

Отчёт по лабораторной работе №6

Адресация IPv4 и IPv6. Двойной стек

Авдадаев Джамал Геланиевич

Содержание

1	Цель работы	6
2	Выполнение задания	7
2.1	Разбиение IPv4-сети 172.16.20.0/24	7
2.1.1	Характеристика исходной сети	7
2.1.2	Разбиение на подсети (VLSM)	7
2.2	Разбиение IPv4-сети 10.10.1.64/26	8
2.2.1	Характеристика исходной сети	8
2.2.2	Выделение подсети на 30 узлов	9
2.3	Разбиение IPv4-сети 10.10.1.0/26	9
2.3.1	Характеристика исходной сети	9
2.3.2	Выделение подсети на 14 узлов	10
2.4	Разбиение IPv6-сети 2001:db8:c0de::/48	10
2.4.1	Характеристика исходной сети	10
2.4.2	Диапазон адресов узлов (краевые значения)	11
2.4.3	Способ А: разбиение на 2 подсети с использованием идентификатора подсети (Subnet ID)	11
2.4.4	Способ В: разбиение на 2 подсети с использованием идентификатора интерфейса (Interface ID)	12
2.5	Разбиение IPv6-сети 2a02:6b8::/64	12
2.5.1	Характеристика исходной сети	12
2.5.2	Диапазон адресов узлов (краевые значения)	13
2.5.3	Способ А: разбиение на 2 подсети с использованием идентификатора подсети (Subnet ID)	13
2.5.4	Способ В: разбиение на 2 подсети с использованием идентификатора интерфейса (Interface ID)	13
2.6	Настройка двойного стека адресации IPv4 и IPv6 в локальной сети	14
2.6.1	Настройка IPv4-адресации на конечных узлах	16
2.6.2	Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе FRR	18
2.6.3	Проверка сетевой связности	20
2.6.4	Настройка IPv6-адресации на узлах PC3, PC4 и Server	22
2.6.5	Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе VyOS	24
2.6.6	Проверка связности в IPv6-сети	26
2.7	Анализ перехваченного трафика ARP, ICMP и ICMPv6	29
2.8	Задание для самостоятельного выполнения	33
2.8.1	Характеристика подсетей и диапазонов адресов	34
2.8.2	Таблица адресации для заданной топологии	35

2.8.3	Настройка IP-адресации на конечных узлах	35
2.8.4	Настройка IP-адресации на маршрутизаторе VyOS	37
2.8.5	Проверка конфигурации интерфейсов маршрутизатора . . .	38
2.8.6	Проверка сетевой связности (ping и trace)	39
3	Заключение	41

Список иллюстраций

2.1	Собранная топология в GNS3	15
2.2	Параметры IPv4 на PC1	16
2.3	Параметры IPv4 на PC2	17
2.4	Параметры IPv4 на Server	18
2.5	Настройка интерфейсов маршрутизатора FRR	19
2.6	Проверка конфигурации и интерфейсов FRR	20
2.7	Проверка связи PC1 – PC2	21
2.8	Проверка связи PC1 – Server	21
2.9	Настройка IPv6 на PC3 и проверка show ipv6	22
2.10	Настройка IPv6 на PC4 и проверка show ipv6	23
2.11	IPv4 и IPv6 адресация на сервере двойного стека	24
2.12	Назначение IPv6-адресов и Router Advertisement на VyOS	25
2.13	Проверка IPv6-интерфейсов маршрутизатора VyOS	26
2.14	Ping и trace между PC3 и PC4 по IPv6	27
2.15	Ping и trace PC3 – Server по IPv6	28
2.16	Проверка недоступности IPv4 из IPv6 и доступ к Dual Stack Server	29
2.17	Анализ ARP-трафика	30
2.18	Анализ ICMP-трафика IPv4	31
2.19	Анализ ICMPv6-трафика	32
2.20	Топология сети с двумя локальными подсетями	33
2.21	Настройка адресации на PC1	36
2.22	Настройка адресации на PC2	37
2.23	Настройка интерфейсов VyOS и Router Advertisement	38
2.24	Проверка интерфейсов VyOS	39
2.25	Ping и trace PC1 → PC2 по IPv4	40
2.26	Ping и trace PC1 → PC2 по IPv6	40

Список таблиц

1 Цель работы

Изучение принципов распределения и настройки адресного пространства на устройствах сети.

2 Выполнение задания

2.1 Разбиение IPv4-сети 172.16.20.0/24

2.1.1 Характеристика исходной сети

- Адрес сети: 172.16.20.0/24
- Префикс: /24
- Маска подсети: 255.255.255.0
- Broadcast-адрес: 172.16.20.255
- Диапазон адресов узлов: 172.16.20.1 – 172.16.20.254
- Общее количество адресов: 256
- Количество пригодных адресов узлов: 254
- Число подсетей (без дальнейшего разбиения): 1

2.1.2 Разбиение на подсети (VLSM)

Требуется получить три подсети с максимально возможным числом узлов: -
126 узлов - 62 узла - 62 узла

Для этого используются подсети /25 и /26.

2.1.2.1 Подсеть 1 (126 узлов)

- Адрес сети: 172.16.20.0/25
- Префикс: /25
- Маска: 255.255.255.128

- Диапазон узлов: 172.16.20.1 – 172.16.20.126
- Broadcast-адрес: 172.16.20.127
- Количество узлов: 126

2.1.2.2 Подсеть 2 (62 узла)

- Адрес сети: 172.16.20.128/26
- Префикс: /26
- Маска: 255.255.255.192
- Диапазон узлов: 172.16.20.129 – 172.16.20.190
- Broadcast-адрес: 172.16.20.191
- Количество узлов: 62

2.1.2.3 Подсеть 3 (62 узла)

- Адрес сети: 172.16.20.192/26
- Префикс: /26
- Маска: 255.255.255.192
- Диапазон узлов: 172.16.20.193 – 172.16.20.254
- Broadcast-адрес: 172.16.20.255
- Количество узлов: 62

2.2 Разбиение IPv4-сети 10.10.1.64/26

2.2.1 Характеристика исходной сети

- Адрес сети: 10.10.1.64/26
- Префикс: /26
- Маска подсети: 255.255.255.192
- Broadcast-адрес: 10.10.1.127
- Диапазон адресов узлов: 10.10.1.65 – 10.10.1.126

- Общее количество адресов: 64
- Количество пригодных адресов узлов: 62
- Число возможных подсетей /26 в сети /24: 4

2.2.2 Выделение подсети на 30 узлов

Для размещения 30 узлов требуется подсеть /27.

2.2.2.1 Выделенная подсеть

- Адрес сети: 10.10.1.64/27
- Префикс: /27
- Маска: 255.255.255.224
- Диапазон узлов: 10.10.1.65 – 10.10.1.94
- Broadcast-адрес: 10.10.1.95
- Количество узлов: 30

2.3 Разбиение IPv4-сети 10.10.1.0/26

2.3.1 Характеристика исходной сети

- Адрес сети: 10.10.1.0/26
- Префикс: /26
- Маска подсети: 255.255.255.192
- Broadcast-адрес: 10.10.1.63
- Диапазон адресов узлов: 10.10.1.1 – 10.10.1.62
- Общее количество адресов: 64
- Количество пригодных адресов узлов: 62
- Число возможных подсетей /26 в сети /24: 4

2.3.2 Выделение подсети на 14 узлов

Для размещения 14 узлов требуется подсеть /28.

2.3.2.1 Выделенная подсеть

- Адрес сети: 10.10.1.16/28
- Префикс: /28
- Маска: 255.255.255.240
- Диапазон узлов: 10.10.1.17 – 10.10.1.30
- Broadcast-адрес: 10.10.1.31
- Количество узлов: 14

2.4 Разбиение IPv6-сети 2001:db8:c0de::/48

2.4.1 Характеристика исходной сети

- IPv6-сеть: 2001:db8:c0de::/48
- Префикс: /48
- Маска (в двоичном виде): 48 единиц + 80 нулей
(в IPv6 обычно используют запись префиксом, а не десятичную маску)
- Структура адреса при типовом разбиении:
 - первые 48 бит — **глобальный префикс (Global Routing Prefix):**
2001:db8:c0de
 - следующие 16 бит — **идентификатор подсети (Subnet ID)** (обычно именно тут “делают подсети”)
 - последние 64 бита — **идентификатор интерфейса (Interface ID)**

2.4.2 Диапазон адресов узлов (краевые значения)

Для префикса /48 фиксированы первые 48 бит, остальная часть (80 бит) может меняться.

- Минимальный адрес в сети: 2001:db8:c0de:0000:0000:0000:0000:0000
- Максимальный адрес в сети: 2001:db8:c0de:ffff:ffff:ffff:ffff:ffff

В краткой записи: - Минимум: 2001:db8:c0de:: - Максимум: 2001:db8:c0de:ffff:ffff:ffff:ffff:ffff

В IPv6 нет broadcast-адреса, поэтому “последний адрес” не зарезервирован под broadcast так, как в IPv4.

2.4.3 Способ А: разбиение на 2 подсети с использованием идентификатора подсети (Subnet ID)

Идея: увеличить длину префикса, забрав 1 бит из поля Subnet ID.

/48 → /49 даёт ровно **2 подсети**.

Подсеть А1: 2001:db8:c0de:0000::/49

- Диапазон (краевые): - минимум: 2001:db8:c0de:0000:0000:0000:0000:0000 - максимум: 2001:db8:c0de:7fff:ffff:ffff:ffff:ffff

Подсеть А2: 2001:db8:c0de:8000::/49

- Диапазон (краевые): - минимум: 2001:db8:c0de:8000:0000:0000:0000:0000 - максимум: 2001:db8:c0de:ffff:ffff:ffff:ffff:ffff

Пояснение:

В этом варианте подсети формируются “правильно” с точки зрения классической IPv6-иерархии: глобальный префикс /48 делится на подсети за счёт Subnet ID (следующие 16 бит). Такой подход сохраняет каноничную структуру /64 внутри каждой подсети (в дальнейшем можно выделять /64 для L2-сегментов).

2.4.4 Способ В: разбиение на 2 подсети с использованием идентификатора интерфейса (Interface ID)

Идея: “сделать подсети” за счёт битов, которые обычно принадлежат Interface ID.

Для двух подсетей достаточно добавить 1 бит к префиксу: /48 → /49, но интерпретировать этот дополнительный бит как взятый из области Interface ID.

Формально получаются те же по диапазонам две /49 сети, но смысл другой: - Подсеть В1: 2001:db8:c0de:0000::/49 - Подсеть В2: 2001:db8:c0de:8000::/49

Пояснение (важное): - В IPv6 типовая практика — давать **/64 на один L2-сегмент**, чтобы устройства могли использовать SLAAC и стандартные механизмы ND. - “Дробление” за счёт Interface ID ухудшает совместимость (SLAAC ожидает /64; более короткие/длинные префиксы могут работать, но это уже нестандартная практика и иногда ломает автоконфигурацию или отдельные реализации). - Поэтому такой вариант допустим как теоретическое разбиение адресного пространства, но для реальных локальных сегментов почти всегда придерживаются /64.

2.5 Разбиение IPv6-сети 2a02:6b8::/64

2.5.1 Характеристика исходной сети

- IPv6-сеть: 2a02:6b8::/64
- Префикс: /64
- Структура адреса:
 - первые 64 бита — префикс сети (включая Subnet ID)
 - последние 64 бита — Interface ID (идентификатор интерфейса)

2.5.2 Диапазон адресов узлов (краевые значения)

- Минимальный адрес: 2a02:6b8:0000:0000:0000:0000:0000:0000
- Максимальный адрес: 2a02:6b8:0000:0000:ffff:ffff:ffff:ffff

В краткой записи: - Минимум: 2a02:6b8:: - Максимум: 2a02:6b8::ffff:ffff:ffff:ffff

2.5.3 Способ А: разбиение на 2 подсети с использованием идентификатора подсети (Subnet ID)

Здесь нюанс: при /64 Subnet ID уже “внутри” первых 64 бит (обычно это 4-й хекстет).

Чтобы получить 2 подсети, увеличиваем префикс на 1 бит: /64 → /65.

