

Информатика

УДК 004.056.53

К.П. ЗАВЬЯЛОВА, С.М. ГОНЧАРУК

(*goncharuksoffa@yandex.ru, zavyalovaaaaa@yandex.ru*)

Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛА И ВЛИЯНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ VRF-LITE НА БАЗЕ РЕШЕНИЙ VESR*

В условиях цифровизации корпоративных сетей нефтегазового сектора актуальна консолидация сервисов при обеспечении их надежной изоляции. Исследуется технология VRF-Lite на платформе виртуальных маршрутизаторов vESR (Eltex).

Рассмотрена архитектура автономной системы с двумя кластерами, использующими перекрывающиеся пулы IP-адресов. Особое внимание уделено настройке OSPF в контексте VRF и количественной оценке влияния технологии на потребление CPU и RAM в условиях фоновой нагрузки.

Приведены листинги конфигураций, результаты мониторинга, анализ преимуществ и ограничений VRF-Lite.

Ключевые слова: VRF-Lite, vESR, виртуальная маршрутизация, OSPF, изоляция трафика, производительность, NFV, Eltex.

1. Актуальность

Технология VRF (Virtual Routing and Forwarding) и её облегченная реализация VRF-Lite (без использования MPLS) являются стандартом де-факто для создания изолированных доменов маршрутизации на одном устройстве.

На рынке РФ широко представлены решения компании Eltex, в частности, виртуализированная версия сервисного маршрутизатора vESR.

Несмотря на наличие технической документации, существует дефицит открытых исследований, посвященных анализу производительности vESR при работе с множественными экземплярами VRF и динамическими протоколами маршрутизации. Данная работа призвана восполнить этот пробел, предоставив практические результаты замеров потребления ресурсов в зависимости от сетевой активности.

2. Введение

2.1. Цель исследования

Основная цель – исследование функционала **VRF-Lite** на базе решений **vESR** и его влияния на производительность виртуальной инфраструктуры.

2.2. Задачи:

1. Разработать стенд автономной системы, включающей два кластера (cl1, cl2) с перекрывающимися IP-адресами сервисов s1 и s2.
2. Выполнить настройку VRF-Lite, VLAN и протокола OSPF для обеспечения связности между экземплярами сервисов внутри одного VRF и их полной изоляции между разными VRF.
3. Провести мониторинг потребления ресурсов (CPU, RAM) гипервизора при работе системы в режиме простоя и под нагрузкой (генерация ICMP-трафика).
4. Сформулировать выводы о влиянии VRF-Lite на производительность и сложность администрирования.

Практическая часть исследования будет заключаться в разделении трафика сервисов s1 и s2, а также настройке сетевой связности между экземплярами сервисов.

* Работа выполнена под руководством Уймина А.Г., старшего преподавателя кафедры безопасности информационной технологии в РГУ нефти и газа (НИУ) И.М. Губкина.

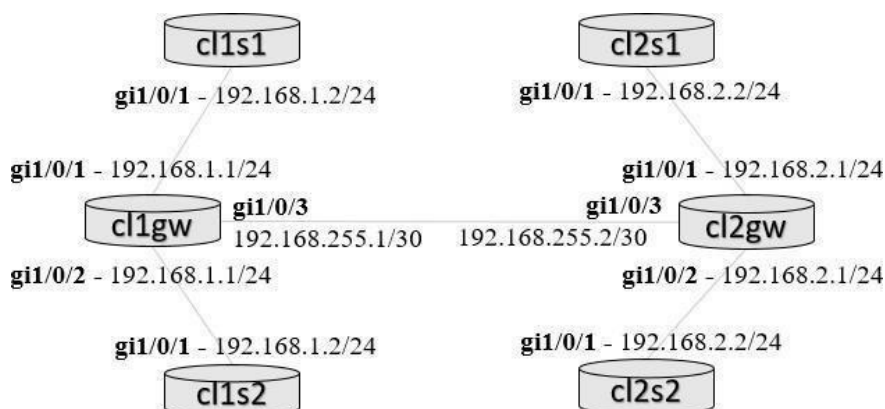


Рис. 1. Топология

2.3. Литературный обзор

Технология VRF впервые была реализована в оборудовании CiscoSystems для создания виртуальных частных сетей на уровне L3. Классическая реализация VRF требует применения MPLS и MP-BGP для обмена маршрутами между PE-маршрутизаторами. Однако для небольших и средних сетей, а также для изоляции трафика внутри одного устройства или автономной системы, используется упрощенный вариант – VRF-Lite, который не требует поддержки MPLS.

