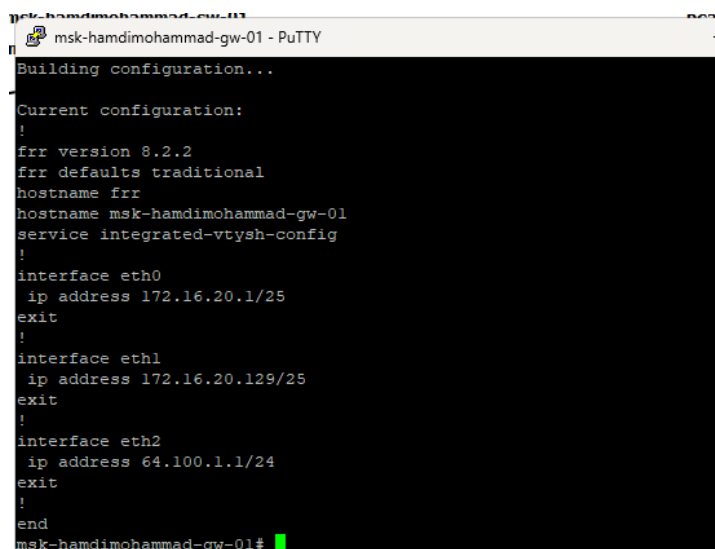


```
msk-hamdimohammad-gw-01 - PuTTY
Hello, this is FRRouting (version 8.2.2).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

frr# configure terminal
frr(config)# hostname msk-hamdimohammad-gw-01
msk-hamdimohammad-gw-01(config)# interface eth0
msk-hamdimohammad-gw-01(config-if)# ip address 172.16.20.1/25
msk-hamdimohammad-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-hamdimohammad-gw-01(config-if)# exit
msk-hamdimohammad-gw-01(config)# interface eth1
msk-hamdimohammad-gw-01(config-if)# ip address 172.16.20.129/25
msk-hamdimohammad-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-hamdimohammad-gw-01(config-if)# exit
msk-hamdimohammad-gw-01(config)# interface eth2
msk-hamdimohammad-gw-01(config-if)# ip address 64.100.1.1/24
msk-hamdimohammad-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-hamdimohammad-gw-01(config-if)# exit
msk-hamdimohammad-gw-01(config)# exit
msk-hamdimohammad-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-hamdimohammad-gw-01#
```

Рис. 2.5: Настройка FRR

8. Проверена текущая конфигурация маршрутизатора. Адреса присвоены корректно.



```
msk-hamdimohammad-gw-01 - PuTTY
Building configuration...

Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-hamdimohammad-gw-01
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
 ip address 172.16.20.1/25
exit
!
interface eth1
 ip address 172.16.20.129/25
exit
!
interface eth2
 ip address 64.100.1.1/24
exit
!
end
msk-hamdimohammad-gw-01#
```

Рис. 2.6: Проверка running-config

9. Вызвана команда ping с PC1-hamdimohammad:

- успешный обмен ICMP-пакетами с PC2
- успешная доступность сервера (64.100.1.10)

```
PC1-hamdimohammad - PuTTY
Executing the startup file

Checking for duplicate address...
VPCS : 172.16.20.10 255.255.255.128 gateway 172.16.20.1

VPCS>
VPCS> ping 172.16.20.138

84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=1 ttl=63 time=2.815 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=2 ttl=63 time=1.032 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=3 ttl=63 time=2.466 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=4 ttl=63 time=3.656 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=5 ttl=63 time=3.512 ms

VPCS> ping 64.100.1.10

84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=1 ttl=63 time=4.465 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=2 ttl=63 time=3.481 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=3 ttl=63 time=1.719 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=4 ttl=63 time=2.647 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=5 ttl=63 time=2.535 ms

VPCS> █
```

Рис. 2.7: Проверка связности PC1

10. Для узлов PC3, PC4 и сервера настроена IPv6-адресация согласно таблице задания.

