

Отчёт по лабораторной работе №8

Адресация IPv4 и IPv6. Настройка маршрутизации

Авдадаев Джамал Геланиевич

Содержание

1 Цель работы	5
2 Выполнение задания	6
2.1 Построение туннеля IPv6–IPv4	6
2.1.1 Назначение IPv6-адресов оконечным устройствам	7
2.1.2 Установка и первичная настройка маршрутизаторов VyOS .	9
2.1.3 Проверка получения маршрутизатора по IPv6 на оконечных устройствах	12
2.1.4 Проверка связности и анализ трафика	14
2.1.5 Настройка динамической маршрутизации IPv4 (RIP)	15
2.1.6 Проверка маршрутизации IPv4	17
2.1.7 Анализ трафика протокола RIP и ICMP	18
2.1.8 Настройка туннеля	19
2.1.9 Настройка статической маршрутизации IPv6	21
2.1.10 Проверка доступности оконечных устройств по IPv6	22
2.1.11 Анализ прохождения пакетов по туннелю IPv6–IPv4	24
3 Заключение	26

Список иллюстраций

2.1 Топология сети IPv6–IPv4	7
2.2 Настройка IPv6 на PC1	8
2.3 Настройка IPv6 на PC2	9
2.4 Конфигурация msk-dgavdadaev-gw-01	10
2.5 Конфигурация msk-dgavdadaev-gw-02	11
2.6 Конфигурация msk-dgavdadaev-gw-03	12
2.7 Проверка IPv6 на PC1	13
2.8 Проверка IPv6 на PC2	13
2.9 Проверка ping с gw-01	14
2.10 Анализ ICMP и ARP трафика	15
2.11 Настройка RIP на msk-dgavdadaev-gw-01	16
2.12 Настройка RIP на msk-dgavdadaev-gw-02	16
2.13 Настройка RIP на msk-dgavdadaev-gw-03	17
2.14 Проверка ping после настройки RIP	18
2.15 Анализ RIP и ICMP трафика	19
2.16 Настройка туннеля на msk-dgavdadaev-gw-01	20
2.17 Настройка туннеля на msk-dgavdadaev-gw-02	21
2.18 Статический IPv6-маршрут на msk-dgavdadaev-gw-01	22
2.19 Статический IPv6-маршрут на msk-dgavdadaev-gw-02	22
2.20 Ping и traceroute с PC1	23
2.21 Ping и traceroute с PC2	24
2.22 Общий вид трафика IPv6 через IPv4	25
2.23 Детализация инкапсуляции IPv6 в IPv4	25

Список таблиц

1 Цель работы

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

2 Выполнение задания

2.1 Построение туннеля IPv6–IPv4

В ходе выполнения лабораторной работы в среде моделирования **GNS3** была построена сеть согласно заданной топологии, включающая три маршрутизатора **VyOS**, два Ethernet-коммутатора и два оконечных устройства типа **VPCS**. Устройства были переименованы в соответствии с требованиями задания с указанием имени учётной записи студента:

- маршрутизаторы: **msk-dgavdadaev-gw-01**, **msk-dgavdadaev-gw-02**, **msk-dgavdadaev-gw-03**;
- коммутаторы: **msk-dgavdadaev-sw-01**, **msk-dgavdadaev-sw-02**;
- оконечные устройства: **PC1-dgavdadaev**, **PC2-dgavdadaev**.

Между маршрутизаторами **msk-dgavdadaev-gw-01** и **msk-dgavdadaev-gw-03** был подключён анализатор трафика для последующего изучения обмена данными на уровне протоколов IPv4 и ICMP.

Сформированная топология сети представлена на рисунке ниже.

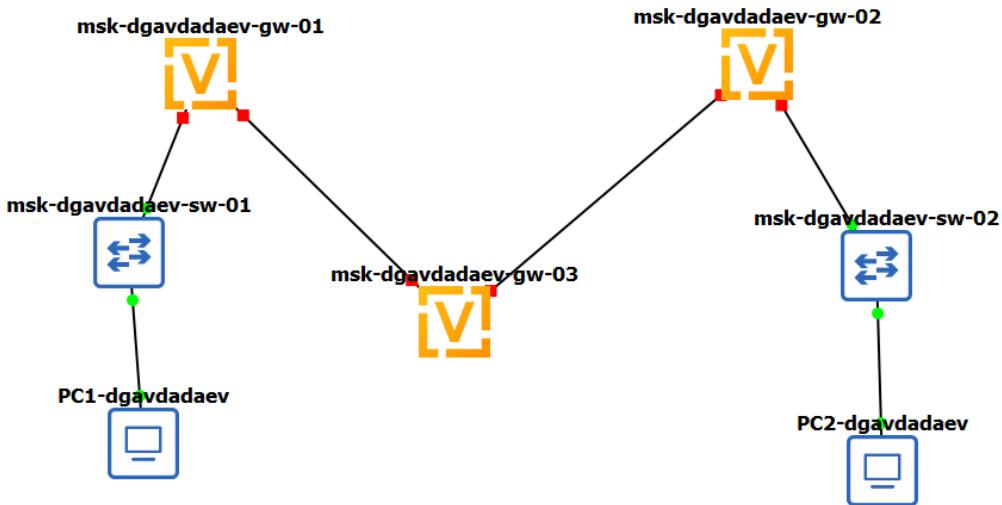


Рис. 2.1: Топология сети IPv6–IPv4

2.1.1 Назначение IPv6-адресов оконечным устройствам

После запуска узлов на оконечных устройствах **VPCS** были вручную настроены IPv6-адреса в соответствии с заданием.