В работах, посвященных NFV, подчеркивается, что основным преимуществом виртуальных маршрутизаторов является гибкость и снижение капитальных затрат (CAPEX). Однако исследователи отмечают проблему «шумных соседей» (noisy neighbor), когда интенсивный трафик в одном VRF может создавать косвенную нагрузку на общее ядро маршрутизации, влияя на смежные VRF.

Платформа vESR от Eltex базируется на модифицированном ядре Linux и поддерживает основные протоколы маршрутизации (OSPF, BGP, ISIS) в контексте VRF. В официальной документации заявлена поддержка аппаратного ускорения, однако в виртуальной среде производительность напрямую зависит от ресурсов, выделенных гипервизором.

3. Теоретическая часть. VRF в vESR.

vESR – программный аналог аппаратных сервисных маршрутизаторов Eltex серии ESR, предоставляющий те же возможности, но с гибкостью внедрения и использования в виртуальных средах.

- Виртуальный маршрутизатор может применяться: в корпоративных сетях любого размера, гибридных инфраструктурах, лабораториях в составе тестовых стендов при разработке новых сервисов.
- Используется как самостоятельное решение или дополнение к физической инфраструктуре, например для резервирования основного шлюза и балансировки нагрузки.
- Запускается на Linux-сервере на популярных гипервизорах Xen, Oracle VirtualBox, VMware ESXi.

VRF (Virtual Routing and Forwarding, VPN Routing and Forwarding) – виртуальная маршрутизация и переадресация, маршрутизация и пересылка VPN) – это технология, позволяющая создавать несколько независимых таблиц маршрутизации на одном физическом устройстве.

Основная задача VRF – изолирование таблиц маршрутизации и интерфейсов. Протоколы маршрутизации запускаются внутри конкретного VRF, чтобы обмениваться маршрутами только в его контексте.

VRF на оборудовании vESR поддерживает следующие протоколы маршрутизации:

```
cl1gw# config
cl1gw(config)# ip vrf s1
cl1gw(config-vrf)# ip protocols
bgp Configure BGP protocol parameters
isis Configure ISIS protocol parameters
ospf Configure OSPF protocol parameters
```

Рис. 2. Настройка адресации на примере cl1s1

VRF-Lite, в терминологии Cisco, называется **VRF** без использования MPLS и MP-BGP.

MPLS (Multiprotocol label switching – Многопротокольная коммутация по меткам) – механизм в высокопроизводительной телекоммуникационной сети, осуществляющий передачу данных от одного узла сети к другому с помощью меток.

– В сети, основанной на **MPLS**, пакетам данных присваиваются метки. Решение о дальнейшей передаче пакета данных другому узлу сети осуществляется только на основании значения присвоенной метки без необходимости изучения самого пакета данных.

MP-BGP (Multiprotocol BGP – Многопротокольный BGP) – это расширение **BGP**, которое позволяет обмениваться информацией о маршрутизации для разных протоколов сетевого уровня.

– Поддерживает маршруты для протоколов IPv4, IPv6 и MPLS VPN в одной и той же сетевой инфраструктуре.

– Основное отличие: BGP ориентирован на работу с автономными системами, а MP-BGP – на работу с сетями разных протоколов.

– Основная задача MP-BGP: Обмен маршрутной информацией для различных протоколов (адресаций) поверх уже установленных BGP-сессий между теми же самыми автономными системами.

3.1. Итог

Для решения задачи используем VRF-Lite в связке с VLAN и OSPF.

VLAN (Virtual Local Area Network – Виртуальная локальная сеть) – это технология, которая позволяет логически разделить одну физическую сеть на несколько независимых виртуальных сетей.

OSPF (Open Shortest Path First – Открой кратчайший путь первым) – Является протоколом сетевого уровня (Network (L3)) модели OSI и работает поверх протокола IP. Использует IP-адреса для обмена маршрутной информацией.

4. Настройка окружения и тестирование

4.1. Архитектура. Для проведения исследования была развернута автономная сеть в среде виртуализации Oracle Virtual Box. Стенд включает шесть виртуальных маршрутизаторов vESR.

– **Шлюзы кластеров:** cl1gw, cl2gw.