Подсеть А1: 2a02:6b8::/65

- Диапазон (краевые): - минимум: 2a02:6b8:: - максимум: 2a02:6b8:0:0:7fff:ffff:ffff:ffff

Подсеть А2: 2a02:6b8:0:0:8000::/65

- Диапазон (краевые): - минимум: 2a02:6b8:0:0:8000:0000:0000:0000 - максимум: 2a02:6b8:0:0:ffff:ffff:ffff:ffff

Пояснение:

Формально это разбиение корректно с точки зрения префиксов маршрутизации. Однако для L2-сетей /65 применять нежелательно, поскольку SLAAC и множество практик ожидают /64.

2.5.4 Способ В: разбиение на 2 подсети с использованием идентификатора интерфейса (Interface ID)

Идея: оставить префикс /64 неизменным, но логически “разделить” адреса на две группы по старшему биту Interface ID:

- “Подсеть” В1: все адреса, где старший бит Interface ID = 0
Диапазон: 2a02:6b8:: – 2a02:6b8::7fff:ffff:ffff:ffff

- “Подсеть” B2: все адреса, где старший бит Interface ID = 1

Диапазон: 2a02:6b8::8000:0000:0000:0000 – 2a02:6b8::ffff:ffff:ffff:ffff

Пояснение: - Это именно **логическое** разбиение: с точки зрения маршрутизации и ND это всё равно одна и та же сеть /64. - Такой подход можно использовать для внутреннего планирования адресов (например, “половина диапазона под серверы, половина под клиентов”), но это не создаёт отдельных подсетей в сетевом смысле. - Если действительно нужны две независимые IPv6-подсети, то правильнее использовать разные /64 (то есть иметь исходно префикс короче, например /63, чтобы разделить на два /64).

2.6 Настройка двойного стека адресации IPv4 и IPv6 в локальной сети

После запуска **GNS3 VM** и клиента **GNS3** был создан новый проект. В рабочем пространстве размещены и соединены устройства в соответствии с заданной топологией: узлы VPCS (PC1–PC4), коммутаторы, маршрутизатор **FRR** для подсети IPv4 и маршрутизатор **VyOS** для сегмента IPv6.

Сформированная топология и взаимное расположение устройств представлены на рисунке ниже.

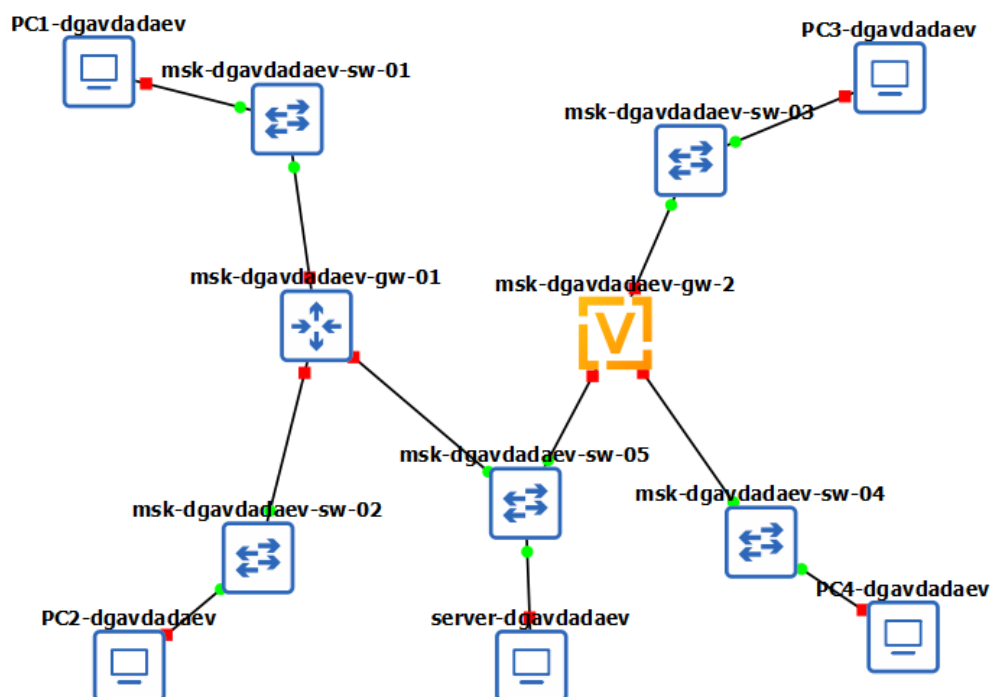


Рис. 2.1: Собранная топология в GNS3

В соответствии с требованиями методических указаний были изменены отображаемые имена всех элементов схемы. Именованно выполнено по следующим правилам:

- коммутаторы — **msk-dgavdadaev-sw-0x**;
- маршрутизаторы — **msk-dgavdadaev-gw-0x**;
- узлы VPCS — **PCx-dgavdadaev**;
- сервер — **server-dgavdadaev**.

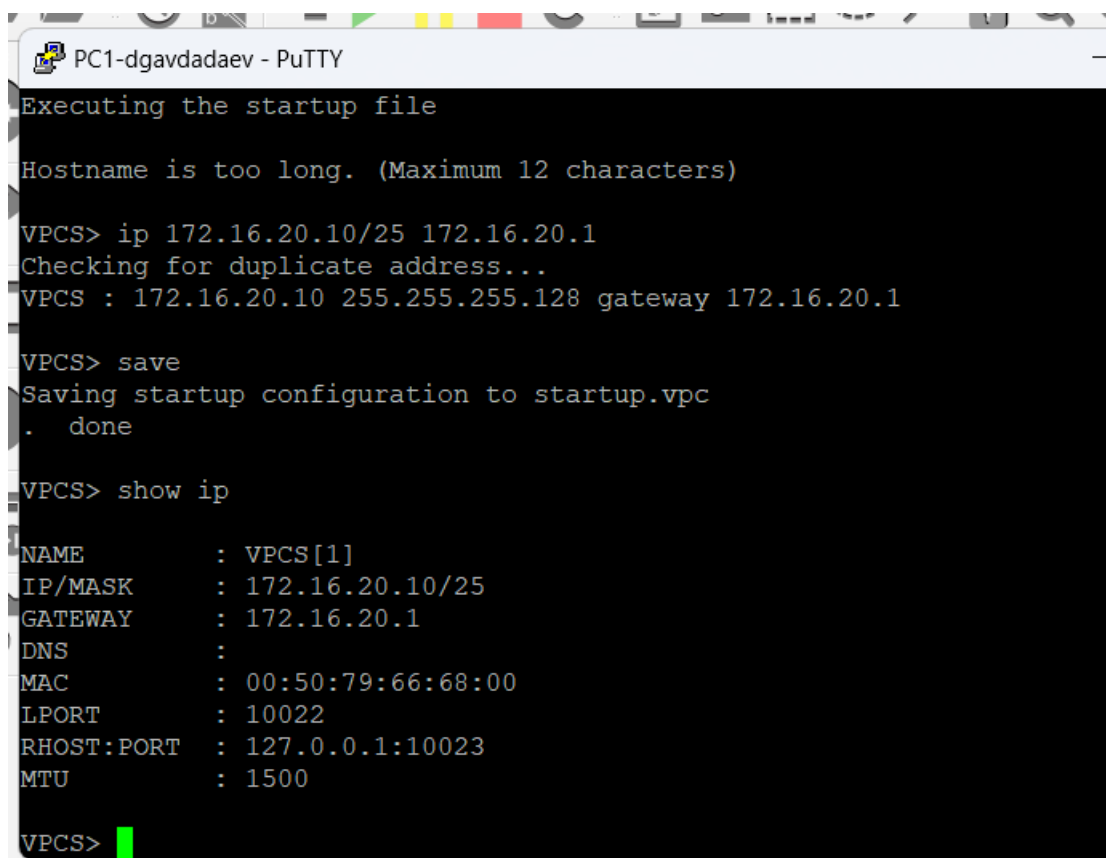
Применённая схема именования обеспечивает однозначную идентификацию устройств и упрощает анализ топологии.

Для анализа сетевого взаимодействия был включён захват трафика на канале между узлом **server-dgavdadaev** и ближайшим к нему коммутатором. Это позволяет наблюдать процесс обмена пакетами при проверке связности между сегментами сети.

2.6.1 Настройка IPv4-адресации на конечных узлах

Согласно таблице 6.6 выполнена настройка IPv4-адресации на узлах **PC1**, **PC2** и **server-dgavdadaev**. Для каждого устройства был задан IP-адрес, маска подсети и шлюз по умолчанию, после чего конфигурация сохранена. Корректность параметров проверена выводом текущих сетевых настроек.

На узле **PC1-dgavdadaev** назначен IPv4-адрес 172.16.20.10/25 со шлюзом по умолчанию 172.16.20.1. Результат настройки подтверждён просмотром параметров интерфейса.



```
PC1-dgavdadaev - PuTTY
Executing the startup file
Hostname is too long. (Maximum 12 characters)
VPCS> ip 172.16.20.10/25 172.16.20.1
Checking for duplicate address...
VPCS : 172.16.20.10 255.255.255.128 gateway 172.16.20.1
VPCS> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done
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>
```

Рис. 2.2: Параметры IPv4 на PC1

На узле **PC2-dgavdadaev** назначен IPv4-адрес 172.16.20.138/25 со шлюзом по умолчанию 172.16.20.129. Настройки успешно сохранены и подтверждены просмотром конфигурации.


```
PC2-dgavdadaev - PuTTY
Executing the startup file

Hostname is too long. (Maximum 12 characters)

VPCS> ip 172.16.20.138/25 172.16.20.129
Checking for duplicate address...
VPCS : 172.16.20.138 255.255.255.128 gateway 172.16.20.129

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

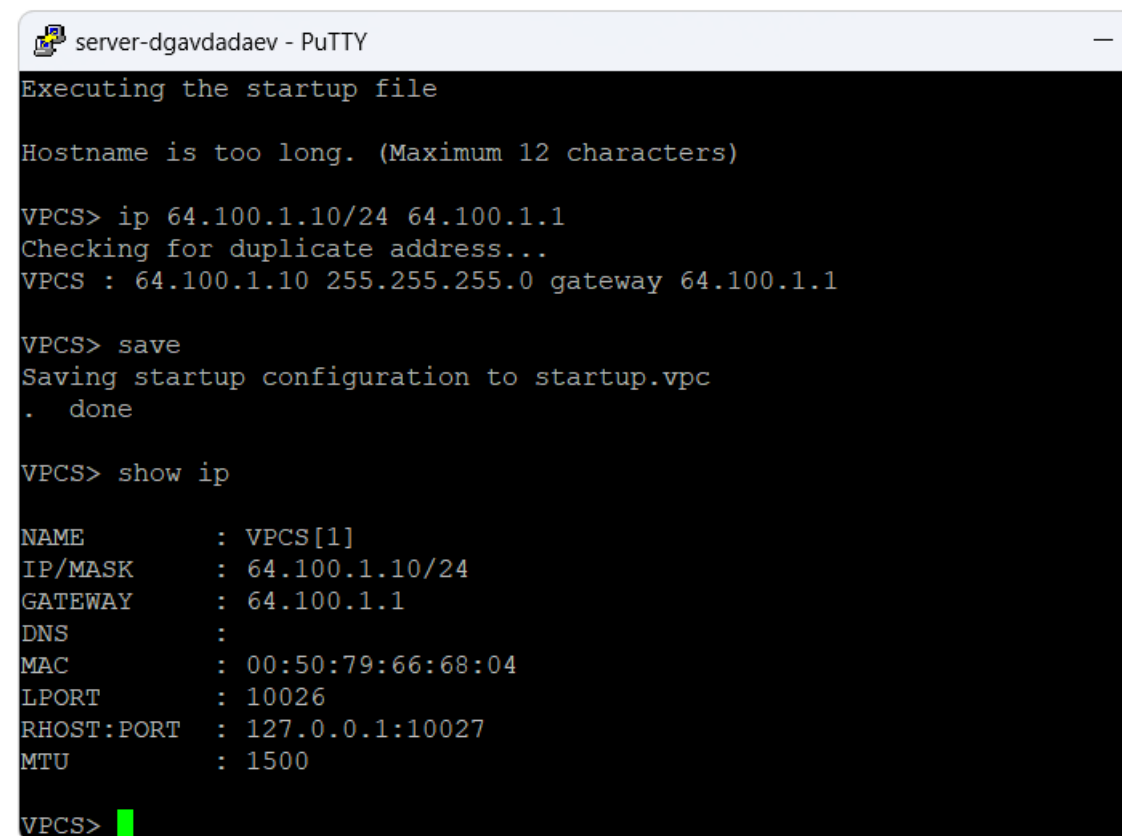
VPCS> show ip

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> █
```