На **PC1-dgavdadaev** был назначен глобальный IPv6-адрес **1000::a/64**, после чего конфигурация была сохранена командой `save`. Далее с помощью команды `show ipv6` была проверена корректность назначения адреса и наличие link-local адреса.

```
Executing the startup file

Hostname is too long. (Maximum 12 characters)

VPCS> ip 1000::a/64
PC1 : 1000::a/64

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

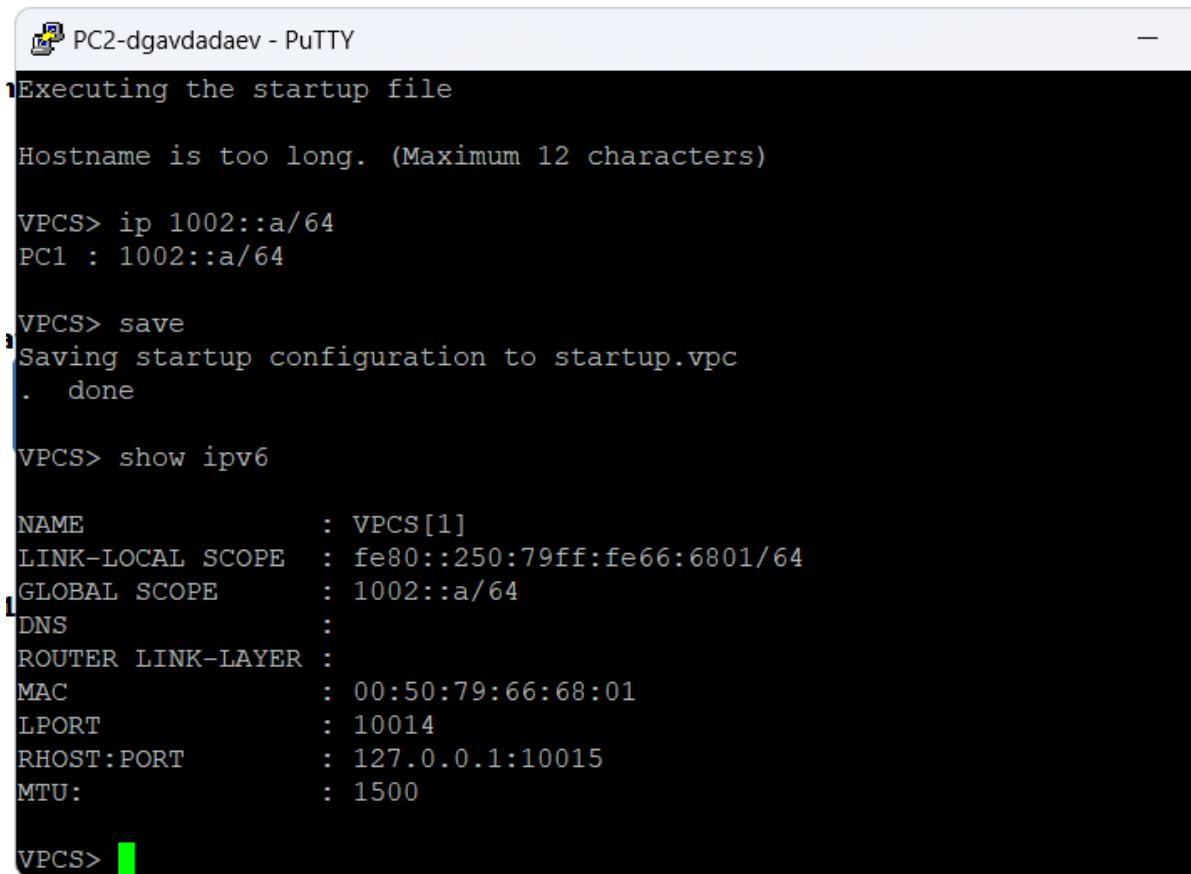
VPCS> show ipv6

NAME          : VPCS[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          : 10012
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:10013
MTU:          : 1500

VPCS>
```

Рис. 2.2: Настройка IPv6 на PC1

Аналогичным образом на **PC2-dgavdadaev** был настроен IPv6-адрес **1002::a/64**. После сохранения конфигурации также была выполнена проверка текущих IPv6-параметров.



PC2-dgavdadaev - PuTTY

```
Executing the startup file

Hostname is too long. (Maximum 12 characters)

VPCS> ip 1002::a/64
PC1 : 1002::a/64

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

VPCS> show ipv6

NAME : VPCS[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 : 10014
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10015
MTU : 1500

VPCS>
```

Рис. 2.3: Настройка IPv6 на PC2

Сообщение «*Hostname is too long (Maximum 12 characters)*», выводимое при старте VPCS, связано с внутренними ограничениями эмулятора и не влияет на работу сети.

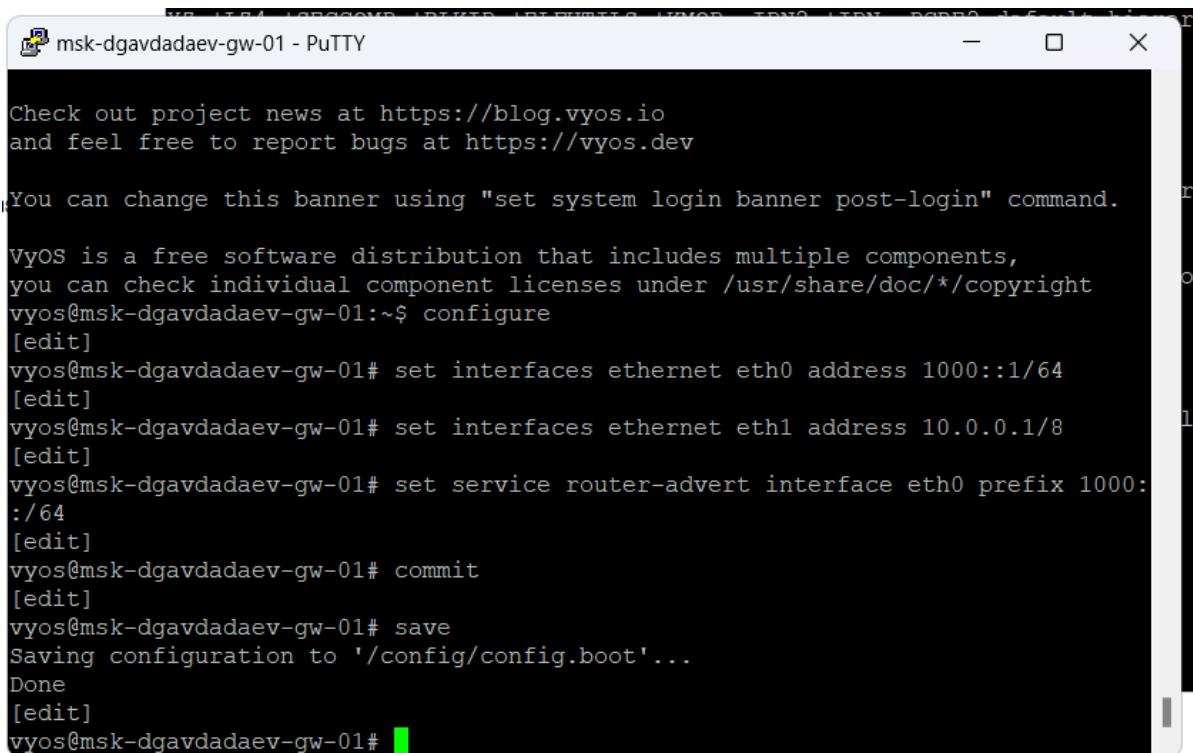
2.1.2 Установка и первичная настройка маршрутизаторов VyOS

На всех маршрутизаторах была выполнена установка системы **VyOS**. После завершения диалога установки устройства были перезагружены.

Далее каждый маршрутизатор был переведён в режим конфигурирования, где было изменено имя устройства в соответствии с принятой схемой именования. После внесения изменений конфигурация была применена и сохранена.

На маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-01** были настроены следующие пара-

метры: - интерфейсу **eth0** назначен IPv6-адрес **1000::1/64** для связи с локальной сетью; - интерфейсу **eth1** назначен IPv4-адрес **10.0.0.1/8** для соединения с маршрутизатором **gw-03**; - включена рассылка Router Advertisement для префикса **1000::/64**.



```
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-dgavdadaev-gw-01:~$ configure
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces ethernet eth0 address 1000::1/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces ethernet eth1 address 10.0.0.1/8
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set service router-advert interface eth0 prefix 1000:
:64
[edit]
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#
```

Рис. 2.4: Конфигурация msk-dgavdadaev-gw-01

На маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-02** была выполнена аналогичная настройка: - интерфейс **eth0** получил IPv6-адрес **1002::1/64**; - интерфейс **eth1** – IPv4-адрес **20.0.0.2/8**; - включена рассылка Router Advertisement для сети **1002::/64**.

```
msk-dgavdadaev-gw-02 - PuTTY

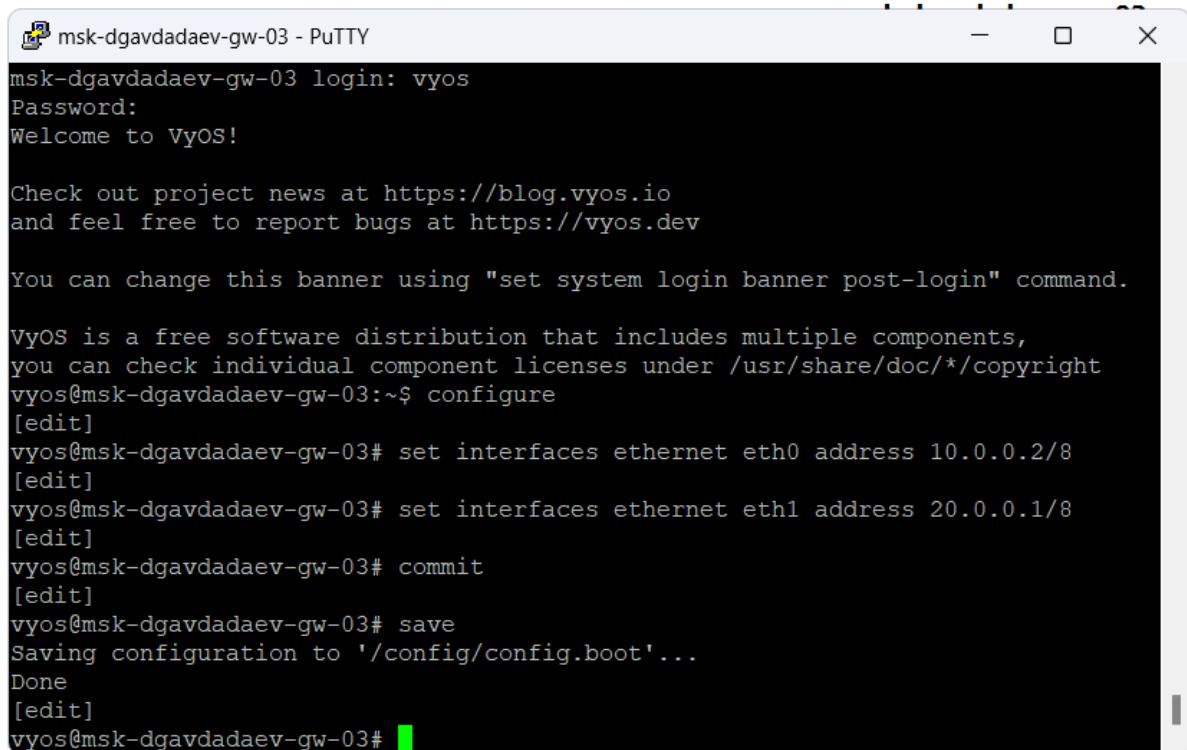
Check out project news at https://blog.vyos.io
and feel free to report bugs at https://vyos.dev

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

Рис. 2.5: Конфигурация msk-dgavdadaev-gw-02

Маршрутизатор **msk-dgavdadaev-gw-03** выполняет роль транзитного IPv4-узла. На нём были настроены только IPv4-адреса: - **eth0 — 10.0.0.2/8**; - **eth1 — 20.0.0.1/8**.



The screenshot shows a PuTTY terminal window titled "msk-dgavdadaev-gw-03 - PuTTY". The session log displays the following configuration steps:

```
msk-dgavdadaev-gw-03 login: vyos
Password:
Welcome to VyOS!

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-dgavdadaev-gw-03:~$ configure
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03# set interfaces ethernet eth0 address 10.0.0.2/8
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03# set interfaces ethernet eth1 address 20.0.0.1/8
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03# commit
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03#
```

Рис. 2.6: Конфигурация msk-dgavdadaev-gw-03

2.1.3 Проверка получения маршрутизатора по IPv6 на окончных устройствах

После завершения настройки маршрутизаторов на окончных устройствах была повторно выполнена команда `show ipv6`.

В выводе команд отображаются link-local адреса маршрутизаторов, что подтверждает корректную работу механизма Router Advertisement и автоматическое обнаружение шлюза по умолчанию.

```
VPCS> show ipv6

NAME : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6800/64
GLOBAL SCOPE : 1000::a/64
DNS :
ROUTER LINK-LAYER : 0c:5c:01:be:00:00
MAC : 00:50:79:66:68:00
LPORT : 10012
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10013
MTU: : 1500

VPCS>
```

Рис. 2.7: Проверка IPv6 на PC1

```
show ipv6

NAME : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE : 1002::a/64
DNS :
ROUTER LINK-LAYER : 0c:6f:56:8d:00:00
MAC : 00:50:79:66:68:01
LPORT : 10014
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10015
MTU: : 1500

VPCS>
```

Рис. 2.8: Проверка IPv6 на PC2

2.1.4 Проверка связности и анализ трафика

С маршрутизатора **msk-dgavdadaev-gw-01** была выполнена проверка IPv4-связности: - соединение с узлом **10.0.0.2** устанавливается успешно; - попытки обмена ICMP-пакетами с адресами **20.0.0.1** и **20.0.0.2** завершаются ошибкой *Network is unreachable*.

```
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01:~$  
vyos@msk-dgavdadaev-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=1.09 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=1.98 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=1.51 ms  
^C  
--- 10.0.0.2 ping statistics ---  
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 5ms  
rtt min/avg/max/mdev = 1.091/1.529/1.982/0.363 ms  
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01:~$ ping 20.0.0.1  
connect: Network is unreachable  
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01:~$ ping 20.0.0.2  
connect: Network is unreachable  
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01:~$
```

Рис. 2.9: Проверка ping с gw-01

Полученный результат объясняется отсутствием маршрутов к сети **20.0.0.0/8** на маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-01**. Маршрутизация между сегментами IPv4 в данной конфигурации не настроена, поэтому доступ возможен только в пределах непосредственно подключённой сети **10.0.0.0/8**.

Для подтверждения обмена данными был проанализирован трафик в анализаторе. В захваченных пакетах наблюдаются ICMP Echo Request и Echo Reply, а также ARP-запросы и ответы, используемые для определения MAC-адресов соседних узлов.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
13	5.008882	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0849, seq=6/153
14	5.010653	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0849, seq=6/153
15	5.277145	0c:f6:4a:e9:00:00	0c:5c:01:be:00:01	ARP	60	Who has 10.0.0.1? Tell 10.0.0.2
16	5.277389	0c:5c:01:be:00:01	0c:f6:4a:e9:00:00	ARP	60	10.0.0.1 is at 0c:5c:01:be:00:01
17	6.010888	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0849, seq=7/179
18	6.012828	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0849, seq=7/179
19	7.012195	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0849, seq=8/204
20	7.012895	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0849, seq=8/204
21	8.014522	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0849, seq=9/230
22	8.015906	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0849, seq=9/230
23	9.016657	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0849, seq=10/25
24	9.017603	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0849, seq=10/25
25	19.091609	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0871, seq=1/256
26	19.092227	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0871, seq=1/256
27	20.093444	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0871, seq=2/512
28	20.094623	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0871, seq=2/512
29	21.094823	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0871, seq=3/768
30	21.095494	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0871, seq=3/768

Below the table is a detailed analysis of the selected ICMP reply frame:

```

> Ethernet II, Src: 0c:f6:4a:e9:00:00 (0c:f6:4a:e9:00:00),
> Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.2, Dst: 10.0.0.1
└ Internet Control Message Protocol
  Type: Echo (ping) reply (0)
  Code: 0
  Checksum: 0xbacc [correct]
  [Checksum Status: Good]
  Identifier (BE): 2161 (0x0871)

Hex dump of the ICMP reply frame:
0000  0c 5c 01 be 00 01 0c f6 4a e9 00 00 08 00 45 00  .\.
0010  00 54 0a e0 00 00 40 01 5b c7 0a 00 00 02 0a 00  .T.
0020  00 01 00 00 ba cc 08 71 00 03 1d 71 84 69 00 00  ...
0030  00 00 d6 11 06 00 00 00 00 00 10 11 12 13 14 15  ...
0040  16 17 18 19 1a 1b 1c 1d 1e 1f 20 21 22 23 24 25  ...
0050  26 27 28 29 2a 2b 2c 2d 2e 2f 30 31 32 33 34 35  &'(
0060  36 37                                         67

```

Рис. 2.10: Анализ ICMP и ARP трафика

2.1.5 Настройка динамической маршрутизации IPv4 (RIP)

На следующем этапе лабораторной работы была выполнена настройка динамической маршрутизации IPv4 с использованием протокола **RIP**. Протокол RIP был выбран для автоматического распространения информации о маршрутах между маршрутизаторами, соединяющими IPv4-сегменты сети.

На маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-01** в конфигурации протоколов был добавлен IPv4-сегмент **10.0.0.0/8**, соответствующий сети, напрямую подключённой к интерфейсу **eth1**. После внесения изменений конфигурация была применена и сохранена.

```
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01:~$ configure
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set protocols rip net
network          network-distance
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set protocols rip network 10.0.0.0/8
[edit]
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#
```

Рис. 2.11: Настройка RIP на msk-dgavdadaev-gw-01

На маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-02** был настроен протокол RIP для сети **20.0.0.0/8**, связанной с интерфейсом **eth1**. После применения и сохранения конфигурации маршрутизатор начал обмен маршрутной информацией с соседними узлами.

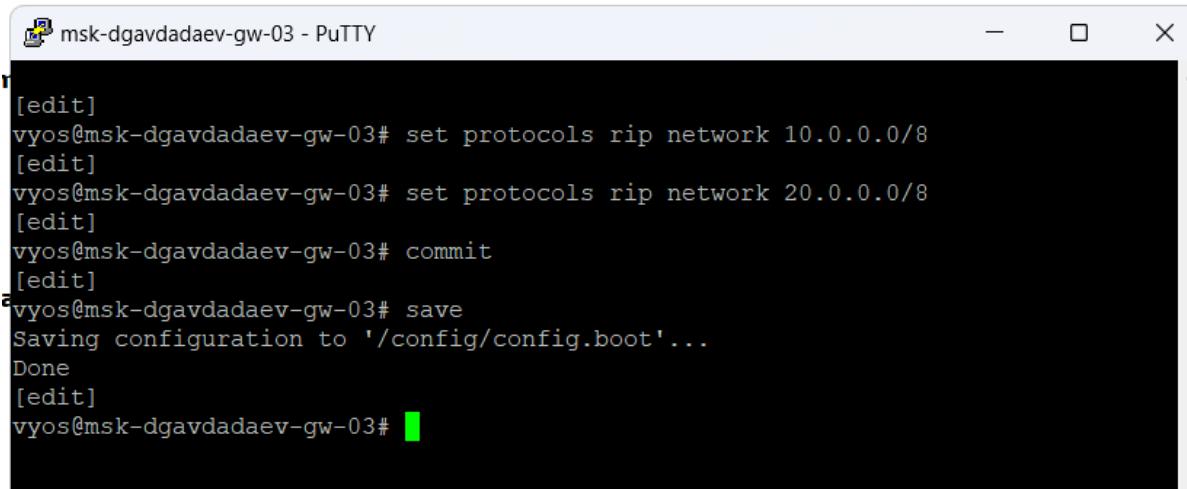
```
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set protocols rip network 20.0.0.0/8
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# commit
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02#
```

Рис. 2.12: Настройка RIP на msk-dgavdadaev-gw-02

Маршрутизатор **msk-dgavdadaev-gw-03**, выполняющий роль транзитного узла между двумя IPv4-сетями, был настроен на участие в протоколе RIP сразу для

двух сетей: - **10.0.0.0/8**; - **20.0.0.0/8**.

Это позволило обеспечить распространение маршрутной информации между сегментами сети.



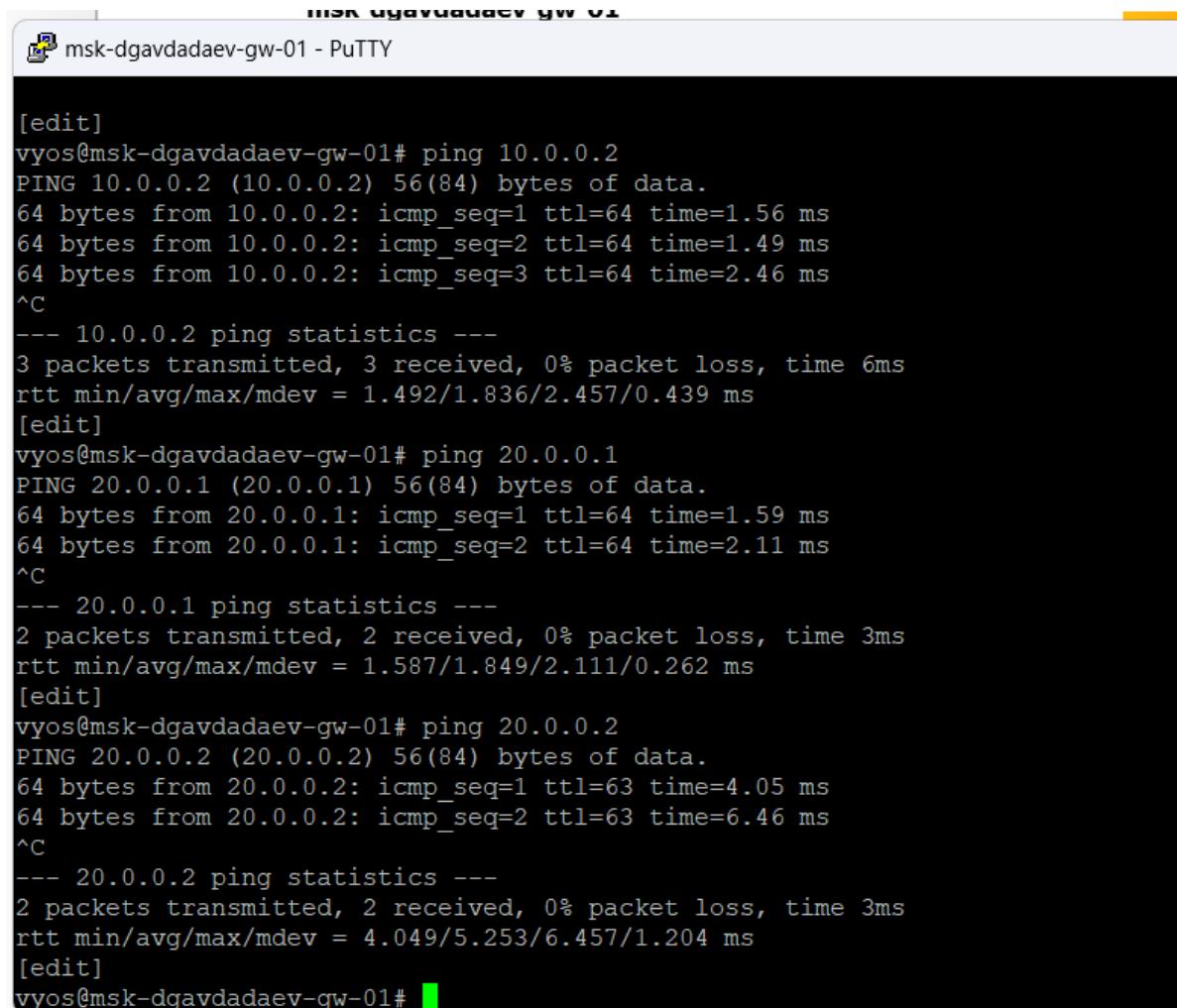
```
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03# set protocols rip network 10.0.0.0/8
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03# set protocols rip network 20.0.0.0/8
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03# commit
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-03#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