– **Оконечные устройства (эмуляция сервисов):** cl1s1 (сервис 1 в кластере 1), cl1s 2 (сервис 2 в кластере 1), cl2s1, cl2s2.

Принципиальная особенность схемы – использование перекрывающихся IP-адресов для разных сервисов:

– Сервис s1 в обоих кластерах использует подсеть 192.168.1.0/24.

– Сервис s2 в обоих кластерах использует подсеть 192.168.2.0/24.

Задача VRF-Lite – разделить трафик cl1s2 на шлюзах и обеспечить связность cl1s1 <-> cl2s1, но изолировать их от s2.

4.2. Общие понятия о настройке маршрутизатора vESR

В ходе эксперимента была выполнена пошаговая конфигурация всех шести устройств.

Алгоритм настройки параметров маршрутизатора.

```
# вход в режим конфигурации
vesr# config
# конфигурирование необходимых параметров
vesr(config)# hostname cl1s1
# выход из режима конфигурации
vesr(config)# end
# применение настроек
vesr# commit
# подтверждение применённых настроек
vesr# confirm
# выбор интерфейса для настройки
interface gigabitethernet 1/0/1
# отключение брандмауэра
ip firewall disable
# установка IP-адреса
Ip address 192.168.1.2/24
# выход из режима config
end
```

Рис. 3. Настройка адресации на примере cl1s1

Описанный скрипт производит установку имен и хоста и адресации на cl1s1.

```
vesr# config
vesr(config)# hostname cl1s1
vesr(config)# end
Warning: you have uncommitted configuration changes.
vesr# commit
Setting hostname to 'cl1s1'...done.
Configuration has been successfully applied and saved to flash. Commit timer started, changes will be reverted in 600 seconds.
2025-11-20T08:21:31+00:00 %CLI-I-CRIT: user admin from console input: commit
2025-11-20T08:21:31+00:00 %CLI-I-CRIT: user admin from console input: commit
cl1s1# confirm
Configuration has been confirmed. Commit timer canceled.
2025-11-20T08:21:34+00:00 %CLI-I-CRIT: user admin from console input: confirm
2025-11-20T08:21:34+00:00 %CLI-I-CRIT: user admin from console input: confirm
```

Рис. 4. Установка имен и хоста

```
cl1s1(config)# interface gigabitethernet 1/0/1
cl1s1(config-if-gi)# ip firewall disable
cl1s1(config-if-gi)# ip address 192.168.1.2/24
cl1s1(config-if-gi)# end
```

Рис. 5. Настройка адресации

В дальнейшем, шаги, описывающие вход в режим конфигурирования, применение и подтверждение конфигурации будут опущены.

4.2.1. Настройка vrf и привязка к интерфейсам маршрутизатора

По умолчанию, для VRF, значение количества маршрутов протокола OSPF установлено в 0. При данном значении возникнет ошибка при установке маршрутов. Необходимо установить максимальное количество маршрутов vrf.

