

Отчёт по лабораторной работе №6

Дисциплина: Сетевые технологии

Ибрахим Мухсейн Алькамаль

Содержание

1 Цель работы	6
2 Выполнение лабораторной работы	7
2.1 Разбиение сети на подсети	7
2.2 Настройка двойного стека адресации IPv4 и IPv6 в локальной сети . .	13
2.3 Задание для самостоятельного выполнения	31
2.4 Выводы	39

Список иллюстраций

2.1	Топология сети IPv4 и IPv6 в GNS3 с маршрутизаторами FRR и VyOS	14
2.2	Настройка и проверка IPv4/IPv6 адресации узла PC1	15
2.3	Настройка и проверка IPv4/IPv6 адресации узла PC2	16
2.4	Настройка IPv4 адресации сервера двойного стека	17
2.5	Настройка IPv4-адресации интерфейсов маршрутизатора FRR msk-alkamal-gw-01	18
2.6	Вывод команды show running-config на маршрутизаторе FRR msk-alkamal-gw-01	19
2.7	Состояние интерфейсов и IPv4-адресация маршрутизатора FRR msk-alkamal-gw-01	19
2.8	Проверка связности PC2 с PC1 и анализ маршрута с помощью ping и trace	20
2.9	Проверка связности PC2 с сервером двойного стека и трассировка маршрута	20
2.10	Настройка и проверка IPv6-адресации сервера двойного стека	21
2.11	Настройка и проверка IPv6-адресации узла PC3	22
2.12	Настройка и проверка IPv6-адресации узла PC4	23
2.13	Изменение имени маршрутизатора VyOS и сохранение конфигурации	24
2.14	Назначение IPv6-адресов и настройка Router Advertisement на маршрутизаторе VyOS	25
2.15	Проверка IPv6-адресации интерфейсов маршрутизатора VyOS командой show interfaces	25
2.16	Проверка IPv6-связности между PC4 и PC3 с помощью ping и trace	26
2.17	Проверка IPv6-доступности сервера двойного стека и анализ недостижимости	27
2.18	Недоступность IPv6-узлов с PC1 (IPv4)	28
2.19	Недоступность IPv6-узлов с PC2 (IPv4)	28
2.20	Недоступность IPv4-узлов с PC3 (IPv6)	28
2.21	Недоступность IPv4-узлов с PC4 (IPv6)	28
2.22	Доступ сервера двойного стека к IPv4 и IPv6 подсетям	29
2.23	ICMP-трафик IPv4 между сервером двойного стека и узлами подсети	30
2.24	Детализация ICMP-кадров и информация канального и сетевого уровней	31
2.25	Расчёт параметров подсети IPv4 10.10.1.96/27 в IP-калькуляторе	32
2.26	Расчёт параметров подсети IPv4 10.10.1.16/28 в IP-калькуляторе	33

2.27	Вариант таблицы адресации для подсетей 10.10.1.96/27 и 10.10.1.16/28 с IPv6- префиксами	33
2.28	Топология сети в GNS3 с переименованными устройствами	34
2.29	Настройка IPv4 и IPv6 адресации на узле PC1-alkamal	34
2.30	Настройка IPv4 и IPv6 адресации на узле PC1-alkamal	35
2.31	Настройка IPv4 и IPv6 адресации на узле PC2-alkamal	35
2.32	Настройка IPv4 и IPv6 адресации на узле PC2-alkamal	36
2.33	Настройка IPv4/IPv6 адресации интерфейсов маршрутизатора VyOS msk-alkamal-gw-01	36
2.34	Настройка IPv4/IPv6 адресации интерфейсов маршрутизатора VyOS msk-alkamal-gw-01	37
2.35	Проверка IPv4-связности между PC1 и PC2 с помощью ping и trace . .	37
2.36	Проверка IPv4-связности между PC2 и PC1 с помощью ping и trace . .	38
2.37	Проверка IPv6-связности между узлами подсети с помощью ping и trace	38

Список таблиц

1 Цель работы

Изучение принципов распределения и настройки адресного пространства на устройствах сети.

2 Выполнение лабораторной работы

2.1 Разбиение сети на подсети

2.1.1 Разбиение IPv4-сети на подсети

1. Задана IPv4-сеть 172.16.20.0/24. Для заданной сети определите префикс, маску, broadcast-адрес, число возможных подсетей, диапазон адресов узлов. Разбейте сеть на 3 подсети с максимально возможным числом адресов узлов 126, 62, 62 соответственно.

Задана IPv4-сеть 172.16.20.0/24.

Характеристика	Значение
Адрес сети	172.16.20.0/24
Префикс маски	/24
Маска	255.255.255.0
Broadcast-адрес	172.16.20.255
Адрес сети в двоичной форме	10101100.00010000.00010100.00000000
Маска в двоичной форме	11111111.11111111.11111111.00000000
Число возможных подсетей	$2^8=256$
Диапазон адресов узлов	172.16.20.1 - 172.16.20.254

Разбиение на 3 подсети с узлами 126, 62, 62

Подсеть 1 (на 126 узлов).

Требуется $126 + 2 = 128$ адресов $\rightarrow 2^7 = 128 \rightarrow$ префикс /25

Маска: 11111111.11111111.11111111.10000000 = 255.255.255.128

- Адрес подсети: 172.16.20.0/25
- Диапазон узлов: 172.16.20.1 – 172.16.20.126
- Broadcast: 172.16.20.127

Подсеть 2 (на 62 узла). Требуется $62 + 2 = 64$ адреса $\rightarrow 2^6 = 64 \rightarrow$ префикс /26

Маска: 11111111.11111111.11111111.11000000 = 255.255.255.192

- Адрес подсети: 172.16.20.128/26 (следующий блок после broadcast'а первой подсети)
- Диапазон узлов: 172.16.20.129 – 172.16.20.190
- Broadcast: 172.16.20.191

Подсеть 3 (на 62 узла). Требуется $62 + 2 = 64$ адреса \rightarrow префикс /26

Маска: 255.255.255.192

- Адрес подсети: 172.16.20.192/26 (следующий блок после broadcast'а второй подсети)
- Диапазон узлов: 172.16.20.193 – 172.16.20.254
- Broadcast: 172.16.20.255

Все подсети не пересекаются и полностью используют адресное пространство исходной сети /24.

2. Задана сеть 10.10.1.64/26. Для заданной сети определите префикс, маску, broadcast-адрес, число возможных подсетей, диапазон адресов узлов. Выделите в этой сети подсеть на 30 узлов. Запишите характеристики для выделенной подсети.

Характеристика	Значение
Адрес сети	10.10.1.64/26
Префикс маски	/26
Маска	255.255.255.192
Broadcast-адрес	10.10.1.127
Адрес сети в двоичной форме	00001010.00001010.00000001.01000000
Маска в двоичной форме	11111111.11111111.11111111.11000000
Число возможных подсетей	$2^6=64$
Диапазон адресов узлов	10.10.1.65 - 10.10.1.126

Чтобы разбить подсеть на 30 узлов, нужно $30 + 2 = 32$ адреса, следовательно маска подсети будет $11111111.11111111.11111111.11100000 = 255.255.255.224 = /27$. Диапазон адресов: 10.10.1.65 – 10.10.1.94. Адрес подсети: 10.10.1.64. Широковещательный адрес: 10.10.1.95.