Рис. 2.13: Настройка RIP на msk-dgavdadaev-gw-03

2.1.6 Проверка маршрутизации IPv4

После завершения настройки динамической маршрутизации была повторно выполнена проверка связности с маршрутизатором **msk-dgavdadaev-gw-01**.

В результате выполнения ICMP-запросов было установлено: - соединение с узлом **10.0.0.2** устанавливается успешно; - соединение с узлом **20.0.0.1** также устанавливается успешно; - узел **20.0.0.2** стал доступен, что свидетельствует о корректном распространении маршрутов по протоколу RIP.



```
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-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=1.56 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=1.49 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=2.46 ms
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 6ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.492/1.836/2.457/0.439 ms
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-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=1.59 ms
64 bytes from 20.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=2.11 ms
^C
--- 20.0.0.1 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 3ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.587/1.849/2.111/0.262 ms
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-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=4.05 ms
64 bytes from 20.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=63 time=6.46 ms
^C
--- 20.0.0.2 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 3ms
rtt min/avg/max/mdev = 4.049/5.253/6.457/1.204 ms
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01#
```

Рис. 2.14: Проверка ping после настройки RIP

Подтверждение доступности всех IPv4-сегментов указывает на успешную настройку динамической маршрутизации между маршрутизаторами.

2.1.7 Анализ трафика протокола RIP и ICMP

Для подтверждения корректной работы протокола RIP и маршрутизации IPv4 был выполнен анализ трафика на соединении между маршрутизаторами **msk-dgavdadaev-gw-01** и **msk-dgavdadaev-gw-03**.

В захваченном трафике наблюдаются: - пакеты **RIPv2**, передаваемые на мультикаст-адрес **224.0.0.9**, используемые для обмена маршрутной ин-

формацией; - ICMP Echo Request и Echo Reply, подтверждающие успешную маршрутизацию пакетов между различными IPv4-сетями; - ARP-запросы и ответы, обеспечивающие сопоставление IP- и MAC-адресов на канальном уровне.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	10.0.0.2	224.0.0.9	RIPv2	66	Response
2	16.106195	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x097f, seq=1/256, ttl=64 (reply in progress)
3	16.107161	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x097f, seq=1/256, ttl=64 (request in progress)
4	17.108633	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x097f, seq=2/512, ttl=64 (reply in progress)
5	17.109468	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x097f, seq=2/512, ttl=64 (request in progress)
6	18.110575	10.0.0.1	10.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x097f, seq=3/768, ttl=64 (reply in progress)
7	18.111881	10.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x097f, seq=3/768, ttl=64 (request in progress)
8	21.374460	0c:f6:4a:e9:00:00	0c:5c:01:be:00:01	ARP	60	Who has 10.0.0.1? Tell 10.0.0.2
9	21.377104	0c:5c:01:be:00:01	0c:f6:4a:e9:00:00	ARP	60	10.0.0.1 is at 0c:5c:01:be:00:01
10	21.409632	0c:5c:01:be:00:01	0c:f6:4a:e9:00:00	ARP	60	Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1
11	21.410577	0c:f6:4a:e9:00:00	0c:5c:01:be:00:01	ARP	60	10.0.0.2 is at 0c:f6:4a:e9:00:00
12	22.936415	10.0.0.1	20.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0980, seq=1/256, ttl=64 (reply in progress)
13	22.937379	20.0.0.1	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0980, seq=1/256, ttl=64 (request in progress)
14	23.938829	10.0.0.1	20.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0980, seq=2/512, ttl=64 (reply in progress)
15	23.939911	20.0.0.1	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0980, seq=2/512, ttl=64 (request in progress)
16	28.072011	10.0.0.1	20.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0981, seq=1/256, ttl=64 (reply in progress)
17	28.075541	20.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0981, seq=1/256, ttl=63 (request in progress)
18	29.074066	10.0.0.1	20.0.0.2	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x0981, seq=2/512, ttl=64 (reply in progress)
19	29.079071	20.0.0.2	10.0.0.1	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x0981, seq=2/512, ttl=63 (request in progress)
20	33.002513	10.0.0.2	224.0.0.9	RIPv2	66	Response
21	63.004054	10.0.0.2	224.0.0.9	RIPv2	66	Response