Рис. 2.3: Параметры IPv4 на PC2

На узле **server-dgavdadaev** настроен IPv4-адрес 64.100.1.10/24 и шлюз 64.100.1.1. Конфигурация сохранена и проверена стандартными диагностическими средствами.



```
server-dgavdadaev - PuTTY
Executing the startup file

Hostname is too long. (Maximum 12 characters)

VPCS> ip 64.100.1.10/24 64.100.1.1
Checking for duplicate address...
VPCS : 64.100.1.10 255.255.255.0 gateway 64.100.1.1

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

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      : 10026
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10027
MTU        : 1500

VPCS> 
```

Рис. 2.4: Параметры IPv4 на Server

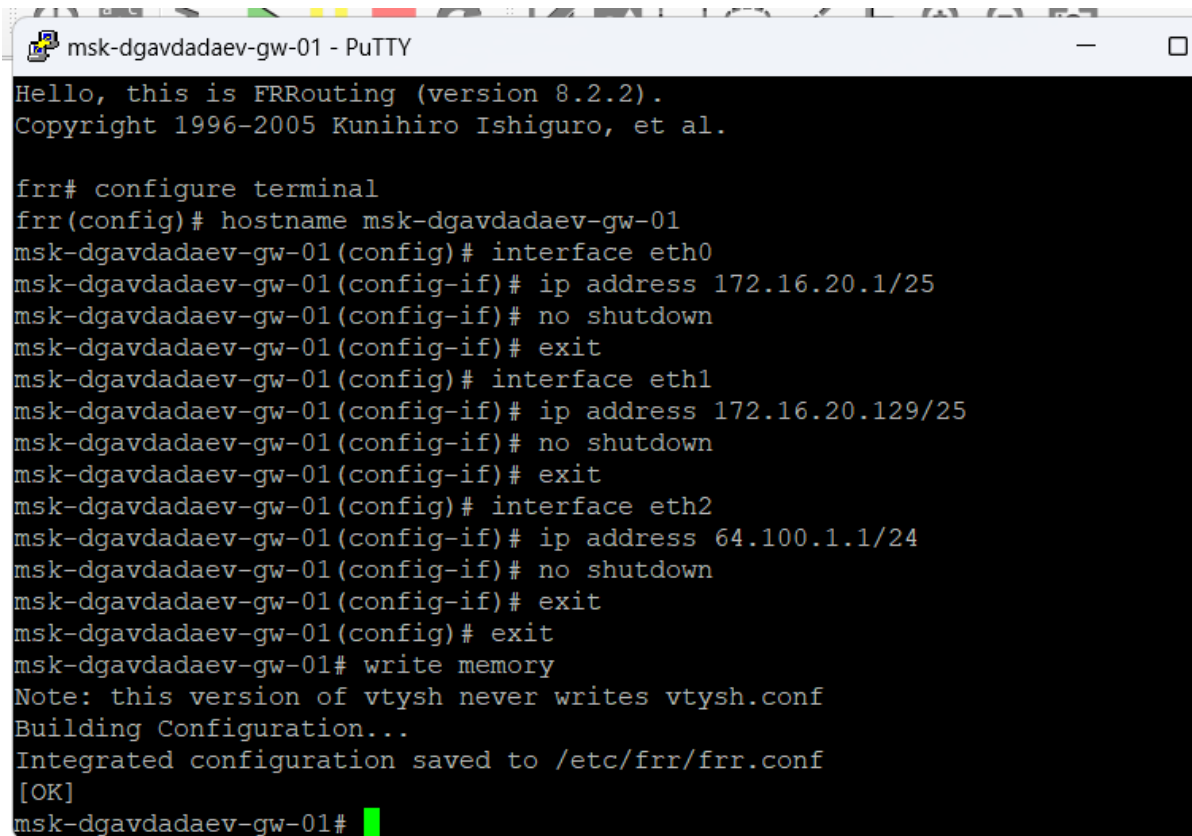
Дополнительно на узлах PC1 и PC2 выполнен просмотр параметров IPv4 и IPv6 для контроля текущего состояния сетевой конфигурации.

2.6.2 Настройка IPv4-адресации на маршрутизаторе FRR

Для маршрутизации между подсетями 172.16.20.0/25, 172.16.20.128/25 и сетью сервера 64.100.1.0/24 выполнена настройка маршрутизатора **msk-dgavdadaev-gw-01** на базе FRR.

В процессе конфигурирования задано имя устройства и назначены IPv4-адреса на интерфейсах локальной сети. Все используемые интерфейсы переведены в рабочее состояние, после чего конфигурация сохранена во внутреннем хранилище.

Фрагмент выполненной настройки представлен на рисунке ниже.



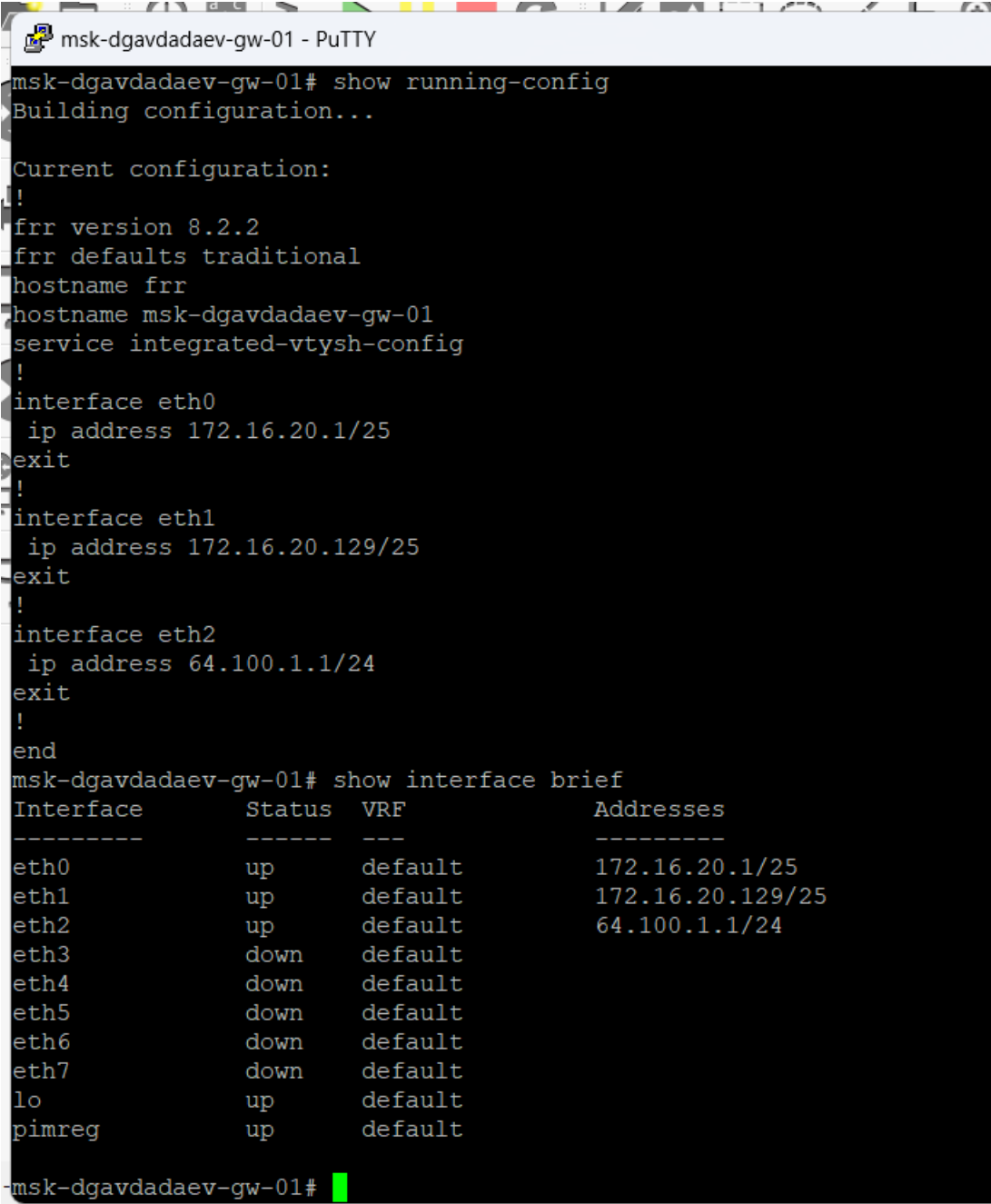
```
msk-dgavdadaev-gw-01 - PuTTY
Hello, this is FRRouting (version 8.2.2).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

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

Рис. 2.5: Настройка интерфейсов маршрутизатора FRR

Для контроля корректности выполненных настроек произведён просмотр текущей конфигурации и состояния интерфейсов маршрутизатора. Проверка подтвердила наличие заданных IPv4-адресов и активное состояние интерфейсов, участвующих в маршрутизации.

Результаты проверки приведены на рисунке ниже.

A screenshot of a PuTTY terminal window titled "msk-dgavdadaev-gw-01 - PuTTY". The terminal shows the output of the "show running-config" command, displaying the current configuration of the FRR router. The configuration includes the version (8.2.2), defaults (traditional), hostname (frr), and service (integrated-vtysh-config). It also shows the configuration for three interfaces: eth0 (172.16.20.1/25), eth1 (172.16.20.129/25), and eth2 (64.100.1.1/24). Below the configuration, the output of the "show interface brief" command is shown, displaying a table of interface status, VRF, and addresses. The table lists interfaces eth0 through eth7, lo, and pimreg, with their respective status (up/down), VRF (default), and addresses (172.16.20.1/25, 172.16.20.129/25, 64.100.1.1/24, and others). The terminal ends with the prompt "msk-dgavdadaev-gw-01#" and a green cursor.

```
msk-dgavdadaev-gw-01# show running-config
Building configuration...

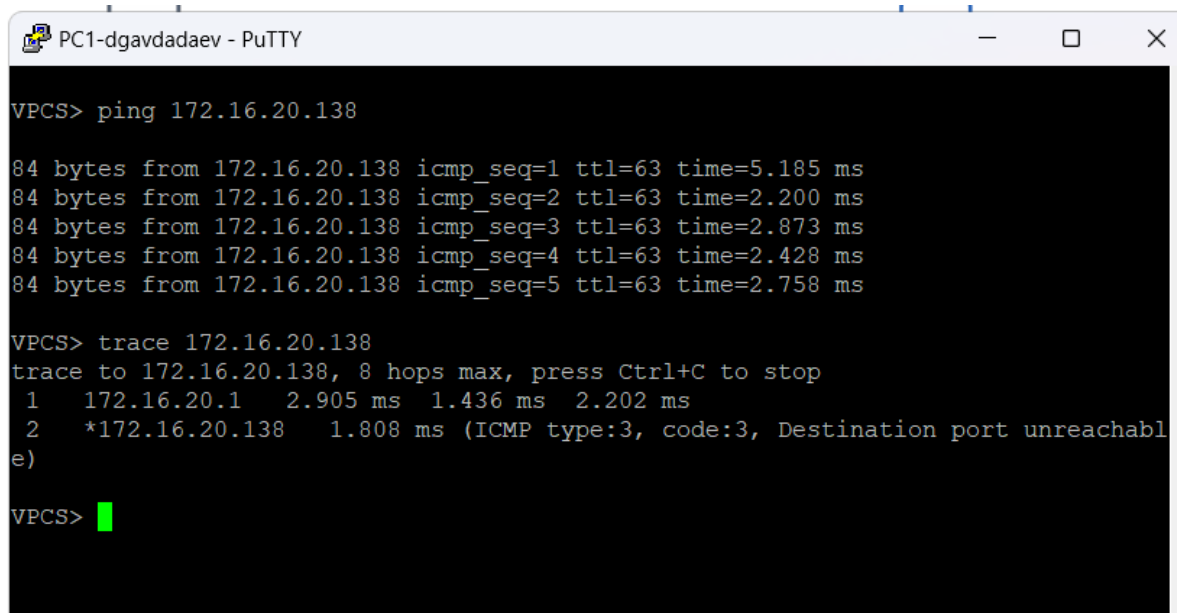
Current configuration:
!
frr version 8.2.2
frr defaults traditional
hostname frr
hostname msk-dgavdadaev-gw-01
service integrated-vtysh-config
!
interface eth0
 ip address 172.16.20.1/25
exit
!
interface eth1
 ip address 172.16.20.129/25
exit
!
interface eth2
 ip address 64.100.1.1/24
exit
!
end
msk-dgavdadaev-gw-01# show interface brief
Interface      Status    VRF      Addresses
-----
eth0           up        default  172.16.20.1/25
eth1           up        default  172.16.20.129/25
eth2           up        default  64.100.1.1/24
eth3           down      default
eth4           down      default
eth5           down      default
eth6           down      default
eth7           down      default
lo             up        default
pimreg         up        default
msk-dgavdadaev-gw-01#
```

Рис. 2.6: Проверка конфигурации и интерфейсов FRR

2.6.3 Проверка сетевой связности

После завершения настройки адресации и маршрутизатора выполнена проверка связности сети с использованием диагностических средств ICMP.

С узла **PC1-dgavdadaev** выполнена проверка доступности узла **PC2-dgavdadaev**. Эхо-запросы успешно доставляются до целевого узла, а трассировка маршрута подтверждает прохождение пакетов через шлюз маршрутизатора.