Узел PC3-hamdimohammad получил адрес:

2001:db8:c0de:12::a/64

```
PC3-hamdihomammad - PuTTY
VPCS> show ip
NAME       : VPCS[1]
IP/MASK    : 0.0.0.0/0
GATEWAY    : 0.0.0.0
DNS        :
MAC        : 00:50:79:66:68:02
LPORT     : 10022
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10023
MTU        : 1500

VPCS> show ipv6
NAME       : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6802/64
GLOBAL SCOPE   : 2001:db8:c0de:12::a/64
DNS          :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC         : 00:50:79:66:68:02
LPORT      : 10022
RHOST:PORT  : 127.0.0.1:10023
MTU        : 1500

VPCS>
```

Рис. 2.8: Конфигурация PC3

Узел PC4-hamdihomammad получил адрес:
2001:db8:c0de:13::a/64

```
PC4-hamdihomammad - PuTTY
VPCS> show ip
NAME       : VPCS[1]
IP/MASK    : 0.0.0.0/0
GATEWAY    : 0.0.0.0
DNS        :
MAC        : 00:50:79:66:68:03
LPORT     : 10028
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10029
MTU        : 1500

VPCS> show ipv6
NAME       : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6803/64
GLOBAL SCOPE   : 2001:db8:c0de:13::a/64
DNS          :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC         : 00:50:79:66:68:03
LPORT      : 10028
RHOST:PORT  : 127.0.0.1:10029
MTU        : 1500

VPCS>
```

Рис. 2.9: Конфигурация PC4

На сервере настроен адрес:
2001:db8:c0de:11::a/64


```
Server-hamdimohammad - PuTTY
VPCS> show ip
NAME       : VPCS[1]
IP/MASK    : 64.100.1.10/24
GATEWAY    : 64.100.1.1
DNS        :
MAC        : 00:50:79:66:68:04
LPORT      : 10030
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10031
MTU        : 1500

VPCS> show ipv6
NAME       : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6804/64
GLOBAL SCOPE   : 2001:db8:c0de:11::a/64
DNS           :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC          : 00:50:79:66:68:04
LPORT        : 10030
RHOST:PORT    : 127.0.0.1:10031
MTU          : 1500
VPCS>
```

Рис. 2.10: Конфигурация IPv6 сервера

11. Маршрутизатор VyOS установлен и перезагружен. Устройство переименовано в msk-hamdimohammad-gw-02.

```
msk-hamdimohammad-gw-02 - PuTTY
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@vyos:~$ configure
[edit]
vyos@vyos# set system host-name msk-hamdimohammad-gw-02
[edit]
vyos@vyos# delete interfaces ethernet eth0 addd

Configuration path: interfaces ethernet eth0 [addd] is not valid

[edit]
vyos@vyos# delete interfaces ethernet eth0 address dhcp
[edit]
vyos@vyos# compare
[edit interfaces ethernet eth0]
-address dhcp
[edit system]
>host-name msk-hamdimohammad-gw-02
[edit]
vyos@vyos# commit
[edit]
vyos@vyos#
```

Рис. 2.11: Переименование маршрутизатора VyOS

12. На маршрутизаторе настроены IPv6-адреса и SLAAC-раздача префиксов на всех интерфейсах:

Интерфейс eth0 — подсеть с PC3:

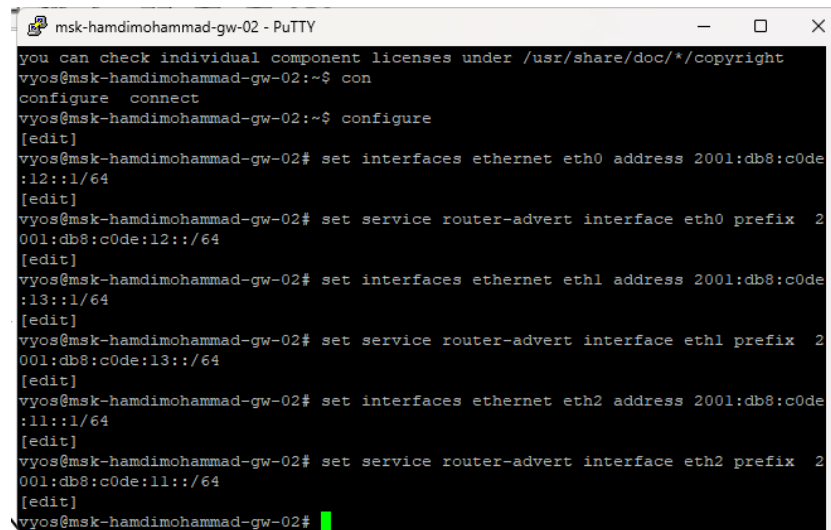
2001:db8:c0de:12::1/64

Интерфейс eth1 — подсеть с PC4:

2001:db8:c0de:13::1/64

Интерфейс eth2 — подсеть сервера:

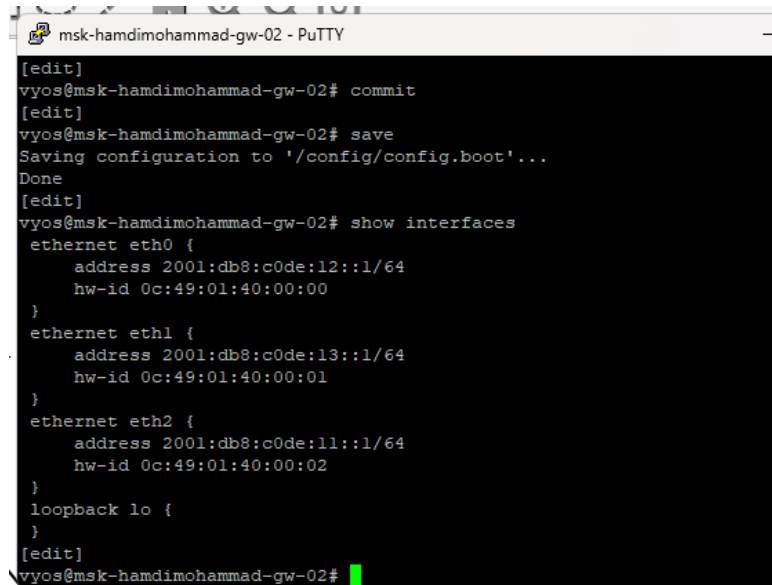
2001:db8:c0de:11::1/64



```
msk-hamdimoammad-gw-02 - PuTTY
you can check individual component licenses under /usr/share/doc/*/copyright
vyos@msk-hamdimoammad-gw-02:~$ con
configure connect
vyos@msk-hamdimoammad-gw-02:~$ configure
[edit]
vyos@msk-hamdimoammad-gw-02# set interfaces ethernet eth0 address 2001:db8:c0de:12::1/64
[edit]
vyos@msk-hamdimoammad-gw-02# set service router-advert interface eth0 prefix 2001:db8:c0de:12::/64
[edit]
vyos@msk-hamdimoammad-gw-02# set interfaces ethernet eth1 address 2001:db8:c0de:13::1/64
[edit]
vyos@msk-hamdimoammad-gw-02# set service router-advert interface eth1 prefix 2001:db8:c0de:13::/64
[edit]
vyos@msk-hamdimoammad-gw-02# set interfaces ethernet eth2 address 2001:db8:c0de:11::1/64
[edit]
vyos@msk-hamdimoammad-gw-02# set service router-advert interface eth2 prefix 2001:db8:c0de:11::/64
[edit]
vyos@msk-hamdimoammad-gw-02#
```

Рис. 2.12: Настройка IPv6 интерфейсов VyOS

Конфигурация сохранена и проверена.