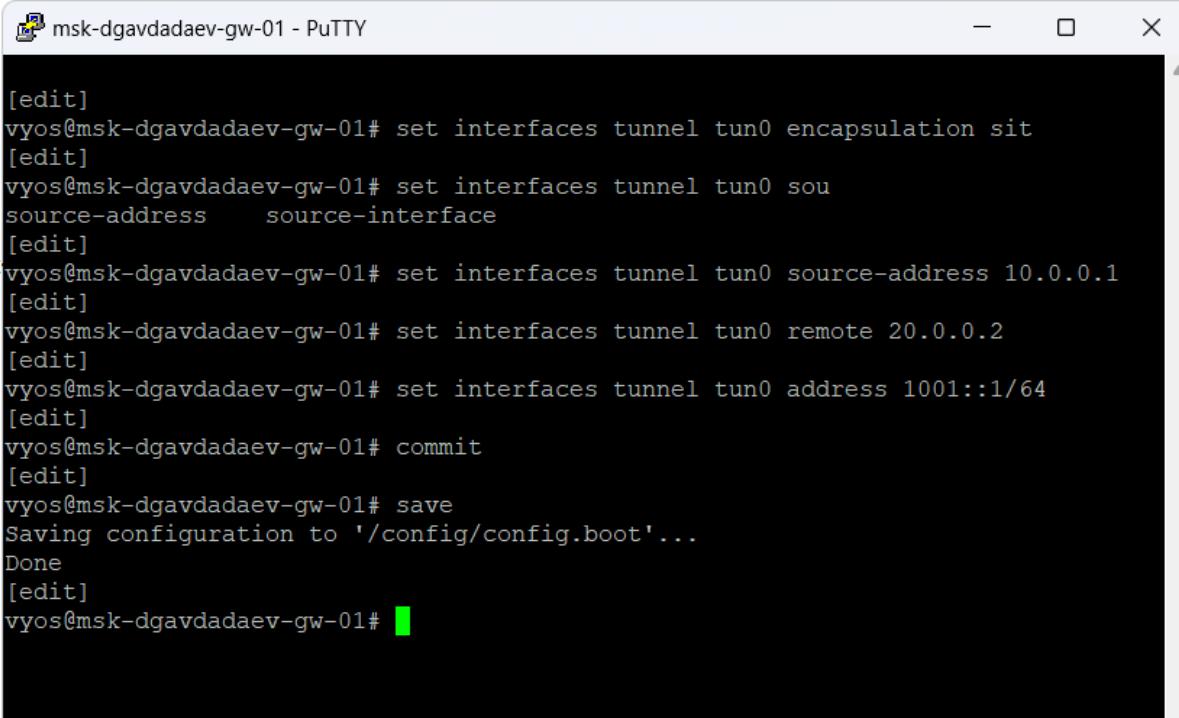
> Frame 1: Packet, 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) on interface eth0, link-layer type Ethernet II (Ethernet), source 0c:f6:4a:e9:00:00 (0c:f6:4a:e9:00:00), destination 224.0.0.9 (00:00:00:00:00:09) > Ethernet II, Src: 0c:f6:4a:e9:00:00 (0c:f6:4a:e9:00:00), Dst: IPv4mcast (00:00:00:00:00:09) > Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.2, Dst: 224.0.0.9 > User Datagram Protocol, Src Port: 520, Dst Port: 520 > Routing Information Protocol	0000 01 00 5e 00 00 09 0c f6 4a e9 00 00 08 00 45 c0 ..^..... J. 0010 00 34 30 03 40 00 01 11 5e eb 0a 00 00 02 e0 00 .40 @...^. 0020 00 09 02 08 02 08 00 20 fc 8c 02 02 00 00 00 02 ..:.... 0030 00 00 14 00 00 00 ff 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0040 00 01 ..
--	--

Рис. 2.15: Анализ RIP и ICMP трафика

2.1.8 Настройка туннеля

На маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-01** был создан туннельный интерфейс **tun0** со следующими параметрами: - тип инкапсуляции – **SIT**; - IPv4-адрес источника – **10.0.0.1**; - IPv4-адрес удалённого узла – **20.0.0.2**; - IPv6-адрес туннельного интерфейса – **1001::1/64**.

После применения и сохранения конфигурации туннельный интерфейс был успешно активирован.



```
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces tunnel tun0 encapsulation sit
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces tunnel tun0 source
source-address      source-interface
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces tunnel tun0 source-address 10.0.0.1
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces tunnel tun0 remote 20.0.0.2
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set interfaces tunnel tun0 address 1001::1/64
[edit]
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#
```

Рис. 2.16: Настройка туннеля на msk-dgavdadaev-gw-01

На маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-02** была выполнена симметричная настройка туннеля **tun0**: - тип инкапсуляции – **SIT**; - IPv4-адрес источника – **20.0.0.2**; - IPv4-адрес удалённого узла – **10.0.0.1**; - IPv6-адрес туннельного интерфейса – **1001::2/64**.

Данная конфигурация обеспечивает логическое IPv6-соединение между двумя маршрутизаторами поверх IPv4-инфраструктуры.

```
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set interfaces tunnel tun0 encapsulation sit
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set interfaces tunnel tun0 source-address 20.0.0.2
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set interfaces tunnel tun0 redirect remote
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set interfaces tunnel tun0 remote 10.0.0.1
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set interfaces tunnel tun0 address 1001::2/64
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# commit
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02#
```

Рис. 2.17: Настройка туннеля на msk-dgavdadaev-gw-02

2.1.9 Настройка статической маршрутизации IPv6

После создания туннеля была выполнена настройка статической маршрутизации IPv6 для обеспечения сквозной связности между IPv6-сегментами.

На маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-01** был добавлен маршрут к сети **1002::/64** с указанием следующего перехода через туннельный адрес **1001::2**.

```
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-01# set protocols static route6 1002::0/64 next-hop 1001::2
[edit]
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#
```

Рис. 2.18: Статический IPv6-маршрут на msk-dgavdadaev-gw-01

На маршрутизаторе **msk-dgavdadaev-gw-02** был настроен статический маршрут к сети **1000::/64** через следующий переход **1001::1**.