```
VPCS> ping 172.16.20.138

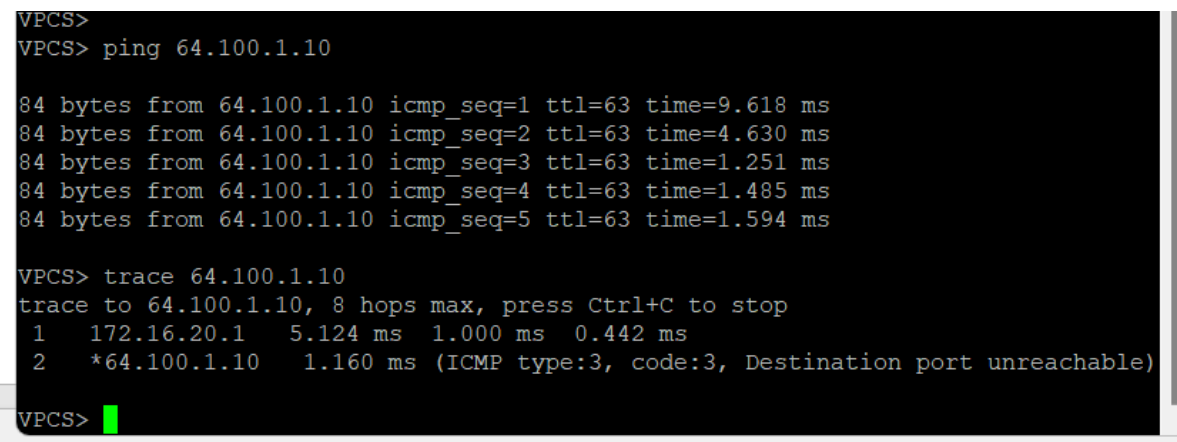
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=1 ttl=63 time=5.185 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=2 ttl=63 time=2.200 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=3 ttl=63 time=2.873 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=4 ttl=63 time=2.428 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=5 ttl=63 time=2.758 ms

VPCS> trace 172.16.20.138
trace to 172.16.20.138, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  172.16.20.1    2.905 ms  1.436 ms  2.202 ms
 2  *172.16.20.138  1.808 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)

VPCS> █
```

Рис. 2.7: Проверка связи PC1 – PC2

С узла **PC1-dgavdadaev** выполнена проверка доступности сервера **server-dgavdadaev**. Результаты показывают успешную доставку пакетов и корректную маршрутизацию между подсетями.



```
VPCS>
VPCS> ping 64.100.1.10

84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=1 ttl=63 time=9.618 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=2 ttl=63 time=4.630 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=3 ttl=63 time=1.251 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=4 ttl=63 time=1.485 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=5 ttl=63 time=1.594 ms

VPCS> trace 64.100.1.10
trace to 64.100.1.10, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  172.16.20.1    5.124 ms  1.000 ms  0.442 ms
 2  *64.100.1.10   1.160 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)

VPCS> █
```

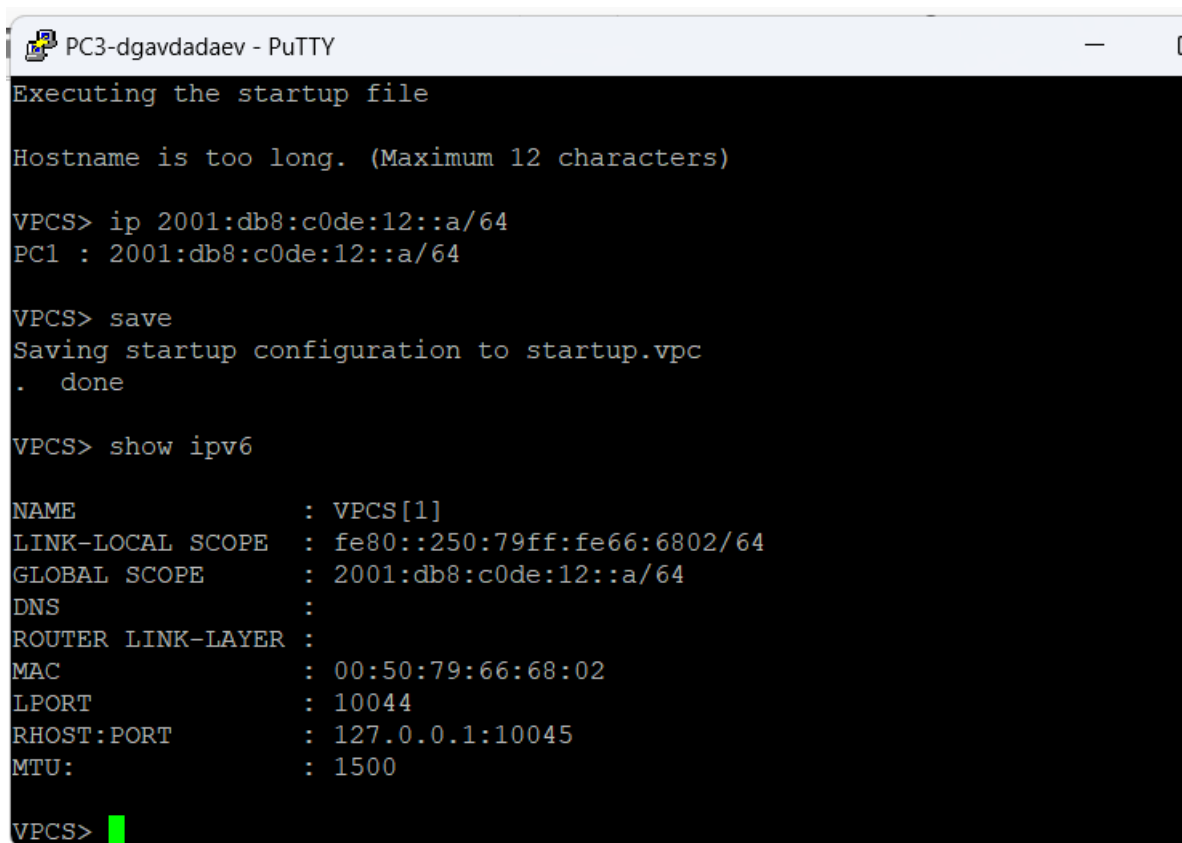
Рис. 2.8: Проверка связи PC1 – Server

2.6.4 Настройка IPv6-адресации на узлах PC3, PC4 и Server

На следующем этапе лабораторной работы выполнена настройка IPv6-адресации для узлов, входящих в IPv6-подсеть, в соответствии с таблицей 6.6. Адресация назначалась вручную на каждом узле VPCS с последующим сохранением конфигурации и проверкой параметров.

На узле **PC3-dgavdadaev** был назначен глобальный IPv6-адрес 2001:db8:c0de:12::a/64. После сохранения конфигурации выполнен просмотр текущих IPv6-параметров. В выводе отображаются link-local и global IPv6-адреса интерфейса.

Результат настройки представлен на рисунке ниже.



```
PC3-dgavdadaev - PuTTY
Executing the startup file

Hostname is too long. (Maximum 12 characters)

VPCS> ip 2001:db8:c0de:12::a/64
PC1 : 2001:db8:c0de:12::a/64

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

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                : 10044
RHOST:PORT           : 127.0.0.1:10045
MTU                  : 1500

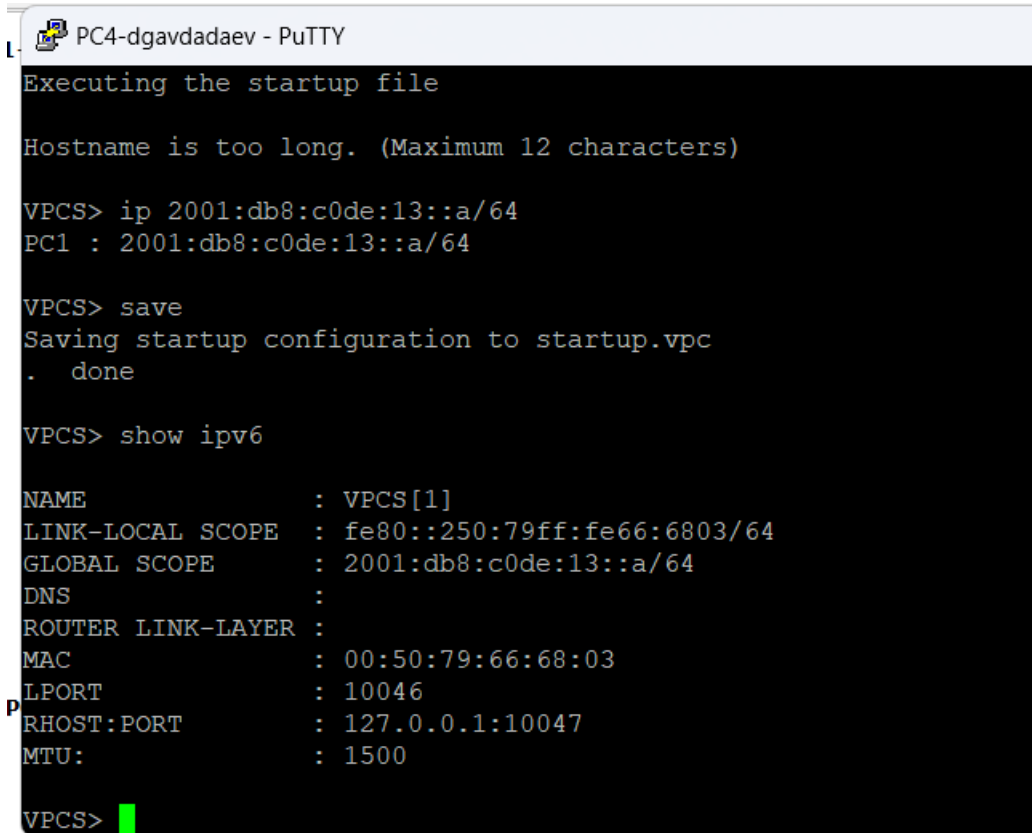
VPCS>
```

Рис. 2.9: Настройка IPv6 на PC3 и проверка show ipv6

На узле **PC4-dgavdadaev** был назначен глобальный IPv6-адрес 2001:db8:c0de:13::a/64. Конфигурация сохранена, после чего выполнен про-

смотр IPv6-настроек, подтверждающий корректное назначение адреса.

Результат настройки представлен на рисунке ниже.



```
PC4-dgavdadaev - PuTTY
Executing the startup file

Hostname is too long. (Maximum 12 characters)

VPCS> ip 2001:db8:c0de:13::a/64
PC1 : 2001:db8:c0de:13::a/64

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

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               : 10046
RHOST:PORT           : 127.0.0.1:10047
MTU                 : 1500

VPCS>
```

Рис. 2.10: Настройка IPv6 на PC4 и проверка show ipv6

На узле **server-dgavdadaev** дополнительно к ранее настроенной IPv4-адресации был назначен IPv6-адрес

2001:db8:c0de:11::a/64. Таким образом сервер функционирует в режиме двойного стека (Dual Stack), поддерживая одновременную работу с IPv4 и IPv6.

Результаты просмотра IPv4 и IPv6 параметров сервера представлены на рисунке ниже.