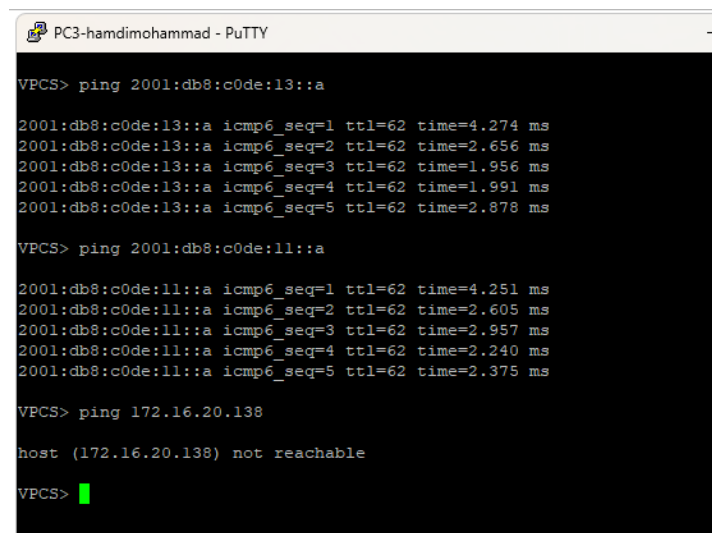


```
[edit]
vyos@msk-hamdihomammad-gw-02# commit
[edit]
vyos@msk-hamdihomammad-gw-02# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-hamdihomammad-gw-02# show interfaces
  ethernet eth0 {
    address 2001:db8:c0de:12::1/64
    hw-id 0c:49:01:40:00:00
  }
  ethernet eth1 {
    address 2001:db8:c0de:13::1/64
    hw-id 0c:49:01:40:00:01
  }
  ethernet eth2 {
    address 2001:db8:c0de:11::1/64
    hw-id 0c:49:01:40:00:02
  }
  loopback lo {
  }
[edit]
vyos@msk-hamdihomammad-gw-02#
```

Рис. 2.13: Вывод show interfaces

13. Проверена связность между узлами IPv6-подсети:

- PC3 успешно отправляет ICMPv6-эхо на PC4 и сервер
- Попытка обратиться к IPv4-адресу завершается ошибкой



```
VPCS> ping 2001:db8:c0de:13::a
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=4.274 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=2.656 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=1.956 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=1.991 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=2.878 ms

VPCS> ping 2001:db8:c0de:11::a
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=4.251 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=2.605 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=2.957 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=2.240 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=2.375 ms

VPCS> ping 172.16.20.138
host (172.16.20.138) not reachable

VPCS>
```

Рис. 2.14: Ping PC3

14. На сервере подтверждена возможность связи с подсетями IPv4 и IPv6:

- сервер получает ответы от PC2 по IPv4
- сервер получает ответы от PC4 по IPv6

```

VPCS> ping 172.16.20.138
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=1 ttl=63 time=2.203 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=2 ttl=63 time=1.837 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=3 ttl=63 time=1.409 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=4 ttl=63 time=1.771 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=5 ttl=63 time=2.629 ms

VPCS> ping 2001:db8:c0de:13::a
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=3.771 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=2.467 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=3.287 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=2.941 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=2.758 ms

VPCS>

```

Рис. 2.15: Пинг с сервера Dual Stack

15. На интерфейсе сервера двойного стека был выполнен захват трафика. Наблюдались три типа пакетов:

- ARP (для IPv4)
- ICMP Echo (ping)
- ICMPv6 Echo (ping)

На кадрах ARP видно, что сервер пытается определить MAC-адрес узла, которому отправляет трафик IPv4.

В примере сервер с IPv4-адресом 64.100.1.10 выполняет ARP-запрос: «Кто имеет 64.100.1.1? Сообщите 64.100.1.10».

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
23	46.408585	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x2374, seq=5/1280, ttl=64 (reply in 24)
24	46.410751	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x2374, seq=5/1280, ttl=63 (request in 23)
25	47.475629	0c:2a:f8:51:00:02	Private 66:68:04	ARP	60	who has 64.100.1.10? Tell 64.100.1.1
26	47.476360	Private 66:68:04	0c:2a:f8:51:00:02	ARP	60	64.100.1.10 is at 00:50:79:66:68:04
27	59.185552	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=1, hop limit=64 (reply in 28)
28	59.188704	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118	Echo (ping) reply id=0x2f74, seq=1, hop limit=62 (request in 27)
29	60.190810	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=2, hop limit=64 (reply in 30)
30	60.192857	2001:db8:c0de:13::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118	Echo (ping) reply id=0x2f74, seq=2, hop limit=62 (request in 29)
31	61.194773	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=3, hop limit=64 (reply in 32)
32	61.197557	2001:db8:c0de:13::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118	Echo (ping) reply id=0x2f74, seq=3, hop limit=62 (request in 31)
33	62.199006	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=4, hop limit=64 (reply in 34)