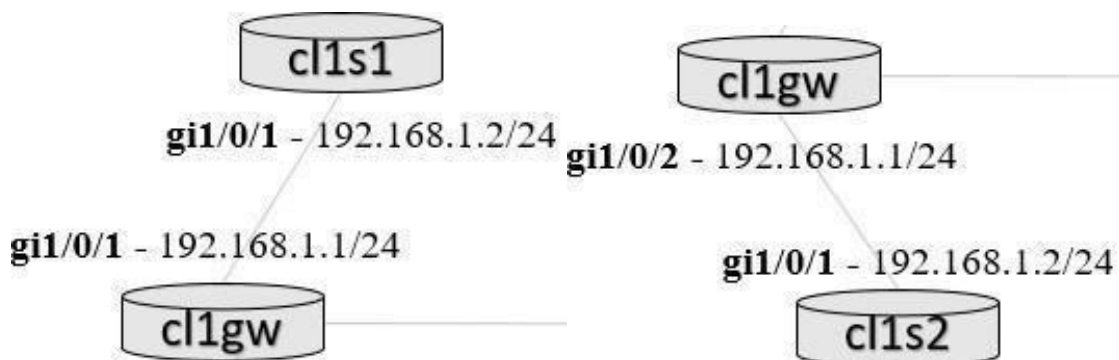


Рис. 6. Настраиваемая часть топологии

На шлюзе создаются два экземпляра VRF – для сервисов s1 и s2. Ниже описана последовательность создания на cl1gw. На cl2gw все аналогично cl1gw, лишь заменяем адресацию 192.168.1 на 192.168.2. Затем проверили их связность.

```
# создание VRF с именем s1
Ip vrf s1
# установка значения количества маршрутов протокола OSPF
ip protocols ospf max-routes 5
# выход из режима настройки VRF с именем s1
exit

# выбор интерфейса 1/0/1
Interface gigabitethernet 1/0/1
# отключение брандмауэра
Ip firewall disable
# привязка экземпляра vrf s1 к интерфейсу 1/0/1
ip vrf forwarding s1
# установка IP-адреса
Ip address 192.168.1.1/24
# выход из настройки интерфейса 1/0/1
end
```

Рис. 7. Настройка адресации на примере cl1s1

Аналогично настроили vrf s2 на cl1gw.

```
cl1gw# sh ip interfaces
cl1gw# sh ip interfaces vrf s1
IP address          Interface          Admin    Link    Type    Precedence
-----
192.168.1.1/24      gi1/0/1           Up       Up      static primary
cl1gw# sh ip interfaces vrf s2
IP address          Interface          Admin    Link    Type    Precedence
-----
192.168.1.1/24      gi1/0/2           Up       Up      static primary
```

Рис. 8. Вывод информации по настроенным интерфейсам на cl1gw

```
cl2gw# sh ip interfaces
cl2gw# sh ip interfaces vrf s1
IP address          Interface          Admin    Link    Type    Precedence
-----
192.168.2.1/24      gi1/0/1           Up       Down   static primary
cl2gw# sh ip interfaces vrf s2
IP address          Interface          Admin    Link    Type    Precedence
-----
192.168.2.1/24      gi1/0/2           Up       Up      static primary
```

Рис. 9. Вывод информации по настроенным интерфейсам cl2gw

4.2.2. Настройка соединения cl1gw с cl2gw



Рис. 10. Настраиваемая часть топологии

Виртуальные маршрутизаторы соединены по одному «физическому» интерфейсу 1/0/3:

- разделили физический интерфейс 1/0/3 на несколько логических интерфейсов, поскольку условием задачи является разделение трафика сервисов s1 и s2;

– создали две виртуальных сети s1, s2 и привязали к виртуальным адаптерам 1/0/3.2 и 1/0/3.3, назначив IP-адреса из подсети 192.168.255.

Идентификатор VLAN, задаётся в диапазоне [2..4094], т. к. на магистральных (trunk) портах все кадры, не имеющие тега VLAN, принадлежат Native VLAN. В коммутаторах vESR и других (cisco) Native VLAN по умолчанию равен 1.

4.2.2.1. Настройка транка между шлюзами (VLAN)

Для передачи трафика между кластерами с сохранением изоляции настроены подинтерфейсы с VLAN. Ниже представлена настройка на cl1gw. **Настройка на cl2gw** выполняется зеркально, с заменой IP-адреса на 192.168.255.2/30 для соответствующих подинтерфейсов.

```
# создание vlan
vlan 2
# установка имени
vlan name s1
# выход из режима конфигурирования
vlan exit
# создание
vlan vlan 3
# установка имени
vlan name s2
# выбор интерфейса 1/0/3.2
interface gigabitethernet
1/0/3.2 # отключение брандмауэра
ip firewall disable
# привязка экземпляра vrf s1 кинтерфейсу
1/0/3.2 ip vrf forwarding s1
# установка IP-адреса
ip address 192.168.255.1/30
# выход из настройки интерфейса
1/0/3.2 exit
# выбор интерфейса 1/0/3.3
interface gigabitethernet
1/0/3.3 # отключение брандмауэра
ip firewall disable
```

Рис. 11. Настройка адресации на примере cl1s1

Промежуточные итоги Утилитой ping проверили связанность cl1gw с соседями cl1s1 и cl2gw.

```
cl1gw# ping vrf s1 192.168.1.2
PING 192.168.1.2 (192.168.1.2) 56 bytes of data.
!!!!
--- 192.168.1.2 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4005ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.257/0.485/0.790/0.190 ms
cl1gw#
cl1gw# ping vrf s1 192.168.255.1
PING 192.168.255.1 (192.168.255.1) 56 bytes of data.
!!!!
--- 192.168.255.1 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4004ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.020/0.031/0.060/0.014 ms
cl1gw# ping vrf s1 192.168.255.2
PING 192.168.255.2 (192.168.255.2) 56 bytes of data.
!!!!
--- 192.168.255.2 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4005ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.243/0.379/0.777/0.201 ms
```

Рис. 12. Проверка связности

Ping проходит, связанность есть.