```
server-dgavdadaev - 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      : 10026
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10027
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          : 10026
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:10027
MTU            : 1500

VPCS> 
```

Рис. 2.11: IPv4 и IPv6 адресация на сервере двойного стека

На узлах **PC3-dgavdadaev** и **PC4-dgavdadaev** выполнен просмотр текущих параметров IPv4 и IPv6. Проверка показала, что IPv4-адреса на данных узлах отсутствуют, в то время как IPv6-адреса назначены корректно и соответствуют заданным подсетям.

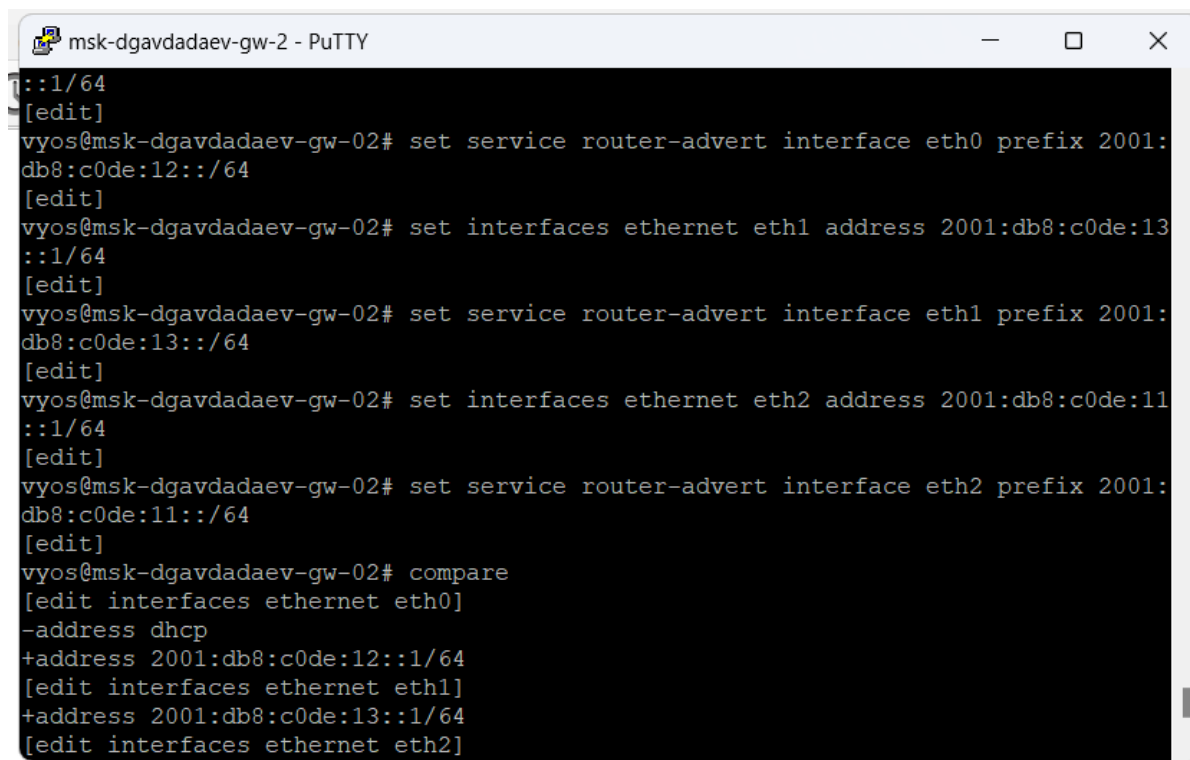
2.6.5 Настройка IPv6-адресации на маршрутизаторе VyOS

Для маршрутизации IPv6-трафика между подсетями 2001:db8:c0de:12::/64, 2001:db8:c0de:13::/64 и 2001:db8:c0de:11::/64 выполнена настройка маршрутизатора **VyOS msk-dgavdadaev-gw-02**.

В процессе работы была выполнена установка системы VyOS с последующей перезагрузкой устройства. После этого в режиме конфигурирования задано имя маршрутизатора и сохранены изменения.

Далее на интерфейсах маршрутизатора назначены IPv6-адреса и настроен сервис Router Advertisement для автоматического распространения префиксов в соответствующих сегментах сети.

Фрагмент процесса конфигурирования и сравнение изменений представлены на рисунке ниже.

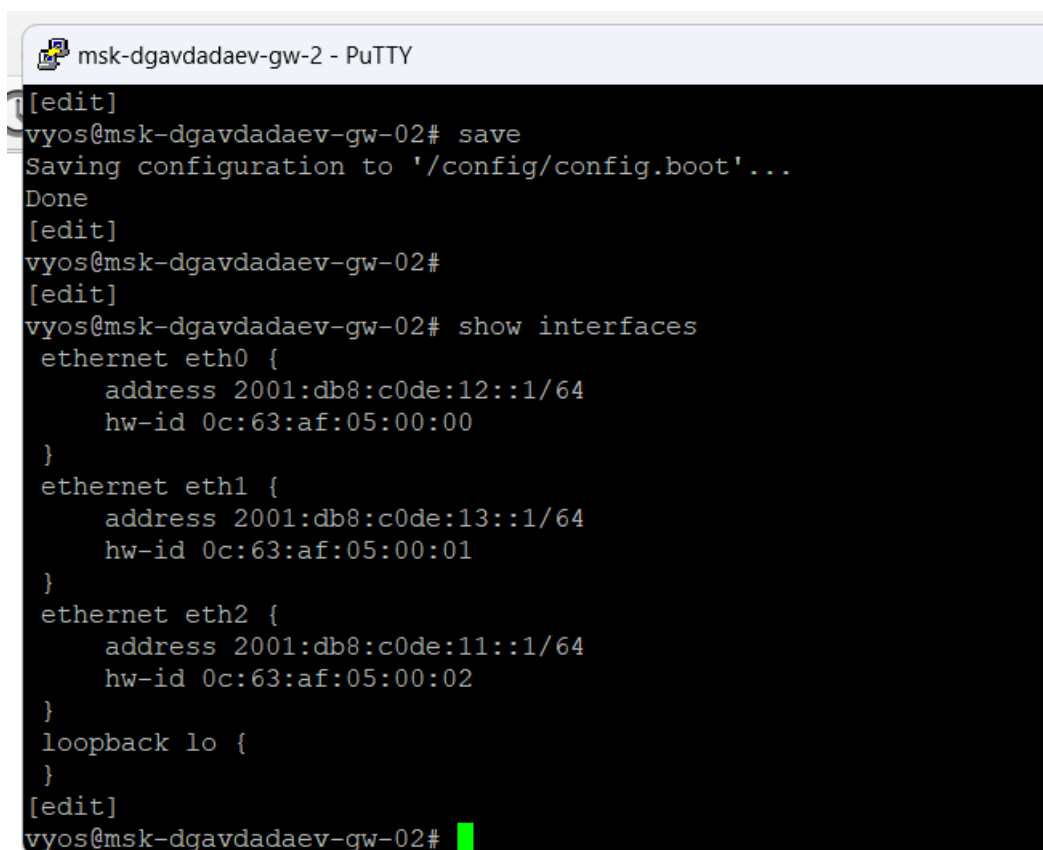


```
msk-dgavdadaev-gw-2 - PuTTY
::1/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set service router-advert interface eth0 prefix 2001:db8:c0de:12::/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set interfaces ethernet eth1 address 2001:db8:c0de:13::1/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set service router-advert interface eth1 prefix 2001:db8:c0de:13::/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set interfaces ethernet eth2 address 2001:db8:c0de:11::1/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set service router-advert interface eth2 prefix 2001:db8:c0de:11::/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# compare
[edit interfaces ethernet eth0]
-address dhcp
+address 2001:db8:c0de:12::1/64
[edit interfaces ethernet eth1]
+address 2001:db8:c0de:13::1/64
[edit interfaces ethernet eth2]
```

Рис. 2.12: Назначение IPv6-адресов и Router Advertisement на VyOS

После применения изменений конфигурация маршрутизатора сохранена. Для контроля корректности настроек выполнен просмотр состояния интерфейсов и назначенных IPv6-адресов.

Результаты проверки подтверждают, что интерфейсы eth0, eth1 и eth2 активны и имеют корректные IPv6-адреса. Вывод представлен на рисунке ниже.



```
msk-dgavdadaev-gw-2 - PuTTY
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02#
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# show interfaces
  ethernet eth0 {
    address 2001:db8:c0de:12::1/64
    hw-id 0c:63:af:05:00:00
  }
  ethernet eth1 {
    address 2001:db8:c0de:13::1/64
    hw-id 0c:63:af:05:00:01
  }
  ethernet eth2 {
    address 2001:db8:c0de:11::1/64
    hw-id 0c:63:af:05:00:02
  }
  loopback lo {
  }
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02#
```

Рис. 2.13: Проверка IPv6-интерфейсов маршрутизатора VyOS

2.6.6 Проверка связности в IPv6-сети

После завершения настройки IPv6-адресации выполнена проверка сетевой связности между узлами IPv6-сегмента с использованием эхо-запросов и трассировки маршрута.

С узла **PC3-dgavdadaev** выполнена проверка доступности узла **PC4-dgavdadaev** по IPv6-адресу. Эхо-запросы успешно доставляются, а трассировка подтверждает прохождение трафика через маршрутизатор VyOS.

Результаты проверки представлены на рисунке ниже.

```
PC3-dgavdadaev - PuTTY

VPCS> ping 2001:db8:c0de:13::a

2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=6.899 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=2.806 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=3.699 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=3.703 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=1.897 ms

VPCS> trace 2001:db8:c0de:13::a

trace to 2001:db8:c0de:13::a, 64 hops max
 1 2001:db8:c0de:12::1    1.063 ms  0.910 ms  0.664 ms
 2 2001:db8:c0de:13::a    1.040 ms  1.827 ms  1.229 ms

VPCS>
VPCS> ping 2001:db8:c0de:11::a

2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=7.502 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=2.703 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=5.281 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=2.154 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=2.741 ms

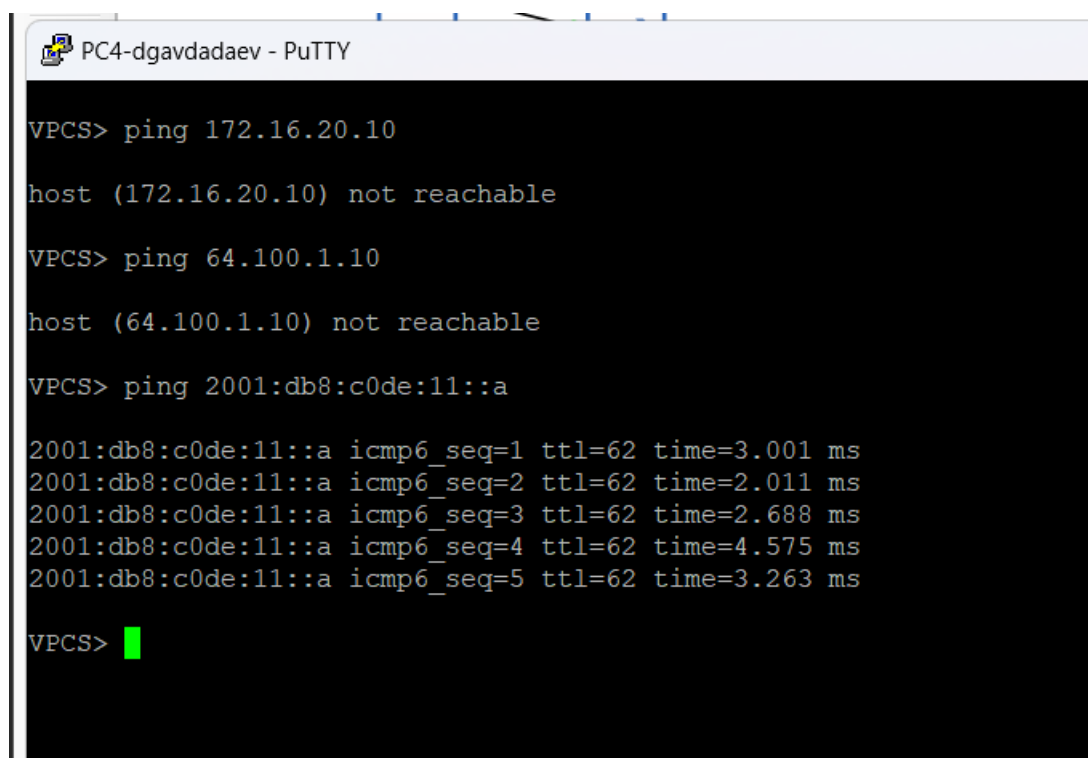
VPCS> trace 2001:db8:c0de:11::a

trace to 2001:db8:c0de:11::a, 64 hops max
 1 2001:db8:c0de:12::1    2.832 ms  1.504 ms  0.645 ms
 2 2001:db8:c0de:11::a    2.263 ms  1.544 ms  1.052 ms

VPCS> █
```

Рис. 2.14: Ping и trace между PC3 и PC4 по IPv6

С узла **PC3-dgavdadaev** выполнена проверка доступности сервера **server-dgavdadaev** по IPv6. Результаты показывают успешную маршрутизацию IPv6-трафика и корректную работу маршрутизатора VyOS.