характеристики для выделенной подсети.

- Адрес подсети: 10.10.1.64
- Маска: 255.255.255.224
- Префикс: /27
- Broadcast-адрес: 10.10.1.95
- Диапазон адресов узлов: 10.10.1.65 – 10.10.1.94
- Число узлов: 30

3. Задана сеть 10.10.1.0/26. Для этой сети определите префикс, маску, broadcast адрес, число возможных подсетей, диапазон адресов узлов. Выделите в этой сети подсеть на 14 узлов. Запишите характеристики для выделенной подсети.

Характеристика	Значение
Адрес сети	10.10.1.0/26
Префикс маски	/26
Маска	255.255.255.192
Broadcast-адрес	10.10.1.63
Адрес сети в двоичной форме	00001010.00001010.00000001.00000000
Маска в двоичной форме	11111111.11111111.11111111.11000000
Число возможных подсетей	$2^6=64$
Диапазон адресов узлов	10.10.1.1 - 10.10.1.62

Чтобы разбить подсеть на 14 узлов, нужно $14 + 2 = 16$ адресов, следовательно маска подсети будет $11111111.11111111.11111111.11110000 = 255.255.255.240 = /28$. Диапазон адресов: 10.10.1.1 - 10.10.1.14. Адрес подсети: 10.10.1.0. Широковещательный адрес: 10.10.1.15.

2.1.2 Разбиение IPv6-сети на подсети

1. Задана сеть 2001:db8:c0de::/48. Охарактеризуйте адрес, определите маску, префикс, диапазон адресов для узлов сети (краевые значения). Разбейте сеть на 2 подсети двумя способами – с использованием идентификатора подсети и с использованием идентификатора интерфейса. Поясните предложенные вами варианты разбиения.

Адрес 2001:db8:c0de::/48 – адрес из документационного IPv6-пространства (префикс 2001:db8::/32 зарезервирован для примеров и документации).

Характеристика	Значение
Адрес сети	2001:db8:c0de::/48

Характеристика	Значение
Длина префикса	48
Префикс	2001:db8:c0de::
Маска (нотация)	/48
Диапазон адресов узлов	2001:db8:c0de:0000:0000:0000:0000 – 2001:db8:c0de:ffff:ffff:ffff:ffff:ffff

Способ 1: разбиение с использованием идентификатора подсети (Subnet ID).

Исходный префикс сети – /48. Для разбиения сети на 2 подсети используется 1 старший бит из 16-битного поля Subnet ID, следующего за префиксом глобальной маршрутизации. В результате длина префикса увеличивается до /49. Последние 64 бита остаются идентификатором интерфейса узла.

- Подсеть A: 2001:db8:c0de:0000::/49
- Подсеть B: 2001:db8:c0de:8000::/49

значение старшего бита Subnet ID равно 0 для первой подсети и 1 для второй, что делит адресное пространство /48 на две равные части.

Способ 2: разбиение с использованием идентификатора интерфейса (Interface ID).

В этом способе сначала выбирается одна стандартная подсеть /64 из исходной сети, например:

2001 : db8 : c0de : 0000 : : /64

Для получения 2 подсетей используется 1 бит из 64-битного поля Interface ID. Длина префикса увеличивается с /64 до /65, при этом размер идентификатора интерфейса уменьшается с 64 до 63 бит.

- Подсеть 1: 2001:db8:c0de:0000::/65

- Подсеть 2: 2001:db8:c0de:0000:8000::/65

первый бит Interface ID принимает значение 0 или 1, что приводит к разделению одной подсети /64 на две равные подсети /65.

- Задана сеть 2a02:6b8::/64. Охарактеризуйте адрес, определите маску, префикс, диапазон адресов для узлов сети (краевые значения). Разбейте сеть на 2 подсети двумя способами — с использованием идентификатора подсети и с использованием идентификатора интерфейса. Поясните предложенные вами варианты разбиения.

Адрес 2a02:6b8::/64 — глобальный unicast IPv6-адрес (публично маршрутизуемое адресное пространство, префикс 2000 ::/3).

Первые 64 бита фиксированы и образуют префикс сети, оставшиеся 64 бита используются в качестве идентификатора интерфейса узла (Interface ID).

Характеристика	Значение
Адрес сети	2a02:6b8::/64
Длина префикса	64
Префикс	2a02:6b8:0000:0000
Маска (нотация)	ffff:ffff:ffff:ffff:0000:0000:0000:0000
Диапазон адресов узлов	2a02:6b8:0000:0000:0000:0000:0000:0000 – 2a02:6b8:0000:0000:ffff:ffff:ffff:ffff

Способ 1: разбиение с использованием идентификатора подсети (Subnet ID).

При данном подходе следующий за префиксом /64 бит интерпретируется как начало идентификатора подсети. Для получения 2 подсетей используется 1 дополнительный бит, что увеличивает длину префикса до /65.

- Подсеть A: 2a02:6b8::/65

- Подсеть B: 2a02:6b8:8000::/65

старший бит в части адреса, следующей за исходным 64-битным префиксом, принимает значение 0 (подсеть A) или 1 (подсеть B), что логически разделяет пространство на две равные части.

Способ 2: разбиение с использованием идентификатора интерфейса (Interface ID).

В этом способе разбиение выполняется за счёт поля идентификатора интерфейса. Для получения 2 подсетей используется 1 бит из 64-битного Interface ID, что увеличивает длину префикса с /64 до /65 и уменьшает размер идентификатора интерфейса до 63 бит.

- Подсеть 1: 2a02:6b8::/65
- Подсеть 2: 2a02:6b8:8000::/65

первый бит идентификатора интерфейса (65-й бит полного адреса) равен 0 для первой подсети и 1 для второй. Это делит адресное пространство исходной сети /64 на две равные подсети /65, уменьшая поле для адресации узлов.

Ключевое отличие в пояснениях: В первом способе акцент на логическом расширении префикса сети, во втором — на заимствовании бит из поля узла (Interface ID), что соответствует разным подходам к проектированию иерархии, описанным в методичке.

2.2 Настройка двойного стека адресации IPv4 и IPv6

в локальной сети

- Запущены GNS3 VM и GNS3, после чего создан новый проект. В рабочем пространстве размещены и соединены устройства строго в соответствии с заданной топологией: для подсети IPv4 используется маршрутизатор FRR, для подсети IPv6 — маршрутизатор VyOS (рис. 2.1).

Имена устройств изменены по установленному шаблону: коммутаторы — `msk-alkamal-sw-0x`, маршрутизаторы — `msk-alkamal-gw-0x`, узлы VPCS — `PCx-alkamal`. На соединении между сервером с двойной адресацией и ближайшим к нему коммутатором включён захват трафика для последующего анализа (рис. 2.1).