Аналогично проверили обратную связанность c1s1 и c1lgw.

```
c1s1# ping 192.168.1.1
PING 192.168.1.1 (192.168.1.1) 56 bytes of data:
!!!!
--- 192.168.1.1 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4006ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.315/0.372/0.509/0.076 ms
c1s1#
c1s1# ping 192.168.255.1
connect: Network is unreachable
```

Рис. 13. Обратная связанность

Pingна 192.168.1.1 проходит, однако сеть 192.168.255.1 недоступна.

Это происходит из-за отсутствия маршрутов в таблицах маршрутизации.

```
c1s1# sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP derived,
       O - OSPF derived, IA - OSPF inter area route,
       E1 - OSPF external type 1 route, E2 - OSPF external type 2 route,
       B - BGP derived, D - DHCP derived, K - kernel route, V - VRRP route,
       I - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area,
       H - NHRP, * - FIB route
C      * 192.168.1.0/24      [0/0]                dev gi1/0/1          [direct 2025-11-20]
```

Рис. 14. Проверка адресации и связности c1s1

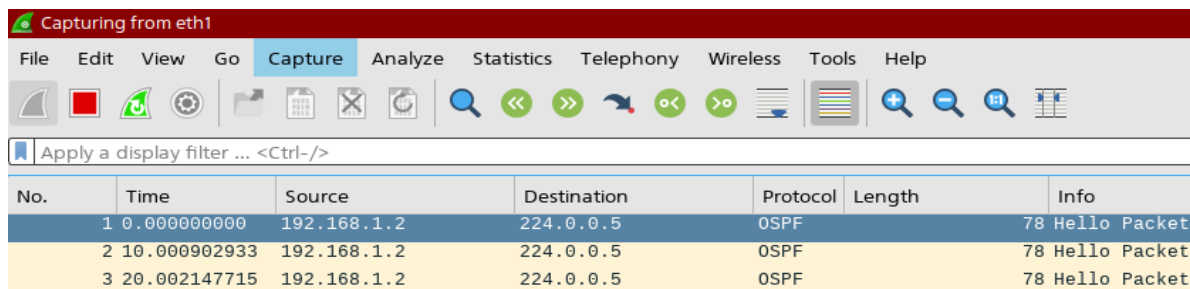
Настройка OSPF.

4.2.3. Создание ретрансляторов ospf

4.2.3.1. Создание ретранслятора ospf на c1s1

Для автоматического обмена маршрутами внутри каждого VRF был настроен протокол OSPF. Создать ретранслятор, который будет транслировать сеть 192.168.1.0/24. Критически важным этапом является запуск экземпляра OSPF внутри конкретного VRF.

После привязки ретранслятора он начинает отправлять hello-пакеты. Однако, поскольку соседний маршрутизатор не настроен, не может установить связь.



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.0000000000	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF	78	Hello Packet
2	10.000902933	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF	78	Hello Packet
3	20.002147715	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF	78	Hello Packet

Рис. 15. hello-пакеты

4.2.3.2. Создание ретранслятора ospf для vrf1 на cl1gw

Создали ретранслятор в vrf1, который будет транслировать сети 192.168.1.0/24 и 192.168.255.0/30.

Привязать созданный ретранслятор к интерфейсу 1/0/1 и объявить соседство с маршрутизатором 192.168.1.2.

После привязки ретранслятора, он начинает отправлять hello-пакеты. Маршрутизаторы устанавливают соседство и обмениваются маршрутной информацией.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
5	33.386323338	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF		78 Hello Packet
	Number 999759449	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF		82 Hello Packet
7	40.002874424	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF		94 LS Update
8	40.016315414	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF		130 LS Update
9	40.401803541	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF		98 LS Update
10	42.504351762	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF		78 LS Acknowledge
11	42.504567105	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF		118 LS Acknowledge
12	43.387851011	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF		82 Hello Packet
13	47.502782806	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF		98 LS Acknowledge
14	47.503013772	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF		78 LS Acknowledge
15	48.000424000	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF		82 Hello Packet

