

Паисов Артём Юрьевич

*Студенты, факультет комплексной безопасности ТЭК, Российский
государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
РФ, г. Москва*

Беев Кирилл Артемович

*Студенты, факультет комплексной безопасности ТЭК, Российский
государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
РФ, г. Москва*

Павловский Владимир Владимирович

*Научный руководитель,
преподаватель, факультет комплексной безопасности ТЭК,
Российский государственный университет нефти и газа
(НИУ) имени И.М. Губкина,
РФ, г. Москва*

НАСТРОЙКА ПРОТОКОЛА Q-IN-Q НА СЕТЕВОМ ОБОРУДОВАНИИ. ТЕСТИРОВАНИЕ.

В данной статье рассматриваются особенности настройки протокола Q-in-Q на сетевом оборудовании и методы его тестирования. Технология Q-in-Q (802.1ad) предназначена для инкапсуляции VLAN-тегов и позволяет провайдерам предоставлять услуги мультивлановой передачи данных для корпоративных клиентов. Данный механизм широко используется в операторских сетях для организации защищённых и изолированных соединений между филиалами, а также для обеспечения масштабируемости сетевой инфраструктуры. В современных условиях, когда требования к качеству и надежности сетевых сервисов постоянно растут, применение Q-in-Q играет ключевую роль в обеспечении стабильности и безопасности передачи данных. Ошибки в настройке либо отсутствие тестирования могут

привести к перебоям в работе системы и угрозам информационной безопасности. Поэтому понимание принципов работы Q-in-Q, а также методов его тестирования, является необходимым для будущих специалистов в области сетевых технологий. Проведенное исследование подтверждает важность данной темы и подчеркивает ее актуальность для практического применения.

This article discusses the features of configuring the Q-in-Q protocol on network equipment and methods for testing it. Q-in-Q technology (802.1ad) is designed to encapsulate VLAN tags and allows providers to provide multi-VLAN data transfer services to corporate clients. This mechanism is widely used in operator networks to organize secure and isolated connections between branches, as well as to ensure the scalability of the network infrastructure. In modern conditions, when the requirements for the quality and reliability of network services are constantly growing, the use of Q-in-Q plays a key role in ensuring the stability and security of data transfer. Errors in configuration or lack of testing can lead to interruptions in system operation and threats to information security. Therefore, understanding the principles of Q-in-Q, as well as methods for testing it, is necessary for future specialists in the field of network technologies. The conducted study confirms the importance of this topic and emphasizes its relevance for practical application.

Ключевые слова: Q-in-Q, VLAN, Тестирование.

Keywords: Q-in-Q, VLAN, Testing.

В данной статье представлен комплексный анализ, включающий теоретическое исследование выбранной темы, экспериментальную часть и детальное описание полученных результатов.

Изучение работы протокола Q-in-Q и его тестирование проводилось с использованием лабораторного стенда, включающего несколько коммутаторов различного уровня. В эксперименте использовались

устройства Cisco 2960 (SW1), Cisco 3550 (SW2), Cisco 3750 (SW3) и Cisco 2960si (SW4), соединённые последовательно в единую цепочку. Конечные узлы PC1 и PC2 были подключены к крайним коммутаторам и выполняли роль источника и приёмника трафика. Все устройства были настроены для поддержки технологии Q-in-Q, что позволило организовать передачу вложенных VLAN-тегов через промежуточные коммутаторы. Основной целью эксперимента стало подтверждение корректности работы механизма инкапсуляции VLAN-тегов и проверка прохождения клиентского трафика через провайдерскую сеть без потери изоляции и нарушений целостности данных. Топология эксперимента представлена на рисунке 1.