> Frame 25: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface -, id 0

✓ Ethernet II, Src: 0c:2a:f8:51:00:02 (0c:2a:f8:51:00:02), Dst: Private_66:68:04 (00:50:79:66:68:04)

- > Destination: Private_66:68:04 (00:50:79:66:68:04)
- > Source: 0c:2a:f8:51:00:02 (0c:2a:f8:51:00:02)
- Type: ARP (0x0806)
- [Stream index: 3]
- Padding: 00000000000000000000000000000000

▼ Address Resolution Protocol (request)

- Hardware type: Ethernet (1)
- Protocol type: IPv4 (0x0800)
- Hardware size: 6
- Protocol size: 4
- Opcode: request (1)
- Sender MAC address: 0c:2a:f8:51:00:02 (0c:2a:f8:51:00:02)
- Sender IP address: 64.100.1.1
- Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
- Target IP address: 64.100.1.10

```

0000 00 50 79 66 68 04
0010 08 00 06 04 00 01
0020 00 00 00 00 00 0c
0030 00 00 00 00 00 0e
    
```

Рис. 2.16: ARP-трафик

Из анализа ARP можно получить: - MAC-адрес источника: 0с:2а:f8:51:00:02 -
MAC-адрес цели (после ответа): 00:50:79:66:68:04 - IPv4-адреса участников ARP

Это подтверждает, что перед отправкой ICMP IPv4 сервер определяет MAC-адрес шлюза.

Следующие пакеты — ICMP Echo Request / Echo Reply между сервером и узлом 172.16.20.138 (PC2).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
17	43.399313	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x2074, seq=2/512, ttl=64 (reply in 18)
18	43.400898	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x2074, seq=2/512, ttl=63 (request in 17)
19	44.402510	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x2174, seq=3/768, ttl=64 (reply in 20)
20	44.403586	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x2174, seq=3/768, ttl=63 (request in 19)
21	45.405611	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x2274, seq=4/1024, ttl=64 (reply in 22)
22	45.407074	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x2274, seq=4/1024, ttl=63 (request in 21)
23	46.408585	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x2374, seq=5/1280, ttl=64 (reply in 24)
24	46.410751	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x2374, seq=5/1280, ttl=63 (request in 23)
25	47.475629	0c:2a:f8:51:00:02	Private_66:68:04	ARP	60	Who has 64.100.1.10? Tell 64.100.1.1
26	47.476360	Private_66:68:04	0c:2a:f8:51:00:02	ARP	60	64.100.1.10 is at 00:50:79:66:68:04
27	59.185552	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=1, hop limit=64 (reply in 28)

> Frame 21: 98 bytes on wire (784 bits), 98 bytes captured (784 bits) on interface -, id 0	0000 0c 2a f8 51 00 02 00 50
▼ Ethernet II, Src: Private_66:68:04 (00:50:79:66:68:04), Dst: 0c:2a:f8:51:00:02 (0c:2a:f8:51:00:02)	0010 00 54 74 22 00 00 40 01
> Destination: 0c:2a:f8:51:00:02 (0c:2a:f8:51:00:02)	0020 14 8a 08 00 fd 93 22 74
> Source: Private_66:68:04 (00:50:79:66:68:04)	0030 00 0f 10 11 12 13 14 15
Type: IPv4 (0x0800)	0040 1e 1f 20 21 22 23 24 25
[Stream index: 3]	0050 2e 2f 30 31 32 33 34 35
▼ Internet Protocol Version 4, Src: 64.100.1.10, Dst: 172.16.20.138	0060 3e 3f
0100 = Version: 4	
.... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)	
> Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)	
Total Length: 84	
Identification: 0x7422 (29730)	
> 000. = Flags: 0x0	
...0 0000 0000 0000 = Fragment Offset: 0	
Time to Live: 64	
Protocol: ICMP (1)	
Header Checksum: 0x047f [validation disabled]	
[Header checksum status: Unverified]	
Source Address: 64.100.1.10	
Destination Address: 172.16.20.138	
[Stream index: 0]	
▼ Internet Control Message Protocol	
Type: 8 (Echo (ping) request)	
Code: 0	
Checksum: 0xf9d93 [correct]	
[Checksum Status: Good]	
Identifier (BE): 8820 (0x2274)	
Identifier (LE): 29730 (0x7422)	
Sequence Number (BE): 4 (0x0004)	
Sequence Number (LE): 1024 (0x0400)	
[Response frame: 22]	
> Data (56 bytes)	