Рис. 16. Маршруты cl1s1 после настройки OSPF

Привязали созданный ретранслятор к интерфейсу 1/0/3.2 и объявили соседство с маршрутизатором 192.168.255.2

После того, как ретранслятор привязан, маршрутизатор cl1gw объявляет новый маршрут и маршрутизатор cl1s1 принимает изменения.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
234	1463.7897653...	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF		110 LS Update
235	1464.5273621...	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF		78 LS Acknowledge

Рис. 17. Изменение адресации на cl1s1

Аналогичные настройки выполнены для VRFs2 на cl1gw, для устройств cl2s1, cl2s2 и для VRF на cl2gw. В результате таблицы маршрутизации были успешно заполнены: устройство cl1s1 получило маршрут до сети 192.168.255.0/30 и, транзитом через нее, до 192.168.2.0/24 (в рамках VRF s1), что обеспечило связность с cl2s1.

4.2.3.3. Итог

Маршрутные таблицы обновлены, связь установлена. Просмотр маршрутных таблиц cl1s1

```
cl1s1# sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP derived,
        O - OSPF derived, IA - OSPF inter area route,
        E1 - OSPF external type 1 route, E2 - OSPF external type 2 route,
        B - BGP derived, D - DHCP derived, K - kernel route, V - VRRP route,
        I - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area,
        H - NHRP, * - FIB route
O * 192.168.255.0/30 [150/2] via 192.168.1.1 on gi1/0/1 [ospf1 11:48:00 from 192.168.255.1] (192.168.255.1)
C * 192.168.1.0/24 [0/0] dev gi1/0/1 [direct 2025-11-20]
O * 192.168.2.0/24 [150/3] via 192.168.1.1 on gi1/0/1 [ospf1 12:29:07 from 192.168.2.1] (192.168.2.2)
```

Рис. 18. Маршрутные таблицы

Pingcl2gw и cl2s2

```

cl1s1# ping 192.168.255.2
PING 192.168.255.2 (192.168.255.2) 56 bytes of data:
!!!!
--- 192.168.255.2 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4006ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.498/0.681/1.164/0.245 ms
cl1s1# ping 192.168.2.2
PING 192.168.2.2 (192.168.2.2) 56 bytes of data:
!!!!
--- 192.168.2.2 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4007ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.396/0.802/1.350/0.315 ms
    
```

Рис. 19. Проверка связи

Методика измерения производительности

Для оценки влияния технологии VRF-Lite на производительность использовался встроенный инструмент гипервизора Oracle VirtualBox, позволяющий мониторить потребление CPU и RAM каждой виртуальной машины в реальном времени.

Измерения проводились в два этапа:

- Режим без нагрузки (Idle):** Фиксация потребления ресурсов в установившемся режиме, при наличии только служебного трафика (Hello-пакеты OSPF).
- Режим с нагрузкой (Load):** Запуск интенсивного ICMP-трафика (ping-f) между устройствами cl1s1 и cl2s1, проходящего через транковое соединение и обрабатываемого двумя экземплярами VRF на шлюзах. Фиксировалось максимальное потребление ресурсов во время теста.

VirtualBox Virtual Machine	CPU	RAM	Network	Storage	Power	Performance	Memory
b1 (distr) [Работает] - Oracle VirtualBox	0,2%	76,4 МБ	0,1 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень низкое	Очень низкое
a1 (distr) [Работает] - Oracle VirtualBox	0,1%	87,5 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень низкое	Очень низкое
cl2s1 (2) [Работает] - Oracle VirtualBox	0,1%	60,9 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень низкое	Очень низкое
cl2gw (2) [Работает] - Oracle VirtualBox	0%	61,4 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень низкое	Очень низкое
cl1gw (2) [Работает] - Oracle VirtualBox	0%	60,5 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень низкое	Очень низкое
cl1s1 (2) [Работает] - Oracle VirtualBox	0,1%	61,4 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень низкое	Очень низкое
b1 (distr) [Работает] - Oracle VirtualBox	0,1%	76,4 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень низкое	Очень низкое
a1 (distr) [Работает] - Oracle VirtualBox	8,0%	87,5 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень высокое	Очень низкое
cl2s1 (2) [Работает] - Oracle VirtualBox	0%	60,9 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень низкое	Очень низкое
cl2gw (2) [Работает] - Oracle VirtualBox	6,7%	61,4 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень высокое	Очень низкое
cl1gw (2) [Работает] - Oracle VirtualBox	10,5%	60,5 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень высокое	Низкий
cl1s1 (2) [Работает] - Oracle VirtualBox	0,1%	61,4 МБ	0 МБ/с	0 Мбит/с	0%	Очень низкое	Очень низкое