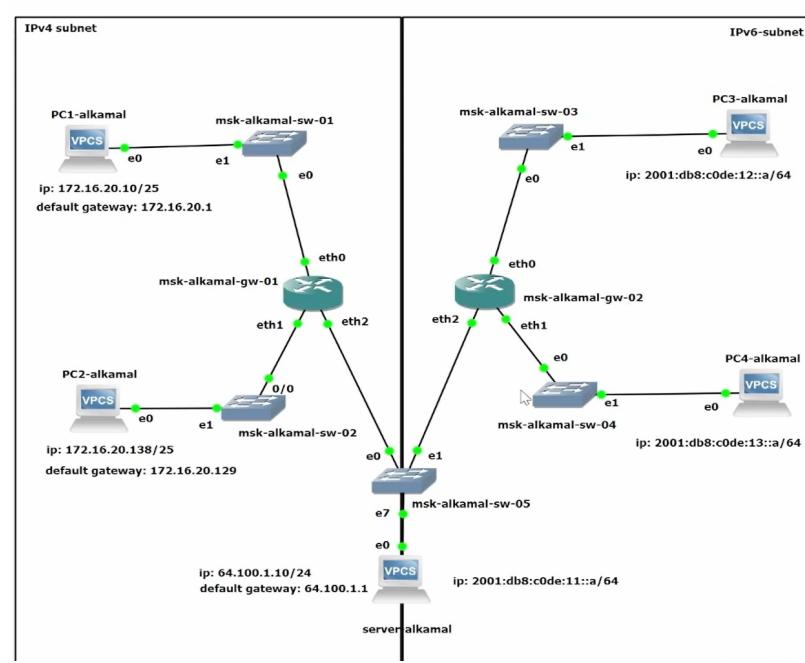


Рисунок 2.1: Топология сети IPv4 и IPv6 в GNS3 с маршрутизаторами FRR и VyOS

- Настроена IPv4-адресация на узле **PC1** в соответствии с таблицей адресации: назначен адрес `172.16.20.10/25` и шлюз по умолчанию `172.16.20.1`, после чего конфигурация сохранена и проверена командами `show ip` и `show ipv6` (рис. 2.2). Вывод подтверждает корректную установку IPv4-адреса и наличие только link-local IPv6-адреса, что соответствует условиям задания.

```
PC1-alkamal> ip 172.16.20.10/25 172.16.20.1
Checking for duplicate address...
PC1 : 172.16.20.10 255.255.255.128 gateway 172.16.20.1

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

PC1-alkamal> show ip

NAME      : PC1-alkamal[1]
IP/MASK   : 172.16.20.10/25
GATEWAY   : 172.16.20.1
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 10006
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10007
MTU:      : 1500

PC1-alkamal> show ipv6

NAME      : PC1-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6800/64
GLOBAL SCOPE   :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC       : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 10006
RHOST:PORT   : 127.0.0.1:10007
MTU:      : 1500
```

Рисунок 2.2: Настройка и проверка IPv4/IPv6 адресации узла PC1

- На узле **PC2** выполнена настройка IPv4-адреса 172.16.20.138/25 с указанием шлюза 172.16.20.129. Конфигурация сохранена, после чего параметры сети проверены с помощью команд `show ip` и `show ipv6` (рис. 2.3). Результаты вывода подтверждают правильность адресации IPv4 и автоматическое формирование IPv6 link-local адреса.

```
PC2-alkamal> ip 172.16.20.138/25 172.16.20.129
Checking for duplicate address...
PC1 : 172.16.20.138 255.255.255.128 gateway 172.16.20.129

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

PC2-alkamal> show ip

NAME      : PC2-alkamal[1]
IP/MASK   : 172.16.20.138/25
GATEWAY   : 172.16.20.129
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:01
LPORT     : 10004
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10005
MTU:      : 1500

PC2-alkamal> show ipv6

NAME      : PC2-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE   :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC       : 00:50:79:66:68:01
LPORT     : 10004
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10005
MTU:      : 1500
```

Рисунок 2.3: Настройка и проверка IPv4/IPv6 адресации узла PC2

- На узле **Server** настроен IPv4-адрес 64.100.1.10/24 с шлюзом по умолчанию 64.100.1.1. После сохранения конфигурации выполнена проверка сетевых параметров командой `show ip`, которая подтверждает корректное назначение адреса и шлюза (рис. 2.4).

```

VPCS> ip 64.100.1.10/24 64.100.1.1
Checking for duplicate address...
PC1 : 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       : 00:50:79:66:68:03
LPORT     : 10010
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10011
MTU:      : 1500

VPCS> show ipv6

NAME      : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6803/64
GLOBAL SCOPE   :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC       : 00:50:79:66:68:03
LPORT     : 10010
RHOST:PORT   : 127.0.0.1:10011
MTU:      : 1500

```

Рисунок 2.4: Настройка IPv4 адресации сервера двойного стека

- На маршрутизаторе FRR **msk-alkamal-gw-01** выполнена настройка IPv4-адресации интерфейсов локальной сети в соответствии с таблицей адресации. Интерфейсу **eth0** назначен адрес **172.16.20.1/25**, интерфейсу **eth1** – **172.16.20.129/25**, интерфейсу **eth2** – **64.100.1.1/24**, после чего все интерфейсы были переведены в активное состояние командой **no shutdown** (рис. 2.5). Конфигурация маршрутизатора сохранена в постоянную память командой **write memory**, что подтверждает корректное применение настроек.

```

[OK]
msk-alkamal-gw-01# configure terminal
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth0
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ip address 172.16.20.1/25
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth1
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ip address 172.16.20.129/25
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# interface eth2
msk-alkamal-gw-01(config-if)# ip address 64.100.1.1/24
msk-alkamal-gw-01(config-if)# no shutdown
msk-alkamal-gw-01(config-if)# exit
msk-alkamal-gw-01(config)# exit
msk-alkamal-gw-01# write memory
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
msk-alkamal-gw-01#

```

Рисунок 2.5: Настройка IPv4-адресации интерфейсов маршрутизатора FRR msk-alkamal-gw-01

- Выполнена проверка конфигурации маршрутизатора **msk-alkamal-gw-01**. Командой `show running-config` подтверждено наличие настроенных IPv4-адресов на интерфейсах **eth0**, **eth1** и **eth2** в полном соответствии с таблицей адресации, а также корректное имя устройства и использование интегрированной конфигурации FRR (рис. 2.6). Дополнительно командой `show interface brief` проверено состояние интерфейсов: интерфейсы **eth0**, **eth1** и **eth2** находятся в состоянии *up* и имеют назначенные IPv4-адреса, что подтверждает корректность настройки и готовность маршрутизатора к передаче трафика (рис. 2.7).

```

msk-alkamal-gw-01# show running-config
Building configuration...

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

```

Рисунок 2.6: Вывод команды show running-config на маршрутизаторе FRR msk-alkamal-gw-01

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	

Рисунок 2.7: Состояние интерфейсов и IPv4-адресация маршрутизатора FRR msk-alkamal-gw-01

- С узла **PC2** выполнена проверка связности с **PC1** и сервером двойного стека с использованием команд `ping` и `trace`. Эхо-запросы к узлу **PC1** (**172.16.20.10**) успешно доставляются, что подтверждается получением ICMP-ответов без потерь, а трассировка показывает прохождение трафика

через шлюз 172.16.20.129 с достижением конечного узла (рис. 2.8).