```
PC4-dgavdadaev - PuTTY

VPCS> ping 172.16.20.10

host (172.16.20.10) not reachable

VPCS> ping 64.100.1.10

host (64.100.1.10) not reachable

VPCS> ping 2001:db8:c0de:11::a

2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=3.001 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=2.011 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=2.688 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=4.575 ms
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=3.263 ms

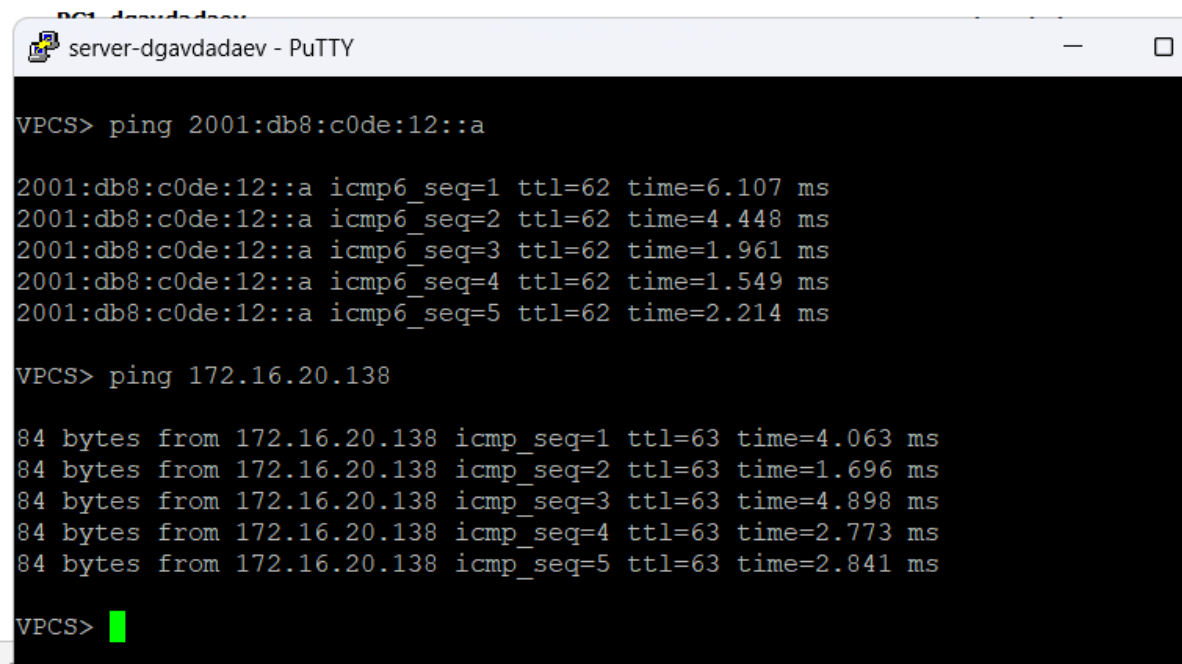
VPCS> 
```

Рис. 2.15: Ping и trace PC3 – Server по IPv6

На завершающем этапе выполнена проверка изоляции подсетей IPv4 и IPv6. Узел **PC4-dgavdadaev**, находящийся в IPv6-сегменте, не имеет доступа к узлам IPv4-сети, что подтверждается отсутствием ответа при попытках обращения по IPv4-адресам.

В то же время обращение к серверу двойного стека по IPv6 выполняется успешно, что соответствует требованиям задания.

Результаты проверки представлены на рисунке ниже.



```
server-dgavdadaev - PuTTY

VPCS> ping 2001:db8:c0de:12::a

2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=6.107 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=4.448 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=1.961 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=1.549 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=2.214 ms

VPCS> ping 172.16.20.138

84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=1 ttl=63 time=4.063 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=2 ttl=63 time=1.696 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=3 ttl=63 time=4.898 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=4 ttl=63 time=2.773 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=5 ttl=63 time=2.841 ms

VPCS> █
```

Рис. 2.16: Проверка недоступности IPv4 из IPv6 и доступ к Dual Stack Server

2.7 Анализ перехваченного трафика ARP, ICMP и

ICMPv6

На завершающем этапе лабораторной работы был проанализирован сетевой трафик, захваченный на соединении между **сервером двойного стека адресации** и ближайшим к нему коммутатором. Захват выполнялся в процессе проверки связности, что позволило наблюдать работу протоколов разрешения адресов и диагностики сети для IPv4 и IPv6.

В перехваченном трафике зафиксированы пакеты протокола **ARP**, используемого в IPv4 focusing для сопоставления IP-адресов с MAC-адресами.

В ARP-запросе видно, что узел с IP-адресом 64.100.1.1 (шлюз по умолчанию) запрашивает MAC-адрес узла 64.100.1.10 (сервер). В поле *Sender IP address* указывается IP-адрес отправителя запроса, а поле *Target IP address* содержит IP-адрес искомого узла. Отсутствие MAC-адреса в запросе указывает на необходимость его разрешения.

В ответном ARP-пакете передаётся информация о соответствии IP-адреса 64.100.1.10 его физическому MAC-адресу. Таким образом, из ARP-трафика можно извлечь следующие данные:

- соответствие IPv4-адресов и MAC-адресов узлов;
- факт нахождения устройств в одном канальном сегменте;
- участие шлюза в передаче трафика между подсетями.

Фрагменты ARP-пакетов представлены на рисунке ниже.

The screenshot shows a Wireshark capture of network traffic. The top pane displays a list of packets with columns: No., Time, Source, Destination, Protocol, Length, and Info. The bottom pane shows the detailed view of the selected packet (No. 25).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
20	20.811595	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0xfa22, seq=3/768, ttl=63 (r...
21	21.812950	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0xfb22, seq=4/1024, ttl=64 (i...
22	21.815370	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0xfb22, seq=4/1024, ttl=63 (i...
23	22.817037	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0xfc22, seq=5/1280, ttl=64 (i...
24	22.819412	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0xfc22, seq=5/1280, ttl=63 (i...
25	23.806401	0c:bc:cb:ac:00:02	Private_66:68:04	ARP	60	Who has 64.100.1.10? Tell 64.100.1.1
26	23.806882	Private_66:68:04	0c:bc:cb:ac:00:02	ARP	60	64.100.1.10 is at 00:50:79:66:68:04

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

Ethernet II, Src: 0c:bc:cb:ac:00:02 (0c:bc:cb:ac: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:bc:cb:ac:00:02 (0c:bc:cb:ac:00:02)
 - Type: ARP (0x0806)
 - [Stream index: 3]
 - Padding: 00
- 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:bc:cb:ac:00:02 (0c:bc:cb:ac: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

Рис. 2.17: Анализ ARP-трафика

В перехваченном IPv4-трафике зафиксированы пакеты протокола **ICMP**, используемые для диагностики соединений (эхо-запросы и эхо-ответы).

Из ICMP-пакетов можно определить:

- IP-адрес источника (64.100.1.10) и назначения (172.16.20.138);
- тип сообщения (Echo Request и Echo Reply);

- идентификатор и номер последовательности, позволяющие сопоставлять запросы и ответы;
- значение поля **TTL**, уменьшающееся при прохождении маршрутизатора, что подтверждает факт маршрутизации трафика между подсетями.

Анализ ICMP-трафика подтверждает корректную маршрутизацию IPv4-пакетов между узлами сети через маршрутизатор FRR. Пример перехваченных ICMP-пакетов представлен на рисунке ниже.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
14	18.798205	0c:bc:cb:ac:00:02	Private_66:68:04	ARP	60	64.100.1.1 is at 0c:bc:cb:ac:00:02
→ 15	18.799457	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0xf822, seq=1/256, ttl=64 (r
← 16	18.803014	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0xf822, seq=1/256, ttl=63 (r
17	19.804571	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0xf922, seq=2/512, ttl=64 (r
18	19.805952	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0xf922, seq=2/512, ttl=63 (r
19	20.807396	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0xfa22, seq=3/768, ttl=64 (r
20	20.811595	172.16.20.138	64.100.1.10	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0xfa22, seq=3/768, ttl=63 (r
21	21.812950	64.100.1.10	172.16.20.138	ICMP	98	Echo (ping) request id=0xfb22, seq=4/1024, ttl=64 (r

Internet Protocol Version 4, Src: 64.100.1.10, Dst: 172.16.20.138
0100 = Version: 4
.... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
> Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
Total Length: 84
Identification: 0x22f8 (8952)
> 000. = Flags: 0x0
...0 0000 0000 0000 = Fragment Offset: 0
Time to Live: 64
Protocol: ICMP (1)
Header Checksum: 0x55a9 [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: 0x27e8 [correct]
[Checksum Status: Good]
Identifier (BE): 63522 (0xf822)
Identifier (LE): 8952 (0x22f8)
Sequence Number (BE): 1 (0x0001)
Sequence Number (LE): 256 (0x0100)

Рис. 2.18: Анализ ICMP-трафика IPv4

Для IPv6-сегмента сети в перехваченном трафике присутствуют пакеты **ICMPv6**, выполняющие как диагностические, так и служебные функции.

В трафике наблюдаются следующие типы ICMPv6-сообщений:

- Echo Request и Echo Reply — подтверждают доступность узлов по IPv6;

- Neighbor Solicitation и Neighbor Advertisement — используются для определения соответствия IPv6-адресов и MAC-адресов, являясь функциональным аналогом ARP в IPv6.

Из ICMPv6-пакетов можно извлечь:

- IPv6-адреса источника и назначения (например, 2001:db8:c0de:11::a и 2001:db8:c0de:12::a);
- значение **Hop Limit**, аналогичное TTL в IPv4;
- факт работы механизма Neighbor Discovery;
- корректную маршрутизацию IPv6-трафика через маршрутизатор VyOS.

Пример анализа ICMPv6-пакетов представлен на рисунке ниже.

1	0.000000	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:12::a	ICMPv6	118 Echo (ping) request id=0xe622, seq=1, hop limit=64 (i
2	0.004516	fe80::e63:afff:fe05...	ff02::1:ff00:a	ICMPv6	86 Neighbor Solicitation for 2001:db8:c0de:11::a from 0
3	0.004882	2001:db8:c0de:11::a	fe80::e63:afff:fe05...	ICMPv6	86 Neighbor Advertisement 2001:db8:c0de:11::a (sol, ovr
4	0.005663	2001:db8:c0de:12::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118 Echo (ping) reply id=0xe622, seq=1, hop limit=62 (re
5	1.007398	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:12::a	ICMPv6	118 Echo (ping) request id=0xe622, seq=2, hop limit=64 (i
6	1.011009	2001:db8:c0de:12::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118 Echo (ping) reply id=0xe622, seq=2, hop limit=62 (re
7	2.013499	2001:db8:c0de:11::a	2001:db8:c0de:12::a	ICMPv6	118 Echo (ping) request id=0xe622, seq=3, hop limit=64 (i
8	2.014997	2001:db8:c0de:12::a	2001:db8:c0de:11::a	ICMPv6	118 Echo (ping) reply id=0xe622, seq=3, hop limit=62 (re