Рис. 20. Фиксация потребления ресурсов CPU/RAM

5. Результаты исследования и их анализ Проверка функциональности VRF-Lite

До настройки OSPF команда pingс корневого VRF на cl1gw не работала (Network is unreachable), что подтверждает отсутствие маршрутов в глобальной таблице. Однако команды pingvrfs1 192.168.1.2 и pingvrfs2 192.168.1.2 успешно проходили, что доказывает:

- Корректную привязку интерфейсов к VRF.
- Возможность использования перекрывающихся адресов в разных VRF на одном устройстве.

После настройки OSPF связанность между cl1s1 и cl2s1 (оба в VRF s1) была установлена, что подтверждено прохождением ICMP-пакетов и записями в таблицах маршрутизации. При этом попытка доступа из cl1s1 к cl2s2 (VRFs2) блокировалась на уровне шлюза.

Таблица

Потребление ресурсов виртуальными машинами VRF- Lite

№	Виртуальная машина	Роль	RAM Idle (МБ)	RAM Load (МБ)	Δ RAM (МБ)	CPU Idle (%)	CPU Load (%)	Кластер	VRF
1	cl1gw	Шлюз(2VRF +OSPF)	600	609	+9	<5%	10-15%	cl1	s1/s 2
2	cl2gw	Шлюз(2VRF+ OSPF)	610	614	+4	<5%	10-15%	cl2	s1/s 2
3	cl1s1	Оконечное устр- во (s1)	60	60	0	Низкий	Низкий	cl1	s1
4	cl1s2	Оконечное устр-во (s2)	60	60	0	Низкий	Низкий	cl1	s2
5	cl2s1	Оконечное устр-во (s1)	60	60	0	Низкий	Низкий	cl2	s1
6	cl2s2	Оконечное устр-во (s2)	60	60	0	Низкий	Низкий	cl2	s2

Примечание: ΔRAM-изменение потребления памяти при нагрузке; s1/s2 - обслуживает оба VRF

Анализ результатов:

1. **Изоляция влияния:** Нагрузка, создаваемая в VRF s1 (между cl1s1и cl2s1), практически не повлияла на потребление CPU оконечными устройствами из VRF s2. Это подтверждает свойство изоляции VRF-Lite: «шумный сосед» в одном VRF не создает прямой вычислительной нагрузки на интерфейсы другого VRF.

2. **Нагрузка на шлюзы:** Основной прирост потребления CPU (примерно на 5–10% относительно простоя) зафиксирован на шлюзах cl1gw и cl2gw. Это объясняется необходимостью обработки увеличившегося потока данных, выполнения поиска по таблицам FIB (Forwarding Information Base) для двух разных VRF и обработки OSPF-процессов. Данный эффект является ожидаемым и подтверждает теоретические положения о том, что VRF-Lite переносит нагрузку по изоляции и маршрутизации на граничные устройства.

3. **Потребление памяти:** На всех устройствах потребление RAM оставалось стабильным и незначительно возрастало лишь на шлюзах при активации трафика (вероятно, из-за роста кэша сессий или очередей буферизации). Это демонстрирует, что сама по себе технология VRF-Lite не является прожорливой к памяти – основные затраты идут на хранение таблиц маршрутизации, которые в данном эксперименте невелики.

6. Заключение

VRF-Lite создает полностью изолированные таблицы маршрутизации (RIB – Routing Information Base) и таблицы пересылки (FIB – Forwarding Information Base) для каждого экземпляра vrf, что в связке с виртуальным маршрутизатором vESR имеет **свои плюсы:**

- ограничение широковещательного- и multicast-трафика в пределах экземпляра vrf сокращает количество пакетов, которые распространяются по сети, снижая нагрузку на процессор, интерфейсы и сетевые устройства, что улучшает общую производительность сети;