Аналогично, узел PC2 успешно обменивается ICMP-пакетами с сервером двойного стека 64.100.1.10, а вывод команды `trace` подтверждает корректный маршрут через интерфейс маршрутизатора FRR (рис. 2.9).

```
PC2-alkamal> ping 172.16.20.10
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=1 ttl=63 time=2.557 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=2 ttl=63 time=3.051 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=3 ttl=63 time=3.364 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=4 ttl=63 time=3.582 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=5 ttl=63 time=3.081 ms

PC2-alkamal> trace 172.16.20.10
trace to 172.16.20.10, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
1 172.16.20.129  2.087 ms  2.569 ms  1.159 ms
2 *172.16.20.10  4.566 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)

PC2-alkamal> ping 64.100.1.10
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=1 ttl=63 time=3.496 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=2 ttl=63 time=3.494 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=3 ttl=63 time=4.200 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=4 ttl=63 time=3.135 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=5 ttl=63 time=4.522 ms

PC2-alkamal> trace 64.100.1.10
trace to 64.100.1.10, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
1 172.16.20.129  2.884 ms  1.081 ms  1.003 ms
2 *64.100.1.10   1.838 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)
```

Рисунок 2.8: Проверка связности PC2 с PC1 и анализ маршрута с помощью `ping` и `trace`

```
PC2-alkamal> ping 172.16.20.10
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=1 ttl=63 time=2.557 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=2 ttl=63 time=3.051 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=3 ttl=63 time=3.364 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=4 ttl=63 time=3.582 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=5 ttl=63 time=3.081 ms

PC2-alkamal> trace 172.16.20.10
trace to 172.16.20.10, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
1 172.16.20.129  2.087 ms  2.569 ms  1.159 ms
2 *172.16.20.10  4.566 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)

PC2-alkamal> ping 64.100.1.10
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=1 ttl=63 time=3.496 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=2 ttl=63 time=3.494 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=3 ttl=63 time=4.200 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=4 ttl=63 time=3.135 ms
84 bytes from 64.100.1.10 icmp_seq=5 ttl=63 time=4.522 ms

PC2-alkamal> trace 64.100.1.10
trace to 64.100.1.10, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
1 172.16.20.129  2.884 ms  1.081 ms  1.003 ms
2 *64.100.1.10   1.838 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)
```

Рисунок 2.9: Проверка связности PC2 с сервером двойного стека и трассировка маршрута

- На узле **Server** выполнена настройка IPv6-адресации в соответствии с таблицей адресации: назначен глобальный адрес 2001:db8:c0de:11::a/64, после чего конфигурация сохранена. Проверка командами `show ip` и

`show ipv6` подтверждает сохранение ранее настроенного IPv4-адреса и корректное добавление глобального IPv6-адреса вместе с link-local адресом (рис. 2.10).

```
VPCS> ip 2001:db8:c0de:11::a/64
PC1 : 2001:db8:c0de:11::a/64

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       : 00:50:79:66:68:03
LPORT     : 10010
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10011
MTU:      : 1500

VPCS> show ipv4
Invalid arguments

VPCS> show ipv6

NAME      : VPCS[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6803/64
GLOBAL SCOPE   : 2001:db8:c0de:11::a/64
ROUTER LINK-LAYER :
MAC       : 00:50:79:66:68:03
LPORT     : 10010
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10011
MTU:      : 1500
```

Рисунок 2.10: Настройка и проверка IPv6-адресации сервера двойного стека

- На узле **PC3** настроен IPv6-адрес `2001:db8:c0de:12::a/64` и выполнено сохранение конфигурации. Вывод команды `show ip` показывает отсутствие IPv4-адреса, а команда `show ipv6` подтверждает наличие глобального IPv6-адреса и автоматически сформированного link-local адреса, что соответствует заданным условиям (рис. 2.11).

```
PC3-alkamal> ip 2001:db8:c0de:12::a/64
PC1 : 2001:db8:c0de:12::a/64

PC3-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC3-alkamal> show ip

NAME      : PC3-alkamal[1]
IP/MASK   : 0.0.0.0/0
GATEWAY   : 0.0.0.0
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 20034
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20035
MTU       : 1500

PC3-alkamal> show ipv6

NAME      : PC3-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6800/64
GLOBAL SCOPE    : 2001:db8:c0de:12::a/64
DNS       :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC       : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 20034
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20035
MTU       : 1500

PC3-alkamal>
```

Рисунок 2.11: Настройка и проверка IPv6-адресации узла PC3

- На узле PC4 выполнена настройка IPv6-адреса 2001 : db8 : c0de : 13 : : a/64 с последующим сохранением конфигурации. Проверка конфигурации показывает отсутствие IPv4-адреса и корректное назначение глобального IPv6-адреса, а также наличие link-local адреса интерфейса (рис. 2.12).

```

PC4-alkamal> ip 2001:db8:c0de:13::a/64
PC1 : 2001:db8:c0de:13::a/64

PC4-alkamal> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done

PC4-alkamal> show ip

NAME      : PC4-alkamal[1]
IP/MASK   : 0.0.0.0/0
GATEWAY   : 0.0.0.0
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:02
LPORT     : 10008
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10009
MTU:      : 1500

PC4-alkamal> show ipv6

NAME      : PC4-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6802/64
GLOBAL SCOPE    : 2001:db8:c0de:13::a/64
ROUTER LINK-LAYER :
MAC       : 00:50:79:66:68:02
LPORT     : 10008
RHOST:PORT : 127.0.0.1:10009
MTU:      : 1500

```

Рисунок 2.12: Настройка и проверка IPv6-адресации узла РС4

- На маршрутизаторе VyOS выполнен переход в режим конфигурирования и изменено имя устройства на msk-alkamal-gw-02. Корректность внесённых изменений проверена командой compare, после чего конфигурация применена командой commit и сохранена в файл конфигурации config.boot. Завершением этапа стала перезагрузка маршрутизатора для применения нового имени хоста на уровне системы (рис. 2.13).

```
EXIITING...
vyos@vyos:~$ configure
[edit]
vyos@vyos# set system host-name msk-alkamal-gw-02
[edit]
vyos@vyos# compare
[edit system]
>host-name msk-alkamal-gw-02
[edit]
vyos@vyos# commit
[edit]
vyos@vyos# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@vyos# exit
exit
vyos@vyos:~$ reboot
Are you sure you want to reboot this system? [y/N] [y]
```