```

> Frame 1: 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:63:af:05:00:02 (0c:63:af:05:00:02)
✓ Internet Protocol Version 6, Src: 2001:db8:c0de:11::a, Dst: 2001:db8:c0de:12::a
  0110 .... = Version: 6
  > .... 0000 0000 .... = Traffic Class: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
  .... 0000 0000 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:12::a
  [Stream index: 0]
✓ Internet Control Message Protocol v6
  Type: Echo (ping) request (128)
  Code: 0
  Checksum: 0xc4e7 [correct]
  [Checksum Status: Good]
  Identifier: 0xe622
  Sequence: 1
  [Response In: 4]
  > Data (56 bytes)

```

Рис. 2.19: Анализ ICMPv6-трафика

Анализ перехваченного трафика показал, что:

- ARP используется для разрешения IPv4-адресов в MAC-адреса в пределах канального сегмента;

- ICMP обеспечивает диагностику и подтверждает корректную маршрутизацию IPv4-пакетов;
- ICMPv6 выполняет как диагностические функции, так и задачи обнаружения соседей и разрешения адресов в IPv6-сети;
- сервер двойного стека корректно обрабатывает трафик как IPv4, так и IPv6, выступая связующим элементом между двумя сетевыми средами.

2.8 Задание для самостоятельного выполнения

В рамках самостоятельного задания была использована топология сети с двумя локальными подсетями, разделёнными маршрутизатором **VyOS**. В топологии присутствуют два конечных узла (**PC1-dgavdadaev** и **PC2-dgavdadaev**), два коммутатора доступа и один маршрутизатор **msk-dgavdadaev-gw-01**, выполняющий функции шлюза по умолчанию и маршрутизации между подсетями.

Схема топологии представлена на рисунке ниже.

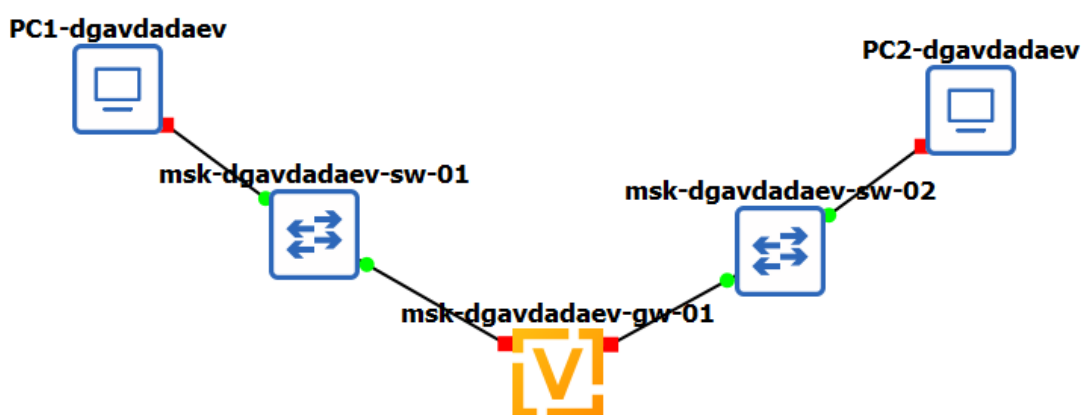


Рис. 2.20: Топология сети с двумя локальными подсетями

2.8.1 Характеристика подсетей и диапазонов адресов

Сеть разделена на две подсети, для каждой из которых задано адресное пространство IPv4 и IPv6.

- Подсеть 1

- IPv4-подсеть: 10.10.1.96/27

Маска: 255.255.255.224

Размер подсети: 32 адреса, из них 30 доступны для узлов.

Диапазон адресов:

- адрес сети: 10.10.1.96
- доступные адреса хостов: 10.10.1.97 – 10.10.1.126
- широковещательный адрес: 10.10.1.127

- IPv6-подсеть: 2001:DB8:1:1::/64

В данной подсети доступны адреса вида 2001:DB8:1:1::xxxx (первые 64 бита фиксируют префикс, оставшиеся 64 бита используются для идентификаторов интерфейсов).

- Подсеть 2

- IPv4-подсеть: 10.10.1.16/28

Маска: 255.255.255.240

Размер подсети: 16 адресов, из них 14 доступны для узлов.

Диапазон адресов:

- адрес сети: 10.10.1.16
- доступные адреса хостов: 10.10.1.17 – 10.10.1.30
- широковещательный адрес: 10.10.1.31

- IPv6-подсеть: 2001:DB8:1:4::/64

В данной подсети доступны адреса вида 2001:DB8:1:4::xxxx.

2.8.2 Таблица адресации для заданной топологии

С учётом требования использовать **наименьший доступный адрес** в каждой подсети для интерфейсов маршрутизатора, был выбран следующий вариант адресации.

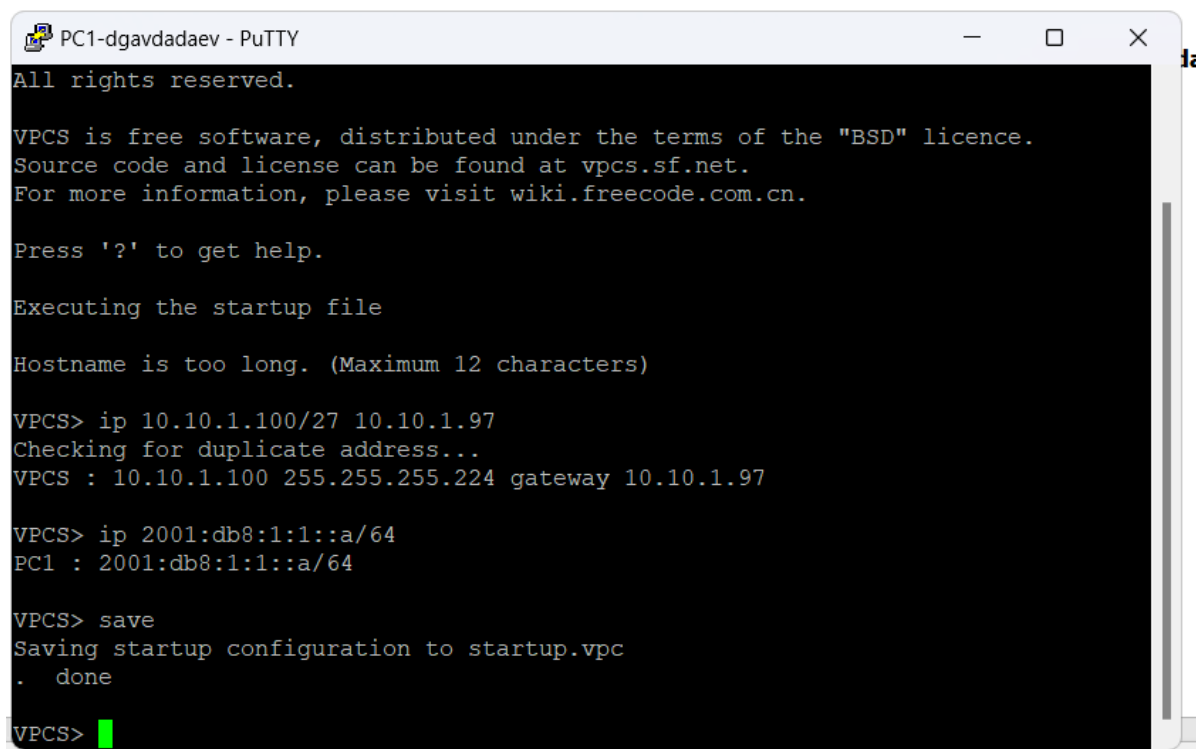
- Маршрутизатор (подсеть 1):
IPv4: 10.10.1.97/27 (первый доступный адрес)
IPv6: 2001:DB8:1:1::1/64 (условно наименьший адрес в префиксе)
- Маршрутизатор (подсеть 2):
IPv4: 10.10.1.17/28 (первый доступный адрес)
IPv6: 2001:DB8:1:4::1/64 (условно наименьший адрес в префиксе)
- PC1 (подсеть 1):
IPv4: 10.10.1.100/27, шлюз 10.10.1.97
IPv6: 2001:DB8:1:1::a/64
- PC2 (подсеть 2):
IPv4: 10.10.1.20/28, шлюз 10.10.1.17
IPv6: 2001:DB8:1:4::a/64

2.8.3 Настройка IP-адресации на конечных узлах

Далее выполнена настройка адресации на VPCS-узлах в соответствии с выбранной таблицей.

На узле **PC1-dgavdadaev** назначены: - IPv4-адрес 10.10.1.100/27 и шлюз 10.10.1.97; - IPv6-адрес 2001:db8:1:1::a/64.

Конфигурация сохранена и применена. Фрагмент настройки представлен на рисунке ниже.



```
PC1-dgavdadaev - PuTTY
All rights reserved.

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

Press '?' to get help.

Executing the startup file

Hostname is too long. (Maximum 12 characters)

VPCS> ip 10.10.1.100/27 10.10.1.97
Checking for duplicate address...
VPCS : 10.10.1.100 255.255.255.224 gateway 10.10.1.97

VPCS> ip 2001:db8:1:1::a/64
PC1 : 2001:db8:1:1::a/64

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

VPCS>
```

Рис. 2.21: Настройка адресации на PC1

На узле **PC2-dgavdadaev** назначены: - IPv4-адрес 10.10.1.20/28 и шлюз 10.10.1.17; - IPv6-адрес 2001:db8:1:4::a/64.

Конфигурация сохранена и применена. Фрагмент настройки представлен на рисунке ниже.