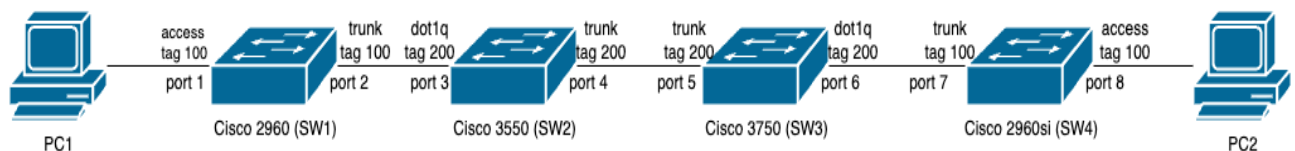


Рисунок 1 – Схема сети

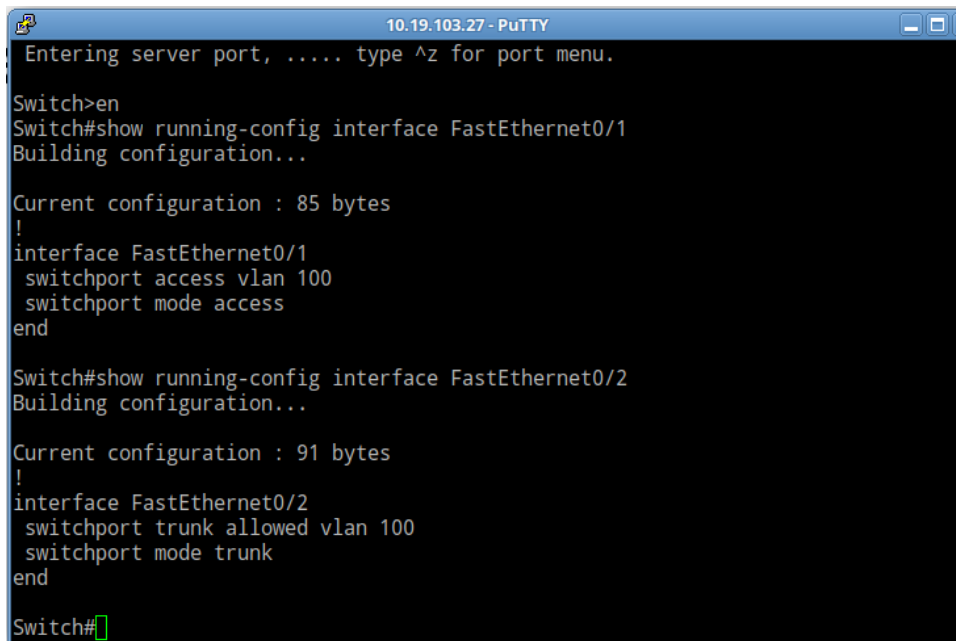
После того как коммутаторы были соединены кабелями, мы приступили к настройке Q-in-Q. На всех четырёх устройствах (Cisco 2960, Cisco 3550, Cisco 3750 и Cisco 2960si) была выполнена конфигурация портов в соответствии с экспериментальной топологией.

На коммутаторе SW1 первый порт был настроен в режиме access с присвоением VLAN 100 для подключения PC1, а второй порт – как trunk, передающий трафик с тегом 100. Далее этот трафик поступал на третий порт SW2, где был выполнен dot1q-теггинг с добавлением внешнего VLAN 200. Четвёртый порт SW2 был переведён в режим trunk с VLAN 200 и обеспечивал передачу вложенного трафика на SW3.

На коммутаторе SW3 пятый порт функционировал в режиме trunk VLAN 200, а шестой – в режиме dot1q 200 для снятия внешнего тега. После этого трафик передавался на седьмой порт SW4, сконфигурированный как

trunk VLAN 100. Восьмой порт SW4 был настроен как access VLAN 100 и обеспечивал подключение конечного узла PC2.