Рис. 2.17: ICMP IPv4 трафик

Из ICMP-пакетов можно извлечь: - IPv4-адрес источника: 64.100.1.10 - IPv4-адрес назначения: 172.16.20.138 - TTL = 64 - Идентификатор и номер последовательности — используются для сопоставления запрос/ответ

Эти пакеты подтверждают корректную маршрутизацию IPv4 через FRR-маршрутизатор.

Далее виден ICMPv6 (ping) между сервером и PC4:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info	
26	47.476360	Private_66:68:04	0c:2a:f8:51:00:02	ARP	60	64.100.1.10 is at 00:50:79:66:68:04	
27	59.185552	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=1, hop limit=64 (reply in 28)	
28	59.188704	2001:db8:c0de:13::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118	Echo (ping) reply id=0x2f74, seq=1, hop limit=62 (request in 27)	
29	60.190810	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=2, hop limit=64 (reply in 30)	
30	60.192857	2001:db8:c0de:13::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118	Echo (ping) reply id=0x2f74, seq=2, hop limit=62 (request in 29)	
31	61.194773	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=3, hop limit=64 (reply in 32)	
32	61.197557	2001:db8:c0de:13::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118	Echo (ping) reply id=0x2f74, seq=3, hop limit=62 (request in 31)	
33	62.199006	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=4, hop limit=64 (reply in 34)	
34	62.201520	2001:db8:c0de:13::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118	Echo (ping) reply id=0x2f74, seq=4, hop limit=62 (request in 33)	
35	63.203701	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:13::a	ICMPv6	118	Echo (ping) request id=0x2f74, seq=5, hop limit=64 (reply in 36)	
36	63.206051	2001:db8:c0de:13::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118	Echo (ping) reply id=0x2f74, seq=5, hop limit=62 (request in 35)	
> Frame 31: 118 bytes on wire (944 bits), 118 bytes captured (944 bits) on interface -, id 0 > Ethernet II, Src: Private_66:68:04 (00:50:79:66:68:04), Dst: 0c:49:01:40:00:02 (0c:49:01:40:00:02) > Destination: 0c:49:01:40:00:02 (0c:49:01:40:00:02) > Source: Private_66:68:04 (00:50:79:66:68:04) Type: IPv6 (0x86dd) [Stream index: 1] > Internet Protocol Version 6, Src: 2001:db8:c0de:11::a, Dst: 2001:db8:c0de:13::a 0110 = Version: 6 > 0000 0000 = Traffic Class: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT) 0000 0000 0000 0000 = Flow Label: 0x000000 Payload Length: 64 Next Header: ICMPv6 (58) Hop Limit: 64 > Source Address: 2001:db8:c0de:11::a > Destination Address: 2001:db8:c0de:13::a [Stream index: 3] > Internet Control Message Protocol v6 Type: Echo (ping) request (128) Code: 0 Checksum: 0x7b93 [correct] [Checksum Status: Good] Identifier: 0x2f74 Sequence: 3 [Response In: 32] > Data (56 bytes)							0000 0c 49 01 0010 00 00 00 0020 00 00 00 0030 00 00 00 0040 02 03 04 0050 12 13 14 0060 22 23 24 0070 32 33 34

Рис. 2.18: ICMPv6 трафик

Из ICMPv6 можно извлечь: - IPv6-адрес источника: 2001:db8:c0de:11::a - IPv6-адрес назначения: 2001:db8:c0de:13::a - Значение Hop Limit = 64 (аналог TTL) - Идентификатор и номер последовательности

Это подтверждает нормальную работу IPv6 и маршрутизацию через VyOS.