```
PC2-dgavdadaev - PuTTY
For more information, please visit wiki.freecode.com.cn.
Press '?' to get help.
Executing the startup file
Hostname is too long. (Maximum 12 characters)
VPCS> ip 10.10.1.20/28 10.10.1.17
Checking for duplicate address...
VPCS : 10.10.1.20 255.255.255.240 gateway 10.10.1.17
VPCS> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done
VPCS> ip 2001:db8:1:4::a/64
PC1 : 2001:db8:1:4::a/64
VPCS> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done
VPCS> 
```

Рис. 2.22: Настройка адресации на PC2

2.8.4 Настройка IP-адресации на маршрутизаторе VyOS

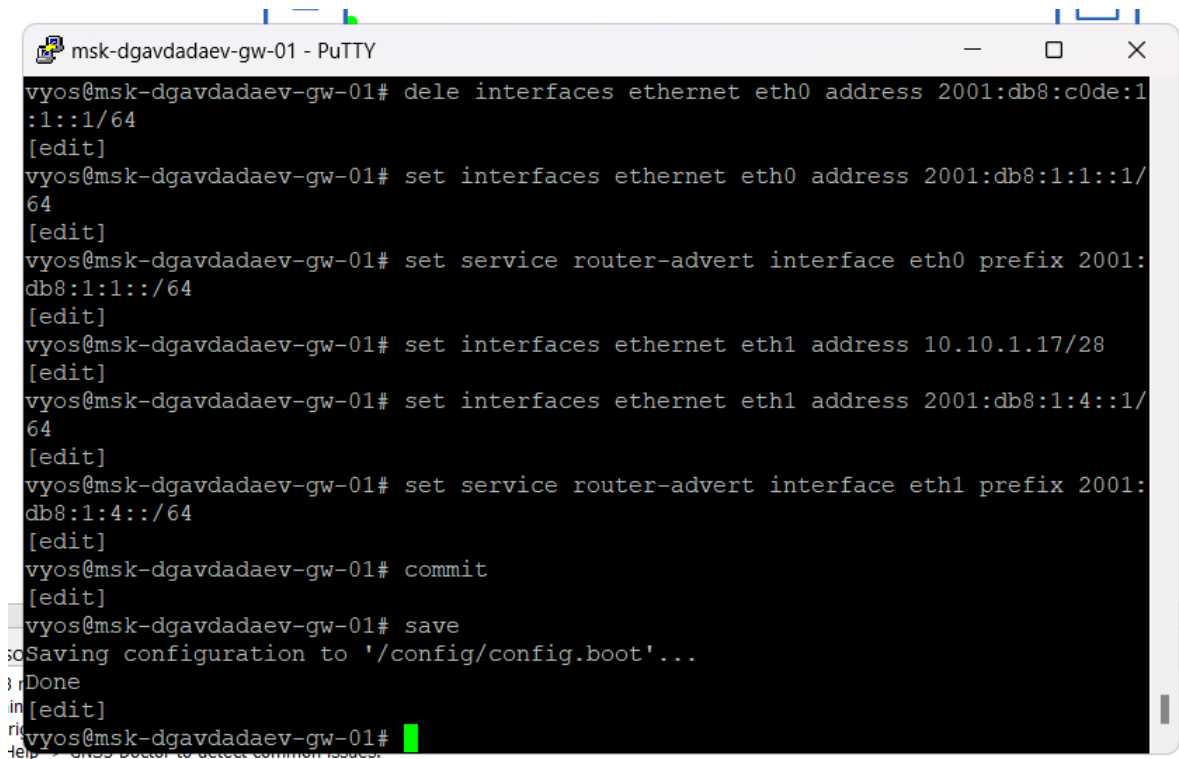
На маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-01 (VyOS)** выполнена настройка интерфейсов, подключённых к двум подсетям.

В процессе конфигурирования:

- для eth0 назначены адреса подсети 1:
10.10.1.97/27 и 2001:db8:1:1::1/64,
а также настроена рассылка префикса Router Advertisement 2001:db8:1:1::/64;
- для eth1 назначены адреса подсети 2:
10.10.1.17/28 и 2001:db8:1:4::1/64,
а также настроена рассылка префикса Router Advertisement 2001:db8:1:4::/64.

После внесения изменений выполнены команды применения и сохранения конфигурации.

Фрагмент настройки представлен на рисунке ниже.



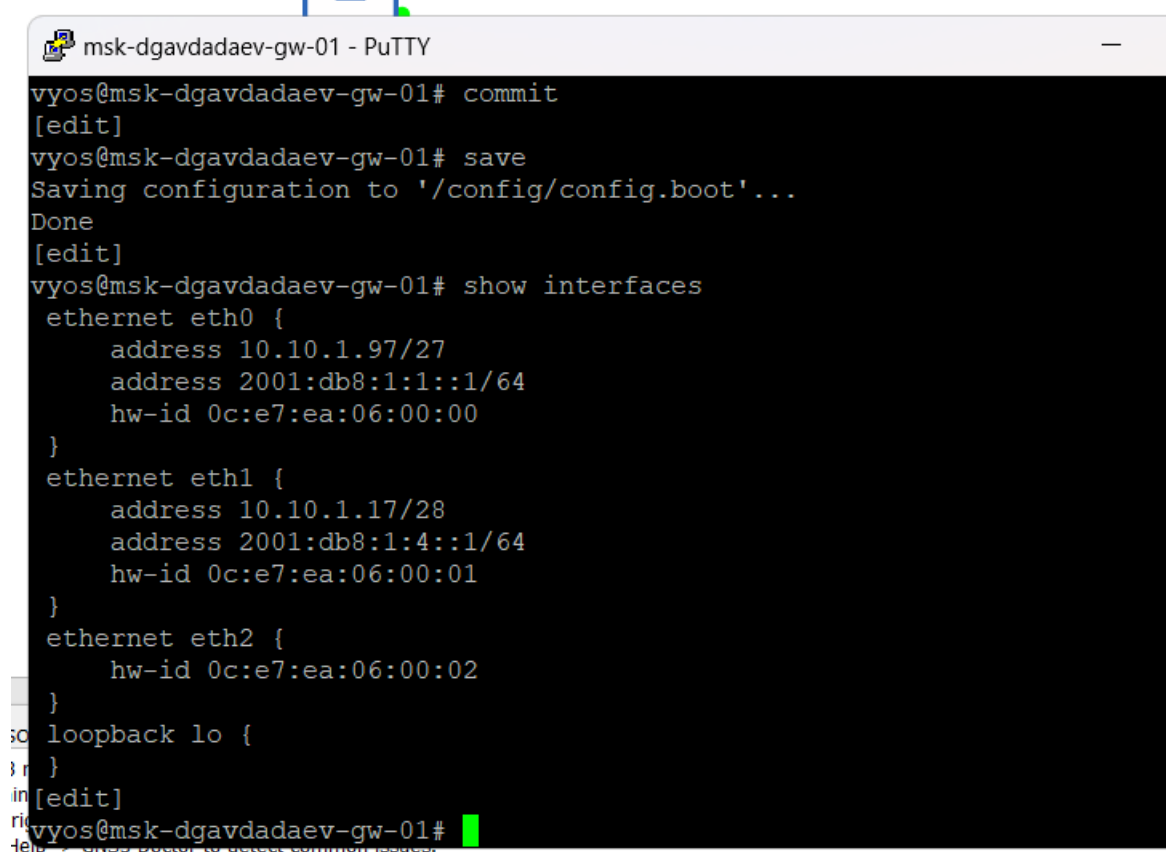
```
msk-dgavdadaev-gw-01 - PuTTY
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# dele interfaces ethernet eth0 address 2001:db8:c0de:1
:1::1/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces ethernet eth0 address 2001:db8:1:1::1/
64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set service router-advert interface eth0 prefix 2001:
db8:1:1::/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces ethernet eth1 address 10.10.1.17/28
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces ethernet eth1 address 2001:db8:1:4::1/
64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set service router-advert interface eth1 prefix 2001:
db8:1:4::/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# commit
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
in [edit]
ric
4elp > UNOS Doctor to detect common issues.
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01#
```

Рис. 2.23: Настройка интерфейсов VyOS и Router Advertisement

2.8.5 Проверка конфигурации интерфейсов маршрутизатора

Для контроля корректности настроек выполнен просмотр состояния интерфейсов. Вывод подтверждает назначение IPv4- и IPv6-адресов на eth0 и eth1.

Результат проверки представлен на рисунке ниже.



```
msk-dgavdadaev-gw-01 - PuTTY
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# commit
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# show interfaces
  ethernet eth0 {
    address 10.10.1.97/27
    address 2001:db8:1:1::1/64
    hw-id 0c:e7:ea:06:00:00
  }
  ethernet eth1 {
    address 10.10.1.17/28
    address 2001:db8:1:4::1/64
    hw-id 0c:e7:ea:06:00:01
  }
  ethernet eth2 {
    hw-id 0c:e7:ea:06:00:02
  }
  loopback lo {
  }
}
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01#
```

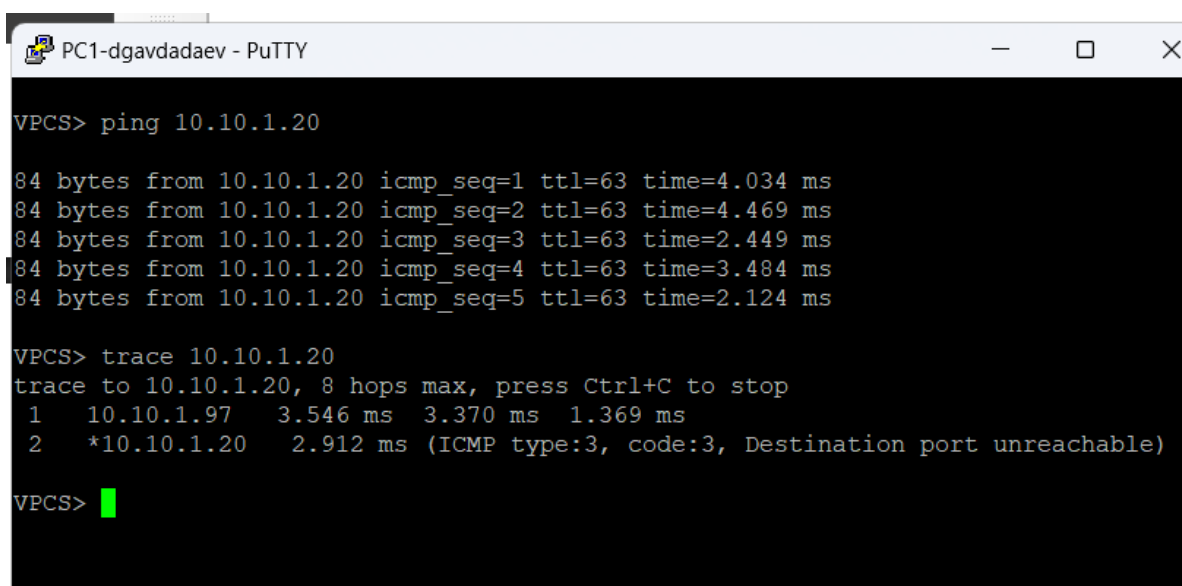
Рис. 2.24: Проверка интерфейсов VyOS

2.8.6 Проверка сетевой связности (ping и trace)

После настройки адресации выполнена проверка доступности узлов между собой по IPv4 и IPv6.

С узла **PC1-dgavdadaev** выполнен ping узла **PC2-dgavdadaev** по адресу 10.10.1.20. Ответы получены успешно. Трассировка маршрута показывает прохождение трафика через шлюз 10.10.1.97, что подтверждает маршрутизацию между подсетями.

Результаты проверки представлены на рисунке ниже.



```
PC1-dgavdadaev - PuTTY

VPCS> ping 10.10.1.20

84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=1 ttl=63 time=4.034 ms
84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=2 ttl=63 time=4.469 ms
84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=3 ttl=63 time=2.449 ms
84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=4 ttl=63 time=3.484 ms
84 bytes from 10.10.1.20 icmp_seq=5 ttl=63 time=2.124 ms

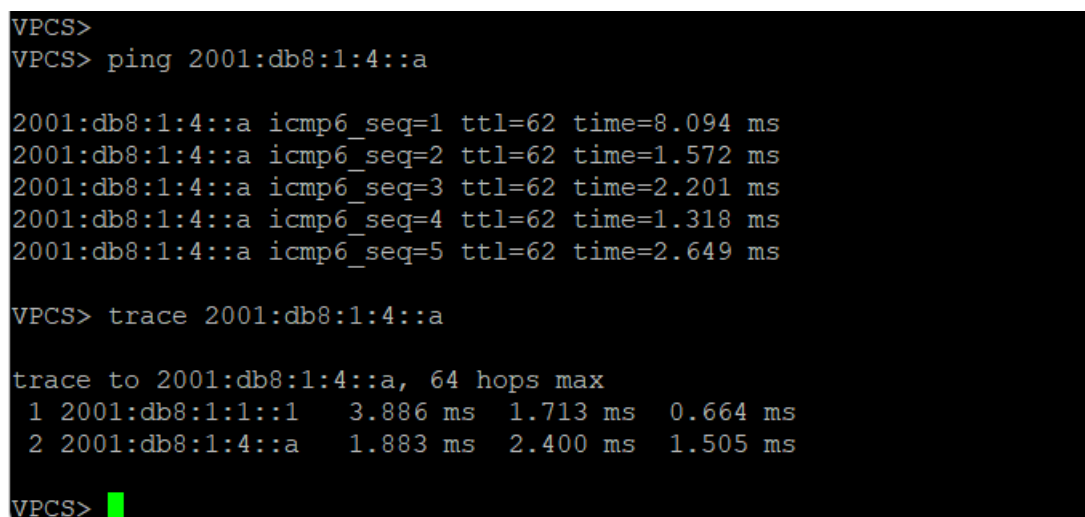
VPCS> trace 10.10.1.20
trace to 10.10.1.20, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  10.10.1.97    3.546 ms  3.370 ms  1.369 ms
 2  *10.10.1.20   2.912 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)

VPCS> █
```

Рис. 2.25: Ping и trace PC1 → PC2 по IPv4

Также с узла **PC1-dgavdadaev** выполнена проверка доступности узла **PC2-dgavdadaev** по IPv6-адресу 2001:db8:1:4::a. Эхо-запросы успешно доставляются, а трассировка подтверждает прохождение трафика через маршрутизатор (первым переходом отображается адрес интерфейса маршрутизатора 2001:db8:1:1::1).

Результаты проверки представлены на рисунке ниже.



```
VPCS>
VPCS> ping 2001:db8:1:4::a

2001:db8:1:4::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=8.094 ms
2001:db8:1:4::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=1.572 ms
2001:db8:1:4::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=2.201 ms
2001:db8:1:4::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=1.318 ms
2001:db8:1:4::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=2.649 ms

VPCS> trace 2001:db8:1:4::a

trace to 2001:db8:1:4::a, 64 hops max
 1 2001:db8:1:1::1 3.886 ms 1.713 ms 0.664 ms
 2 2001:db8:1:4::a 1.883 ms 2.400 ms 1.505 ms

VPCS> █
```

Рис. 2.26: Ping и trace PC1 → PC2 по IPv6

3 Заключение

В ходе выполнения работы были рассмотрены принципы адресации и разбиения сетей IPv4 и IPv6. На практике отработаны методы деления адресного пространства на подсети с использованием фиксированной и переменной длины префикса, а также выполнено сравнение подходов, применяемых в IPv4 и IPv6.

Для IPv4 были изучены способы расчёта масок, диапазонов адресов узлов и broadcast-адресов, а также выполнено разбиение сетей на подсети с заданным числом хостов. Для IPv6 проанализирована структура адреса, особенности отсутствия broadcast-адреса и различные варианты логического и иерархического разбиения сети с использованием идентификатора подсети и идентификатора интерфейса.

В процессе лабораторной работы была подтверждена важность корректного выбора длины префикса и соблюдения практических рекомендаций, в частности использования префикса /64 для локальных сегментов IPv6. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что грамотное планирование адресного пространства является ключевым фактором для масштабируемости, управляемости и корректной работы современных сетей.