Рисунок 2.13: Изменение имени маршрутизатора VyOS и сохранение конфигурации

- На маршрутизаторе **msk-alkamal-gw-02 (VyOS)** выполнена настройка IPv6-адресации интерфейсов локальной сети. В режиме конфигурирования интерфейсам **eth0**, **eth1** и **eth2** назначены IPv6-адреса `2001:db8:c0de:12::1/64`, `2001:db8:c0de:13::1/64` и `2001:db8:c0de:11::1/64` соответственно, а также включена рассылка Router Advertisement для каждого интерфейса с соответствующими префиксами, что обеспечивает автоматическую конфигурацию узлов в подсетях (рис. 2.14). Конфигурация применена и сохранена командами `commit` и `save`, после чего корректность назначения адресов подтверждена выводом команды `show interfaces`, где отображаются заданные IPv6-адреса на всех интерфейсах маршрутизатора (рис. 2.15).

```
vyos@msk-alkamal-gw-02:~$  configure
[edit]
1/64@msk-alkamal-gw-02# set interfaces ethernet eth0 address 2001:db8:c0de:12::
[edit]
:c0de:12::/64mal-gw-02# set service router-advert interface eth0 prefix 2001:db8
[edit]
1/64@msk-alkamal-gw-02# set interfaces ethernet eth1 address 2001:db8:c0de:13::
[edit]
:c0de:13::/64mal-gw-02# set service router-advert interface eth1 prefix 2001:db8
[edit]
/64s@msk-alkamal-gw-02# set interfaces ethernet eth2 address 2001:db8:c0de:11::1
[edit]
:c0de:11::/64mal-gw-02# set service router-advert interface eth2 prefix 2001:db8
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02#  compare
[edit interfaces ethernet eth0]
+address 2001:db8:c0de:12::1/64
[edit interfaces ethernet eth1]
+address 2001:db8:c0de:13::1/64
[edit interfaces ethernet eth2]
+address 2001:db8:c0de:11::1/64
[edit service]
+routing-advert {
+    interface eth0 {
+        prefix 2001:db8:c0de:12::/64 {
+    }
+
+    interface eth1 {
+        prefix 2001:db8:c0de:13::/64 {
+    }
+
+    interface eth2 {
+        prefix 2001:db8:c0de:11::/64 {
+    }
+
+}
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02#
```

Рисунок 2.14: Назначение IPv6-адресов и настройка Router Advertisement на маршрутизаторе VyOS

```
vyos@msk-alkamal-gw-02#  commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-02#  show interfaces
ethernet eth0 {
    address dhcp
    address 2001:db8:c0de:12::1/64
    hw-id 0c:65:7a:67:00:00
}
ethernet eth1 {
    address 2001:db8:c0de:13::1/64
    hw-id 0c:65:7a:67:00:01
}
ethernet eth2 {
    address 2001:db8:c0de:11::1/64
    hw-id 0c:65:7a:67:00:02
}
loopback lo {
}
[edit]
```

Рисунок 2.15: Проверка IPv6-адресации интерфейсов маршрутизатора VyOS командой show interfaces

- С узла **PC4** выполнена проверка IPv6-связности с узлом **PC3** с использованием

команд ping и trace. Эхо-запросы к адресу 2001:db8:c0de:12::a успешно доставляются, а трассировка подтверждает прохождение трафика через интерфейс маршрутизатора 2001:db8:c0de:13::1 с достижением конечного узла, что свидетельствует о корректной маршрутизации внутри IPv6-подсети (рис. 2.16).

```
PC4-alkamal> ping 2001:db8:c0de:12::a
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=8.000 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=4.077 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=4.372 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=3.326 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=3.997 ms

PC4-alkamal> trace 2001:db8:c0de:12::a
trace to 2001:db8:c0de:12::a, 64 hops max
1 2001:db8:c0de:13::1 7.415 ms 2.549 ms 4.417 ms
2 2001:db8:c0de:12::a 4.895 ms 5.042 ms 5.061 ms
```

Рисунок 2.16: Проверка IPv6-связности между PC4 и PC3 с помощью ping и trace

- Проверка доступа узла PC4 к серверу двойного стека по IPv6 адресу 2001:db8:c0de:11::a показала отсутствие связности: эхо-запросы завершаются сообщениями *Address unreachable*, а трассировка фиксирует недостижимость целевого адреса за пределами маршрутизатора. Это подтверждает логическую изоляцию IPv6-подсети от сервера, за исключением разрешённых маршрутов (рис. 2.17).

```

PC4-alkamal> trace 2001:db8:c0de:12::a
trace to 2001:db8:c0de:12::a, 64 hops max
1 2001:db8:c0de:13::1 7.415 ms 2.549 ms 4.417 ms
2 2001:db8:c0de:12::a 4.895 ms 5.042 ms 5.061 ms

PC4-alkamal> ping 2001:db8:c0de:11::a
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=1 timeout
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=2 timeout
*2001:db8:c0de:13::1 icmp6_seq=3 ttl=64 time=0.000 ms (ICMP type:1, code:3, Address unreachable)
*2001:db8:c0de:13::1 icmp6_seq=4 ttl=64 time=0.000 ms (ICMP type:1, code:3, Address unreachable)
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=5 timeout

PC4-alkamal> ping 2001:db8:c0de:12::a
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=4.213 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=4.225 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=3.375 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=5.174 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=3.765 ms

PC4-alkamal> trace 2001:db8:c0de:12::a
trace to 2001:db8:c0de:12::a, 64 hops max
1 2001:db8:c0de:13::1 5.665 ms 2.884 ms 3.518 ms
2 2001:db8:c0de:12::a 3.923 ms 3.815 ms 1.973 ms

PC4-alkamal> ping 2001:db8:c0de:11::a
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=1 timeout
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=2 timeout
*2001:db8:c0de:13::1 icmp6_seq=3 ttl=64 time=0.000 ms (ICMP type:1, code:3, Address unreachable)
*2001:db8:c0de:13::1 icmp6_seq=4 ttl=64 time=0.000 ms (ICMP type:1, code:3, Address unreachable)
2001:db8:c0de:11::a icmp6_seq=5 timeout

PC4-alkamal> trace 2001:db8:c0de:11::a
trace to 2001:db8:c0de:11::a, 64 hops max
1 2001:db8:c0de:13::1 5.837 ms 1.033 ms 0.737 ms
2 * *
3 *2001:db8:c0de:13::1 61.446 ms (ICMP type:1, code:3, Address unreachable)

```

Рисунок 2.17: Проверка IPv6-доступности сервера двойного стека и анализ недостижимости

- Проведена проверка изоляции подсетей IPv4 и IPv6. Эхо-запросы с узлов IPv4 (**PC1**, **PC2**) к IPv6-адресам узлов (**PC3**, **PC4**) завершаются сообщением *host not reachable*, что подтверждает отсутствие IPv6-доступа из IPv4-подсети (рис. 2.18, рис. 2.19). Аналогично, эхо-запросы с узлов IPv6 (**PC3**, **PC4**) к IPv4-адресам узлов (**PC2**) недостижимы, что подтверждает отсутствие IPv4-доступа из IPv6-подсети (рис. 2.20, рис. 2.21). Таким образом, обеспечена взаимная изоляция подсетей, при которой только сервер двойного стека имеет доступ к обеим адресным семействам. При этом эхо-запросы, отправленные с сервера двойного стека, успешно достигают узлов обеих подсетей, что подтверждает корректную работу Dual Stack (рис. 2.22).

```
PC1-alkamal> ping 2001:db8:c0de:12::a  
host (2001:db8:c0de:12::a) not reachable  
PC1-alkamal> ping 2001:db8:c0de:13::a  
host (2001:db8:c0de:13::a) not reachable
```

Рисунок 2.18: Недоступность IPv6-узлов с PC1 (IPv4)

```
PC2-alkamal> ping 2001:db8:c0de:13::a  
host (2001:db8:c0de:13::a) not reachable
```