2.4 Самостоятельная часть

2.4.1 Подсеть 1 — IPv4 10.10.1.96/27

- Размер: 32 адреса.
- Сетевой адрес: 10.10.1.96.
- Шлюз/минимальный хост: 10.10.1.97.
- Диапазон хостов: 10.10.1.97 – 10.10.1.126.
- Широковещательный адрес: 10.10.1.127.

2.4.2 Подсеть 2 — IPv4 10.10.1.16/28

- Размер: 16 адресов.
- Сетевой адрес: 10.10.1.16.
- Шлюз/минимальный хост: 10.10.1.17.
- Диапазон хостов: 10.10.1.17 – 10.10.1.30.
- Широковещательный адрес: 10.10.1.31.

2.4.3 Подсети IPv6

- Подсеть 1: 2001:db8:1:1::/64

Минимальный адрес интерфейса маршрутизатора: 2001:db8:1:1::1; произвольные адреса хостов — в пределах префикса.

- Подсеть 2: 2001:db8:1:4::/64

Минимальный адрес интерфейса маршрутизатора: 2001:db8:1:4::1; произвольные адреса хостов — в пределах префикса.

2.4.4 Таблица адресации

Узел/Интерфейс	IPv4 адрес /		IPv6 адрес /	
	маска	Шлюз (IPv4)	префикс	Шлюз (IPv6)
msk-hamdimohammad-gw-01 eth0 (к Подсети 1)	10.10.1.97/27	—	2001:db8:1:1::1/64	
msk-hamdimohammad-gw-01 eth1 (к Подсети 2)	10.10.1.17/28	—	2001:db8:1:4::1/64	

Узел/Интерфейс	IPv4 адрес / маска	Шлюз (IPv4)	IPv6 адрес / префикс	Шлюз (IPv6)
PC1-hamdimohammad (Подсеть 1)	10.10.1.100/27	10.10.1.97	2001:db8:1:1::a/64 → 2001:db8:1:1::1	(по умолчанию)
PC2-hamdimohammad (Подсеть 2)	10.10.1.20/28	10.10.1.17	2001:db8:1:4::a/64 → 2001:db8:1:4::1	(по умолчанию)

Топология проекта:

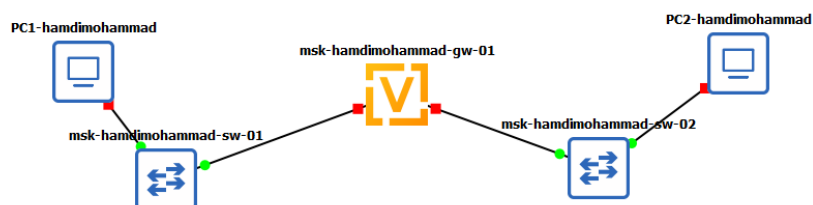


Рис. 2.19: Топология двух подсетей

2.4.5 Настройка адресации

PC1 (подсеть 1) - IPv4: 10.10.1.100/27, шлюз 10.10.1.97.
- IPv6: 2001:db8:1:1::a/64.

```
PC1-hamdihomammad - PuTTY
VPCS> show ip
NAME      : VPCS[1]
IP/MASK    : 10.10.1.100/27
GATEWAY    : 10.10.1.97
DNS        :
MAC        : 00:50:79:66:68:00
LPORT      : 10008
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10009
MTU        : 1500

VPCS> show ipv6
NAME      : VPCS[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         : 10008
RHOST:PORT    : 127.0.0.1:10009
MTU           : 1500

VPCS> 
```

#fig:020 width=60%_)