Таким образом, была реализована полная схема прохождения клиентского трафика с инкапсуляцией и деинкапсуляцией VLAN-тегов, при том полностью зеркальная. На рисунках 2-6 представлены команды настройки на каждом из коммутаторов.



```
10.19.103.27 - PuTTY
Entering server port, ..... type ^z for port menu.

Switch>en
Switch#show running-config interface FastEthernet0/1
Building configuration...

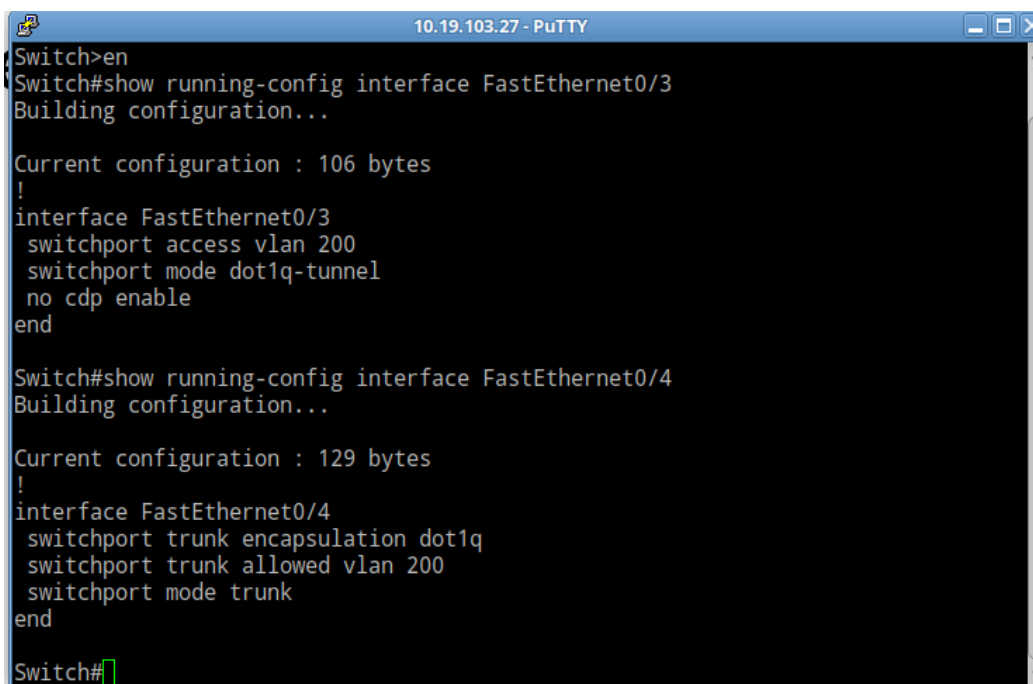
Current configuration : 85 bytes
!
interface FastEthernet0/1
 switchport access vlan 100
 switchport mode access
end

Switch#show running-config interface FastEthernet0/2
Building configuration...

Current configuration : 91 bytes
!
interface FastEthernet0/2
 switchport trunk allowed vlan 100
 switchport mode trunk
end

Switch#
```

Рисунок 2 – Настройки на Cisco 2960 (SW1)



```
10.19.103.27 - PuTTY

Switch>en
Switch#show running-config interface FastEthernet0/3
Building configuration...

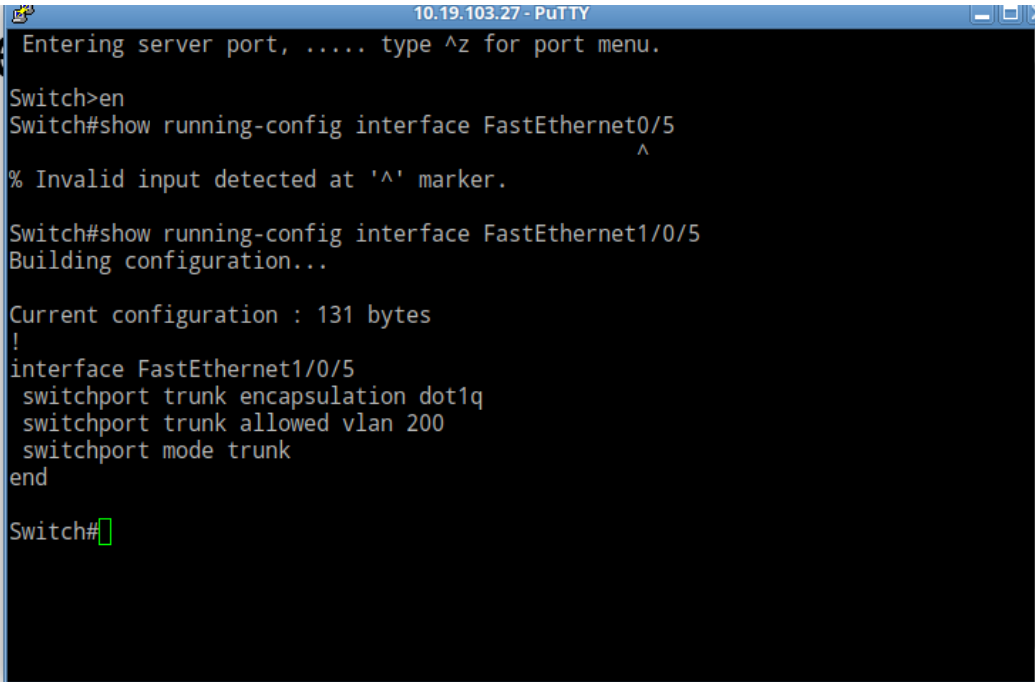
Current configuration : 106 bytes
!
interface FastEthernet0/3
 switchport access vlan 200
 switchport mode dot1q-tunnel
 no cdp enable
end

Switch#show running-config interface FastEthernet0/4
Building configuration...

Current configuration : 129 bytes
!
interface FastEthernet0/4
 switchport trunk encapsulation dot1q
 switchport trunk allowed vlan 200
 switchport mode trunk
end

Switch#
```