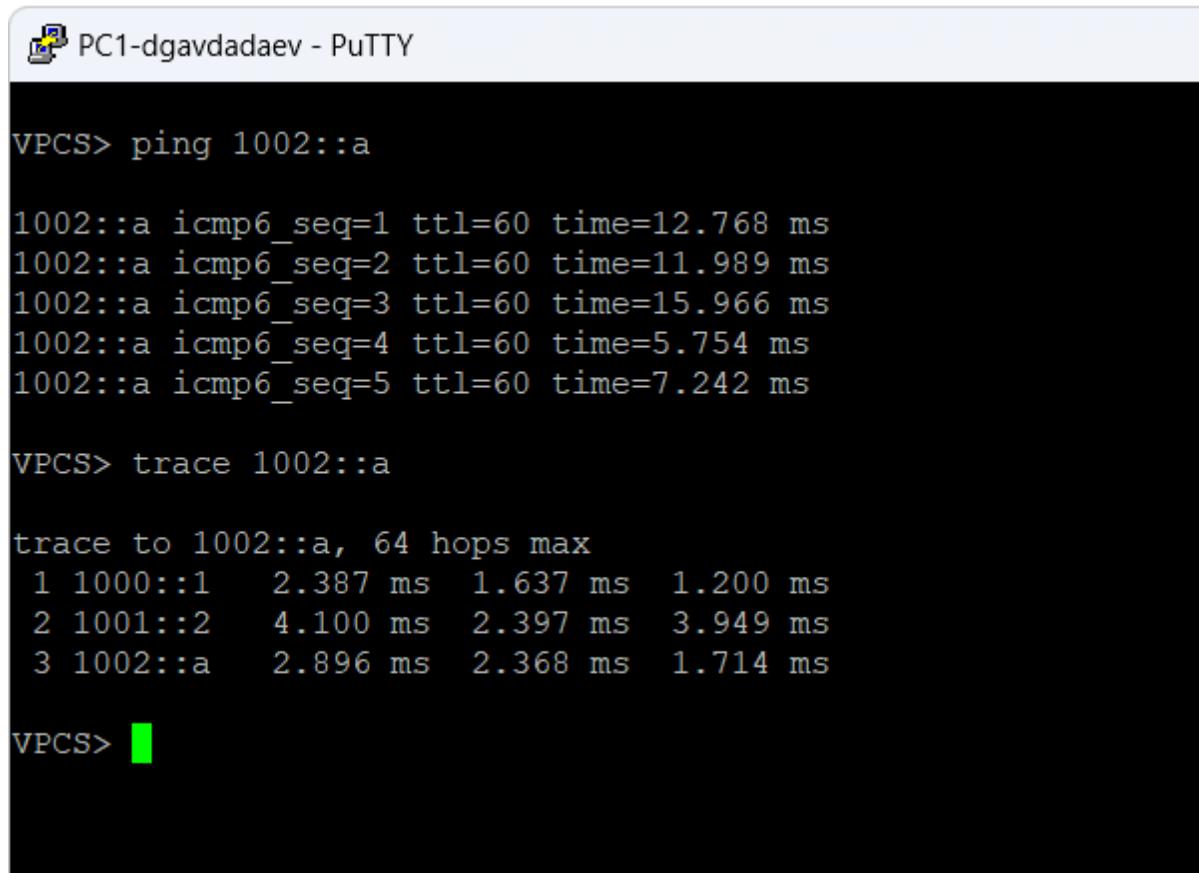
```
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# set protocols static route6 1000::0/64 next-hop 1001::1
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# commit
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-dgavdadaev-gw-02#
```

Рис. 2.19: Статический IPv6-маршрут на msk-dgavdadaev-gw-02

2.1.10 Проверка доступности оконечных устройств по IPv6

После завершения настройки туннеля и маршрутизации была подтверждена IPv6-доступность между оконечными устройствами.

С узла **PC1-dgavdadaev** была выполнена проверка связности с **PC2-dgavdadaev**. ICMPv6-запросы успешно достигали адреса **1002::a**, а трассировка показала прохождение пакетов через IPv6-шлюзы и туннельный интерфейс.



```
PC1-dgavdadaev - PuTTY

VPCS> ping 1002::a

1002::a icmp6_seq=1 ttl=60 time=12.768 ms
1002::a icmp6_seq=2 ttl=60 time=11.989 ms
1002::a icmp6_seq=3 ttl=60 time=15.966 ms
1002::a icmp6_seq=4 ttl=60 time=5.754 ms
1002::a icmp6_seq=5 ttl=60 time=7.242 ms

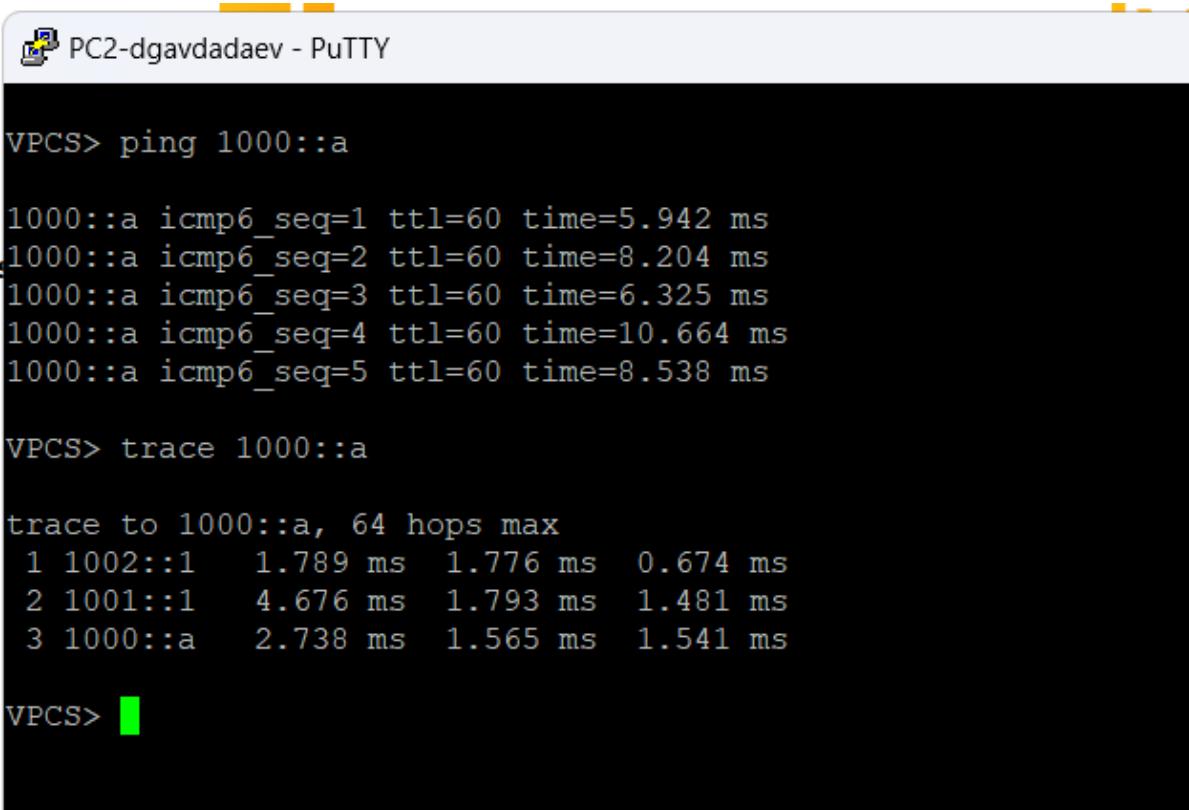
VPCS> trace 1002::a

trace to 1002::a, 64 hops max
1 1000::1    2.387 ms   1.637 ms   1.200 ms
2 1001::2    4.100 ms   2.397 ms   3.949 ms
3 1002::a    2.896 ms   2.368 ms   1.714 ms

VPCS> █
```

Рис. 2.20: Ping и traceroute с PC1

Аналогичная проверка была выполнена с узла **PC2-dgavdadaev** в направлении **PC1-dgavdadaev**. Результаты подтверждают симметричную доступность IPv6-узлов.



```
VPCS> ping 1000::a

1000::a icmp6_seq=1 ttl=60 time=5.942 ms
1000::a icmp6_seq=2 ttl=60 time=8.204 ms
1000::a icmp6_seq=3 ttl=60 time=6.325 ms
1000::a icmp6_seq=4 ttl=60 time=10.664 ms
1000::a icmp6_seq=5 ttl=60 time=8.538 ms

VPCS> trace 1000::a

trace to 1000::a, 64 hops max
1 1002::1    1.789 ms   1.776 ms   0.674 ms
2 1001::1    4.676 ms   1.793 ms   1.481 ms
3 1000::a    2.738 ms   1.565 ms   1.541 ms

VPCS>
```

Рис. 2.21: Ping и traceroute с PC2

2.1.11 Анализ прохождения пакетов по туннелю IPv6–IPv4

Для детального изучения работы туннеля был проанализирован трафик с использованием анализатора, подключённого к каналу между маршрутизаторами **msk-dgavdadaev-gw-01** и **msk-dgavdadaev-gw-03**.