- PC2 (подсеть 2) - IPv4: 10.10.1.20/28, шлюз 10.10.1.17.
- IPv6: 2001:db8:1:4::a/64.

```
PC2-hamdihammad - PuTTY
VPCS> show ip
NAME       : VPCS[1]
IP/MASK    : 10.10.1.20/28
GATEWAY    : 10.10.1.17
DNS        :
MAC        : 00:50:79:66:68:01
LPORT      : 10010
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10011
MTU        : 1500

VPCS> show ipv6
NAME       : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE    : 2001:db8:1:4::a/64
DNS             :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC            : 00:50:79:66:68:01
LPORT          : 10010
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:10011
MTU            : 1500

VPCS>
```

Рис. 2.20: PC2: show ip/ipv6

- Маршрутизатор VyOS msk-hamdihammad-gw-01 - eth0: 10.10.1.97/27, 2001:db8:1:1::1/64.
- eth1: 10.10.1.17/28, 2001:db8:1:4::1/64.
 - Конфигурация сохранена.

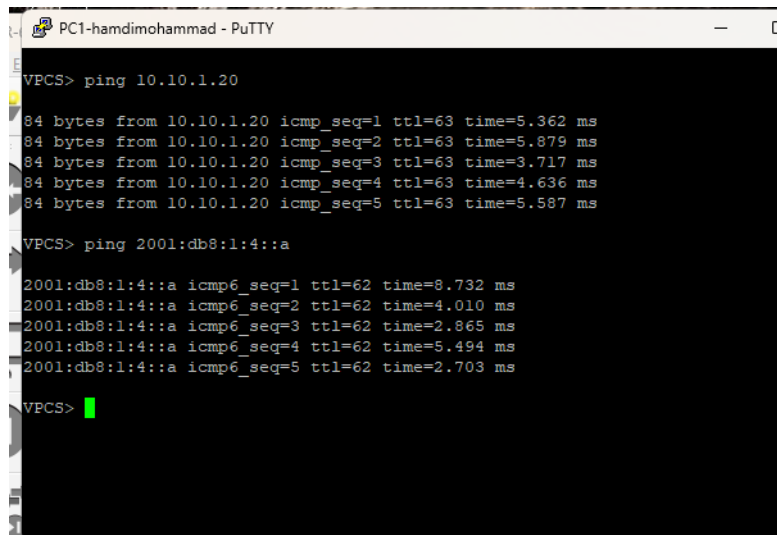
```
msk-hamdihammad-gw-01 - PuTTY
vyos@msk-hamdihammad-gw-01# commit
[edit]
vyos@msk-hamdihammad-gw-01# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-hamdihammad-gw-01# show interfaces
  ethernet eth0 {
    address 10.10.1.97/27
    address 2001:db8:1:1::1/64
    hw-id 0c:dc:b6:6d:00:00
  }
  ethernet eth1 {
    address 10.10.1.17/28
    address 2001:db8:1:4::1/64
    hw-id 0c:dc:b6:6d:00:01
  }
  ethernet eth2 {
    hw-id 0c:dc:b6:6d:00:02
  }
  loopback lo {
  }
[edit]
vyos@msk-hamdihammad-gw-01#
```

Рис. 2.21: VyOS: интерфейсы

2.4.6 Проверка связности

ICMP (IPv4) - С PC1 до PC2: успешные ответы на 10.10.1.20.

ICMPv6 - С PC1 до PC2: успешные ответы на 2001:db8:1:4::a.



```
PC1-hamdihomammad - PuTTY
VPCS> ping 10.10.1.20
84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=1 ttl=63 time=5.362 ms
84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=2 ttl=63 time=5.879 ms
84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=3 ttl=63 time=3.717 ms
84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=4 ttl=63 time=4.636 ms
84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=5 ttl=63 time=5.587 ms

VPCS> ping 2001:db8:1:4::a
2001:db8:1:4::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=8.732 ms
2001:db8:1:4::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=4.010 ms
2001:db8:1:4::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=2.865 ms
2001:db8:1:4::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=5.494 ms
2001:db8:1:4::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=2.703 ms

VPCS>
```

Рис. 2.22: Проверка ping

3 Заключение

В ходе лабораторной работы смоделированы сети с маршрутизаторами **FRR** и **VyOS**, выполнена настройка IP-адресации и проверка связности. Захват трафика в **Wireshark** подтвердил корректную работу протоколов ARP и ICMP.