Рисунок 2.19: Недоступность IPv6-узлов с PC2 (IPv4)

```
PC3-alkamal> ping 172.16.20.138  
host (172.16.20.138) not reachable
```

Рисунок 2.20: Недоступность IPv4-узлов с PC3 (IPv6)

```
PC4-alkamal> ping 172.16.20.138  
host (172.16.20.138) not reachable
```

Рисунок 2.21: Недоступность IPv4-узлов с PC4 (IPv6)

```

VPCS> ping 172.16.20.10
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=1 ttl=63 time=4.477 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=2 ttl=63 time=4.287 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=3 ttl=63 time=3.625 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=4 ttl=63 time=2.357 ms
84 bytes from 172.16.20.10 icmp_seq=5 ttl=63 time=2.328 ms

VPCS> ping 172.16.20.138
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=1 ttl=63 time=7.726 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=2 ttl=63 time=2.700 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=3 ttl=63 time=3.626 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=4 ttl=63 time=3.480 ms
84 bytes from 172.16.20.138 icmp_seq=5 ttl=63 time=2.780 ms

VPCS> ping 2001:db8:c0de:12::a
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=6.117 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=9.118 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=3.035 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=3.480 ms
2001:db8:c0de:12::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=4.632 ms

VPCS> ping 2001:db8:c0de:13::a
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=3.363 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=4.467 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=4.903 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=2.814 ms
2001:db8:c0de:13::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=3.085 ms

```

Рисунок 2.22: Доступ сервера двойного стека к IPv4 и IPv6 подсетям

- В захваченном трафике на соединении сервера двойного стека с коммутатором фиксируются **ICMP-пакеты IPv4**, отражающие проверку связности между узлами IPv4-подсети и сервером. Наблюдаются запросы *Echo (ping) request* и соответствующие *Echo (ping) reply*, что подтверждает успешный обмен ICMP-сообщениями между адресами 172.16.20.10, 172.16.20.138 и 64.100.1.10. Также зафиксированы сообщения *Destination unreachable (Port unreachable)*, указывающие на недоступность определённых сервисов или направлений, что соответствует логике изоляции подсетей (рис. 2.23).

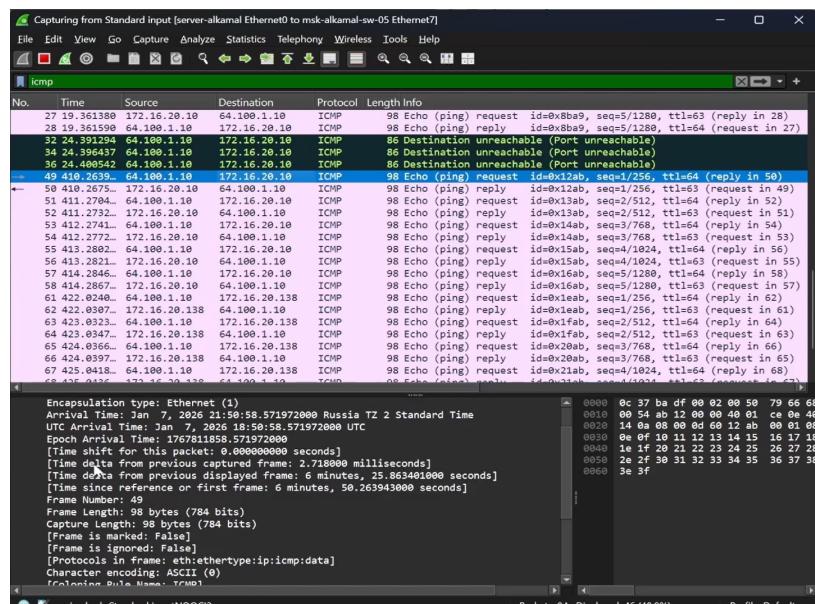


Рисунок 2.23: ICMP-трафик IPv4 между сервером двойного стека и узлами подсети

- Дополнительно анализ пакетов показывает, что обмен данными осуществляется на уровне Ethernet и IPv4 с инкапсуляцией ICMP, что позволяет определить MAC-адреса источника и назначения, тип протокола и временные характеристики передачи. Наличие повторяющихся ICMP-запросов и ответов подтверждает стабильность соединения, а ICMP-сообщения о недостижимости отражают корректную работу механизмов маршрутизации и фильтрации трафика в топологии с разделением IPv4 и IPv6 (рис. 2.24).

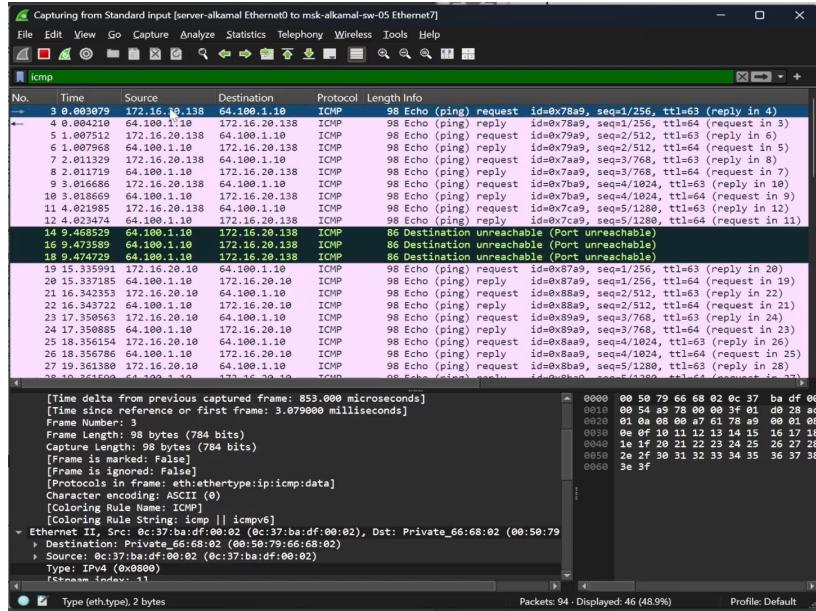


Рисунок 2.24: Детализация ICMP-кадров и информация канального и сетевого уровней

2.3 Задание для самостоятельного выполнения

- Для подсети 1 (IPv4: 10.10.1.96/27) определены параметры адресного пространства: маска 255.255.255.224, адрес сети 10.10.1.96, broadcast 10.10.1.127, диапазон хостов 10.10.1.97–10.10.1.126, число хостов в сети – 30 (рис. 2.25).

IP калькулятор

IP адрес: 10.10.1.96 Маска: 27 - 255.255.255.2 Подсчитать

Значение	Бинарное значение
Address: 10.10.1.96	00001010.00001010.00000001.011 100000
Bitmask: 27	
Netmask: 255.255.255.224 = 27	11111111.11111111.11111111.1111 00000
Wildcard: 0.0.0.31	00000000.00000000.00000000.0000 11111
Network: 10.10.1.96	00001010.00001010.00000001.011 00000 (Class A)
Broadcast: 10.10.1.127	00001010.00001010.00000001.011 11111
HostMin: 10.10.1.97	00001010.00001010.00000001.011 00001
HostMax: 10.10.1.126	00001010.00001010.00000001.011 11110
Hosts/Net:	(RFC-1918 Private Internet Address.)