В захваченном трафике наблюдается следующая картина: - исходные IPv6-пакеты (ICMPv6 Echo Request / Echo Reply) между адресами **1000::a** и **1002::a**; - инкапсуляция IPv6-пакетов внутрь IPv4-пакетов с протоколом **41**; - в заголовке IPv4 указываются адреса **20.0.0.2** и **10.0.0.1**, соответствующие концам туннеля; - полезная нагрузка IPv4-пакета содержит полный IPv6-заголовок и ICMPv6-сообщение.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
23	13.496483	1002::a	1000::a	ICMPv6	194	Destination Unreachable (Port unreachable)[Malformed Pack]
24	13.497840	1000::a	1002::a	UDP	146	43184 → 43185 Len=64
25	13.499439	1002::a	1000::a	ICMPv6	194	Destination Unreachable (Port unreachable)[Malformed Pack]
26	13.501231	1000::a	1002::a	UDP	146	43184 → 43185 Len=64
27	13.502351	1002::a	1000::a	ICMPv6	194	Destination Unreachable (Port unreachable)[Malformed Pack]
28	39.898232	10.0.0.2	224.0.0.9	RIPv2	66	Response
29	47.318765	1002::a	1000::a	ICMPv6	138	Echo (ping) request id=0xca73, seq=1, hop limit=63 (reply
30	47.319559	1000::a	1002::a	ICMPv6	138	Echo (ping) reply id=0xca73, seq=1, hop limit=61 (request
31	48.324749	1002::a	1000::a	ICMPv6	138	Echo (ping) request id=0xca73, seq=2, hop limit=63 (reply
32	48.327373	1000::a	1002::a	ICMPv6	138	Echo (ping) reply id=0xca73, seq=2, hop limit=61 (request
33	49.334818	1002::a	1000::a	ICMPv6	138	Echo (ping) request id=0xca73, seq=3, hop limit=63 (reply
34	49.337270	1000::a	1002::a	ICMPv6	138	Echo (ping) reply id=0xca73, seq=3, hop limit=61 (request
35	50.341896	1002::a	1000::a	ICMPv6	138	Echo (ping) request id=0xca73, seq=4, hop limit=63 (reply
36	50.346467	1000::a	1002::a	ICMPv6	138	Echo (ping) reply id=0xca73, seq=4, hop limit=61 (request
37	51.352965	1002::a	1000::a	ICMPv6	138	Echo (ping) request id=0xca73, seq=5, hop limit=63 (reply
38	51.356307	1000::a	1002::a	ICMPv6	138	Echo (ping) reply id=0xca73, seq=5, hop limit=61 (request
39	52.757358	0c:f6:4a:e9:00:00	0c:5c:01:be:00:01	ARP	60	Who has 10.0.0.1? Tell 10.0.0.2
40	52.758010	0c:5c:01:be:00:01	0c:f6:4a:e9:00:00	ARP	60	10.0.0.1 is at 0c:5c:01:be:00:01
41	52.790744	0c:5c:01:be:00:01	0c:f6:4a:e9:00:00	ARP	60	Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1
42	52.791451	0c:f6:4a:e9:00:00	0c:5c:01:be:00:01	ARP	60	10.0.0.2 is at 0c:f6:4a:e9:00:00
43	58.219091	1002::a	1000::a	UDP	146	47152 → 47153 Len=64
44	58.220248	1001::1	1002::a	ICMPv6	194	Time Exceeded (Hop limit exceeded in transit)

Рис. 2.22: Общий вид трафика IPv6 через IPv4

```
> Frame 29: Packet, 138 bytes on wire (1104 bits), 138 bytes captured (1104 bits) on interface -, id 0
> Ethernet II, Src: 0c:f6:4a:e9:00:00 (0c:f6:4a:e9:00:00), Dst: 0c:5c:01:be:00:01 (0c:5c:01:be:00:01)
  Internet Protocol Version 4, Src: 20.0.0.2, Dst: 10.0.0.1
    0100 .... = Version: 4
    .... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
    > Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
      Total Length: 124
      Identification: 0x58d9 (22745)
    > 010. .... = Flags: 0x2, Don't fragment
      ...0 0000 0000 0000 = Fragment Offset: 0
      Time to Live: 63
      Protocol: IPv6 (41)
      Header Checksum: 0xc47d [validation disabled]
        [Header checksum status: Unverified]
      Source Address: 20.0.0.2
      Destination Address: 10.0.0.1
        [Stream index: 0]
  < Internet Protocol Version 6, Src: 1002::a, Dst: 1000::a
    0110 .... = Version: 6
    .... 0000 0000 .... .... .... .... = Traffic Class: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
    .... 0000 0000 0000 0000 0000 = Flow Label: 0x00000
    Payload Length: 64
    Next Header: ICMPv6 (58)
    Hop Limit: 63
    > Source Address: 1002::a
    > Destination Address: 1000::a
      [Stream index: 0]
< Internet Control Message Protocol v6
  Type: Echo (ping) request (128)
  Code: 0
  Checksum: 0x9de7 [correct]
```

Рис. 2.23: Детализация инкапсуляции IPv6 в IPv4

3 Заключение

В ходе выполнения лабораторной работы была изучена и практически реализована технология взаимодействия сетей IPv4 и IPv6 с использованием туннелирования в среде моделирования **GNS3**. Была построена составная сетевая топология с несколькими маршрутизаторами **VyOS**, оконечными устройствами **VPCS** и Ethernet-коммутаторами, а также выполнена их корректная адресация и настройка в соответствии с заданием.

В процессе работы была настроена динамическая маршрутизация IPv4 с использованием протокола **RIP**, что обеспечило автоматическое распространение маршрутной информации между сегментами сети. После этого был создан туннель **IPv6-over-IPv4 (SIT)**, позволивший организовать логическое соединение между удалёнными IPv6-сетями поверх существующей IPv4-инфраструктуры. Для обеспечения связности IPv6-сегментов была дополнительно настроена статическая маршрутизация IPv6.

Проверка доступности оконечных устройств подтвердила корректность настройки туннеля и маршрутизации: ICMPv6-пакеты успешно передавались между узлами, а результаты трассировки показали прохождение трафика через туннельные интерфейсы. Анализ трафика с использованием **Wireshark** позволил наглядно проследить процесс инкапсуляции IPv6-пакетов в IPv4-пакеты с протоколом 41, а также подтвердить корректную работу протоколов **ARP**, **ICMP**, **ICMPv6** и **RIP**.