- сбой в одном экземпляре vrf не затронет процесс маршрутизации в других vrf, что повышает стабильность всей системы;
- вместо развертывания нескольких физических устройств или виртуальных машин для каждого клиента или сервиса, можно использовать одну виртуальную машину, что упрощает архитектуру и:
 - снижает накладные расходы гипервизора – одна виртуальная машина с несколькими vrf потребляет меньше ресурсов хоста, чем несколько виртуальных машин, каждая со своей операционной системой и служебными процессами;
 - уменьшает задержки (Latency) – коммуникация между vrf, если она разрешена, происходит внутри одного ядра маршрутизации, что часто быстрее, чем пересылка пакетов между физическими устройствами или виртуальными машинами;
- трафик распределяется по разным виртуальным маршрутам, обеспечивая изоляцию и улучшая управляемость сетью, что помогает снизить нагрузку на центральный процессор и повысить общую пропускную способность;
- возможность задания разных приоритетов и качества обслуживания (QoS-Quality of Service) для каждого экземпляра vrf позволяет оптимизировать работу критичных приложений и сервисов;
- возможность использования перекрывающихся пулов IP-адресов;
- повышение безопасности устройства из одной виртуальной сети не могут напрямую взаимодействовать с устройствами в другой без специальной настройки, что уменьшает риск несанкционированного доступа к конфиденциальной информации;

и минусы:

- повышение нагрузки на процессор из-за необходимости обслуживания нескольких независимых таблиц маршрутизации и нескольких экземпляров протоколов маршрутизации (при условии использования динамической маршрутизации). Нагрузка на процессор растёт пропорционально количеству используемых VRF и сложности используемых в них протоколов маршрутизации.
- каждая таблица маршрутизации занимает память устройства, и увеличение числа виртуальных маршрутов увеличивает потребление ресурсов оперативной памяти;
- повышение сложности администрирования и диагностики сети, поскольку приходится управлять несколькими отдельными пространствами маршрутизации одновременно, например:
 - неверный импорт или экспорт маршрутов между vrf может создать:
 - петли-пакеты данных вместо того, чтобы прийти к своему адресату, начинают бесконечно ходить по одним и тем же сетевым устройствам;
 - черные дыры, места в сети, где входящий или исходящий трафик отбрасывается (теряется), не сообщая источнику о том, что данные не достигли адресата.
 - неоптимальные QoS-политики или ACL (Access Control List – Список контроля доступа) в одном VRF могут неожиданно «перегружать» CPU, т. к. процессор должен применять сложные правила к каждому пакету.

Таким образом, влияние технологии VRF-Lite на производительность виртуального маршрутизатора зависит от многих факторов, включая количество используемых виртуальных маршрутов, объем обрабатываемого трафика и мощность самого маршрутизирующего оборудования. Важно отметить, что правильная конфигурация и балансировка нагрузки позволяют минимизировать негативные последствия и максимизировать преимущества VRFLite.

Литература

1. Алексеев В.А. Маршрутизация и защита сетевого трафика в сетях TCP/IP: метод указания к проведению лаб. работ по курсу «Сетевые технологии». Липецк: ЛГТУ, 2013.
2. Фролов А.В., Дымченко Ю.В., Золкин А.Л. Администрирование сетей. М.: Телеком, 2021.
3. Цилюрик О.И. Сети Linux. Модели и приложения. СПб.: БХВ-Петербург, 2024.
4. Документация. VRF-lite. Технология виртуальной маршрутизации Virtual Routing and Forwarding (VRF) // Портал технической документации. [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.iq-tools.net/ru/Маршрутизаторы/Краткое_руководство_администратора/VRF_lite (дата обращения: 12.05.2026).

KIRA ZAVYALOVA, SOFYA GONCHARUK
National University of Oil and Gas "Gubkin University"

**THE STUDY OF FUNCTIONAL AND ITS INFLUENCE ON THE PERFORMANCE
OF VRF-LITE TECHNOLOGIES ON THE BASIS OF VESR SOLUTIONS**

In the context of digitalization of corporate networks of the oil and gas sector the service consolidation while ensuring their reliable isolation is urgent. This article explores the VRF-Lite technology on the vESR (Eltex) virtual router platform. The architecture of an autonomous system with two clusters using the overlapping IP address pools is examined. There is paid attention to configuring OSPF in the context of VRF and quantifying the technology's impact on CPU and RAM consumption under the background load. The configuration listings, monitoring results and the analysis of VRF-Lite's advantages and limitations are provided.

Keywords: *VRF-Lite, vESR, virtual routing, OSPF, traffic isolation, performance, NFV, Eltex.*