Рисунок 2.25: Расчёт параметров подсети IPv4 10.10.1.96/27 в IP-калькуляторе

- Для подсети 2 (IPv4: 10.10.1.16/28) рассчитаны характеристики: маска 255.255.255.240, адрес сети 10.10.1.16, broadcast 10.10.1.31, диапазон хостов 10.10.1.17–10.10.1.30, число хостов в сети – 14 (рис. 2.26).

IP адрес:	Маска:
10.10.1.16	28 - 255.255.255.2
<input type="button" value="Подсчитать"/>	
Значение	Бинарное значение
Address: 10.10.1.16	00001010.00001010.00000001.0001 0000
Bitmask: 28	
Netmask: 255.255.255.240 = 28	11111111.11111111.11111111.1111 0000
Wildcard: 0.0.0.15	00000000.00000000.00000000.0000 1111
Network: 10.10.1.16	00001010.00001010.00000001.0001 0000 (Class A)
Broadcast: 10.10.1.31	00001010.00001010.00000001.0001 1111
HostMin: 10.10.1.17	00001010.00001010.00000001.0001 0001
HostMax: 10.10.1.30	00001010.00001010.00000001.0001 1110
Hosts/Net:	14 (RFC-1918 Private Internet Address.)

Рисунок 2.26: Расчёт параметров подсети IPv4 10.10.1.16/28 в IP-калькуляторе

- Предложен вариант таблицы адресации для топологии с двумя подсетями IPv4/IPv6, где интерфейсам маршрутизатора **gw-01** назначены минимальные адреса в подсетях: **eth0 – 10.10.1.97/27** и **2001:DB8:1:1::1/64**, **eth1 – 10.10.1.17/28** и **2001:DB8:1:4::1/64**. Для узлов назначены адреса: **PC1 10.10.1.99/27, 2001:DB8:1:1::a/64** со шлюзом **10.10.1.97 (gw-01)**; **PC2 10.10.1.18/28, 2001:DB8:1:4::a/64** со шлюзом **10.10.1.17 (gw-01)** (рис. 2.27).

Устройство	Интерфейс	IPv4-адрес	IPv6-адрес	Шлюз по умолчанию
PC1	NIC	10.10.1.99/27	2001:DB8:1:1::a/64	10.10.1.97 / gw-01
PC2	NIC	10.10.1.18/28	2001:DB8:1:4::a/64	10.10.1.17 / gw-01
gw-01	eth0	10.10.1.97/27	2001:DB8:1:1::1/64	—
gw-01	eth1	10.10.1.17/28	2001:DB8:1:4::1/64	—

Рисунок 2.27: Вариант таблицы адресации для подсетей 10.10.1.96/27 и 10.10.1.16/28 с IPv6-префиксами

- Запущены **GNS3 VM** и **GNS3**, после чего создан новый проект. Отображаемые имена устройств изменены по заданному шаблону: коммутаторы — **msk-alkamal-sw-0x**, маршрутизатор — **msk-alkamal-gw-0x**, узлы VPCS — **PCx-alkamal** (рис. 2.28).

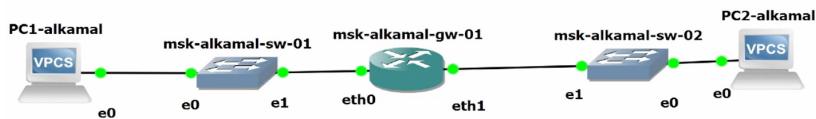


Рисунок 2.28: Топология сети в GNS3 с переименованными устройствами

- На узле **PC1-alkamal** выполнена настройка IPv4- и IPv6-адресации. Назначен IPv4-адрес **10.10.1.99/27** со шлюзом **10.10.1.97**, затем добавлен глобальный IPv6-адрес **2001:DB8:1:1::a/64**. Проверка командами **show ip** и **show ipv6** подтверждает корректное назначение адресов и наличие link-local IPv6-адреса (рис. 2.29), (рис. 2.29)..

```

PC1-alkamal> ip 10.10.1.99/27 10.10.1.97
Checking for duplicate address...
PC1-alkamal : 10.10.1.99 255.255.255.224 gateway 10.10.1.97

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

PC1-alkamal> show ip

NAME      : PC1-alkamal[1]
IP/MASK   : 10.10.1.99/27
GATEWAY   : 10.10.1.97
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 20008
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20009
MTU       : 1500

PC1-alkamal> ip 2001:DB8:1:1::a/64
PC1 : 2001:db8:1:1::a/64

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

```

Рисунок 2.29: Настройка IPv4 и IPv6 адресации на узле PC1-alkamal

```

PC1-alkamal> show ipv6

NAME          : PC1-alkamal[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6800/64
GLOBAL SCOPE   : 2001:db8:1:1::a/64
DNS           :
ROUTER LINK-LAYER :
MAC           : 00:50:79:66:68:00
LPORT          : 20008
RHOST:PORT    : 127.0.0.1:20009
MTU:          : 1500

```

Рисунок 2.30: Настройка IPv4 и IPv6 адресации на узле PC1-alkamal

- На узле **PC2-alkamal** настроен IPv4-адрес 10.10.1.18/28 со шлюзом 10.10.1.17, после чего назначен IPv6-адрес 2001:DB8:1:4::a/64. Вывод команд `show ip` и `show ipv6` подтверждает правильность параметров IPv4 и IPv6 и автоматическое формирование link-local IPv6-адреса (рис. 2.31), (рис. 2.32).

```

PC2-alkamal> ip 10.10.1.18/28 10.10.1.17
Checking for duplicate address...
PC2-alkamal : 10.10.1.18 255.255.255.240 gateway 10.10.1.17

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

PC2-alkamal> show ip

NAME      : PC2-alkamal[1]
IP/MASK   : 10.10.1.18/28
GATEWAY   : 10.10.1.17
DNS       :
MAC       : 00:50:79:66:68:01
LPORT     : 20010
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20011
MTU       : 1500

PC2-alkamal> ip 2001:DB8:1:4::a/64
PC1 : 2001:db8:1:4::a/64

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

```

Рисунок 2.31: Настройка IPv4 и IPv6 адресации на узле PC2-alkamal

```

PC2-alkamal> show ipv6

NAME          : PC2-alkamal[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          : 20010
RHOST:PORT    : 127.0.0.1:20011
MTU:          : 1500

```

Рисунок 2.32: Настройка IPv4 и IPv6 адресации на узле PC2-alkamal

- На маршрутизаторе **VyOS msk-alkamal-gw-01** выполнена настройка адресации интерфейсов с использованием минимальных адресов подсетей. Интерфейсу `eth0` назначены адреса `10.10.1.97/27` и `2001:DB8:1:1::1/64`, интерфейсу `eth1` – `10.10.1.17/28` и `2001:DB8:1:4::1/64`; дополнительно включена рассылка Router Advertisement для IPv6-префиксов. Конфигурация применена и сохранена, что подтверждается выводом команды `show interface`(рис. 2.33), (рис. 2.34).

```

vyos@msk-alkamal-gw-01:~$ configure
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set interfaces ethernet eth0 address 10.10.1.97/27
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set interfaces ethernet eth1 address 10.10.1.17/28
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set interfaces ethernet eth0 address 2001:DB8:1:1::1/64
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# set interfaces ethernet eth1 address 2001:DB8:1:4::1/64
[edit]
8:1::1:/64'kamal-gw-01# set service router-advert interface eth0 prefix '2001:db
[edit]
8:1:4::/64'kamal-gw-01# set service router-advert interface eth1 prefix '2001:db
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# compare
[edit interfaces ethernet eth0]
+address 10.10.1.97/27
+address 2001:DB8:1:1::1/64
[edit interfaces ethernet eth1]
+address 10.10.1.17/28
+address 2001:DB8:1:4::1/64
[edit service]
+routing-advert {
+  interface eth0 {
+    prefix 2001:db8:1:1::/64 {
+    }
+  }
+  interface eth1 {
+    prefix 2001:db8:1:4::/64 {
+    }
+}
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# commit

```

Рисунок 2.33: Настройка IPv4/IPv6 адресации интерфейсов маршрутизатора VyOS `msk-alkamal-gw-01`

```

vyos@msk-alkamal-gw-01# commit
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# save
Saving configuration to '/config/config.boot'...
Done
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# show interface
  ethernet eth0 {
    address 10.10.1.97/27
    address 2001:DB8:1:1::1/64
    hw-id 0c:42:b7:0c:00:00
  }
  ethernet eth1 {
    address 10.10.1.17/28
    address 2001:DB8:1:4::1/64
    hw-id 0c:42:b7:0c:00:01
  }
  ethernet eth2 {
    hw-id 0c:42:b7:0c:00:02
  }
  loopback lo {
  }
[edit]
vyos@msk-alkamal-gw-01# █ I

```

Рисунок 2.34: Настройка IPv4/IPv6 адресации интерфейсов маршрутизатора VyOS msk-alkamal-gw-01

- С узла **PC1-alkamal** выполнена проверка IPv4-связности с узлом **PC2-alkamal**. Эхо-запросы ping к адресу 10.10.1.18 успешно доставляются, что подтверждает корректную маршрутизацию между подсетями через интерфейс маршрутизатора 10.10.1.97. Трассировка trace показывает прохождение трафика через шлюз и достижение конечного узла, после чего фиксируется сообщение *Destination port unreachable*, что соответствует завершению трассировки на целевом хосте (рис. 2.35).

```

PC1-alkamal> ping 10.10.1.18/28
84 bytes from 10.10.1.18 icmp_seq=1 ttl=63 time=10.724 ms
84 bytes from 10.10.1.18 icmp_seq=2 ttl=63 time=5.378 ms
84 bytes from 10.10.1.18 icmp_seq=3 ttl=63 time=5.016 ms
84 bytes from 10.10.1.18 icmp_seq=4 ttl=63 time=3.308 ms
84 bytes from 10.10.1.18 icmp_seq=5 ttl=63 time=3.764 ms

PC1-alkamal> trace 10.10.1.18/28
trace to 10.10.1.18, 28 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  10.10.1.97  5.394 ms  2.533 ms  2.037 ms
 2  *10.10.1.18  4.659 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)

```

Рисунок 2.35: Проверка IPv4-связности между PC1 и PC2 с помощью ping и trace

- С узла **PC2-alkamal** выполнена обратная проверка IPv4-доступности узла **PC1-alkamal**. Команда `ping` к адресу `10.10.1.99` возвращает ICMP-ответы без потерь, а вывод `trace` подтверждает корректный маршрут через интерфейс маршрутизатора `10.10.1.17` с достижением целевого узла (рис. 2.36).

```
PC2-alkamal> ping 10.10.1.99/27
84 bytes from 10.10.1.99 icmp_seq=1 ttl=63 time=6.262 ms
84 bytes from 10.10.1.99 icmp_seq=2 ttl=63 time=2.888 ms
84 bytes from 10.10.1.99 icmp_seq=3 ttl=63 time=3.493 ms
84 bytes from 10.10.1.99 icmp_seq=4 ttl=63 time=5.875 ms
84 bytes from 10.10.1.99 icmp_seq=5 ttl=63 time=6.251 ms

PC2-alkamal> trace 10.10.1.99/27
trace to 10.10.1.99, 27 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  10.10.1.17   1.643 ms  2.317 ms  1.034 ms
 2  *10.10.1.99  3.199 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)
```

Рисунок 2.36: Проверка IPv4-связности между PC2 и PC1 с помощью `ping` и `trace`

- Дополнительно выполнена проверка IPv6-известности между узлами подсети. С узла **PC2-alkamal** эхо-запросы `ping` к адресу `2001:DB8:1:1::a` успешно доставляются, а команда `trace` подтверждает прохождение трафика через IPv6-адрес маршрутизатора `2001:DB8:1:4::1` и достижение конечного узла без ошибок (рис. 2.37).

```
PC2-alkamal> ping 2001:DB8:1:1::a/64
2001:DB8:1:1::a icmp6_seq=1 ttl=62 time=2.575 ms
2001:DB8:1:1::a icmp6_seq=2 ttl=62 time=2.758 ms
2001:DB8:1:1::a icmp6_seq=3 ttl=62 time=3.680 ms
2001:DB8:1:1::a icmp6_seq=4 ttl=62 time=4.578 ms
2001:DB8:1:1::a icmp6_seq=5 ttl=62 time=2.283 ms

PC2-alkamal> trace 2001:DB8:1:1::a/64
trace to 2001:DB8:1:1::a, 64 hops max
 1 2001:db8:1:4::1    2.107 ms  2.783 ms  1.562 ms
 2 2001:db8:1:1::a    2.160 ms  2.145 ms  3.918 ms
```

Рисунок 2.37: Проверка IPv6-связности между узлами подсети с помощью `ping` и `trace`

2.4 Выводы

В ходе лабораторной работы были изучены и практически отработаны принципы планирования, распределения и настройки адресного пространства IPv4 и IPv6 в локальной сети. Выполнено разбиение исходных сетей на подсети с заданным числом узлов, корректно определены их основные характеристики: адреса сетей, маски, диапазоны узлов и широковещательные адреса.

На практике реализована настройка двойного стека IPv4/IPv6 на оконечных устройствах и маршрутизаторах с использованием FRR и VyOS, при этом для интерфейсов маршрутизаторов были выбраны минимальные допустимые адреса в подсетях. Проверка связности с помощью команд `ping` и `trace` подтвердила корректную маршрутизацию внутри каждой подсети и работоспособность настроенного адресного плана.

Дополнительно было подтверждено логическое разделение IPv4- и IPv6-подсетей: узлы разных семейств адресации не имеют прямой связности между собой, за исключением сервера с двойным стеком, что соответствует условиям задания. Анализ захваченного трафика ICMP, ICMPv6 и ARP позволил наглядно проследить процессы обмена данными, разрешения адресов и диагностики недоступности, что подтверждает корректность конфигурации сети и механизмов маршрутизации.