Рисунок 3 – Настройки на Cisco 3550 (SW2)



```
10.19.103.27 - PuTTY
Entering server port, ..... type ^z for port menu.

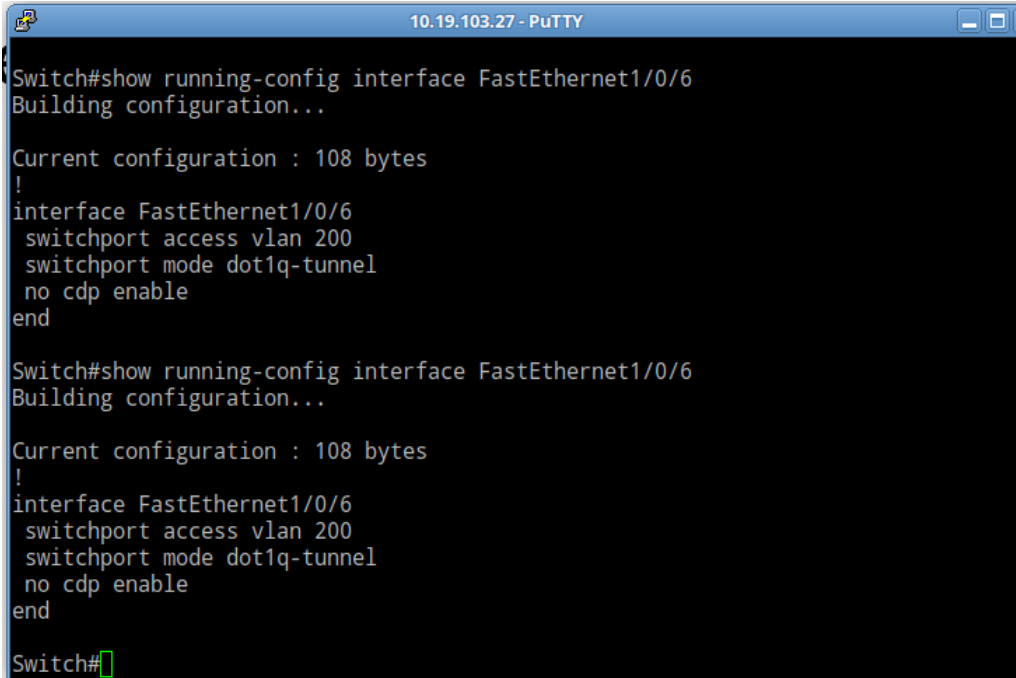
Switch>en
Switch#show running-config interface FastEthernet0/5
                                     ^
% Invalid input detected at '^' marker.

Switch#show running-config interface FastEthernet1/0/5
Building configuration...

Current configuration : 131 bytes
!
interface FastEthernet1/0/5
 switchport trunk encapsulation dot1q
 switchport trunk allowed vlan 200
 switchport mode trunk
end

Switch#
```

Рисунок 4 – Настройки пятого порта на Cisco 3750 (SW3)



```
10.19.103.27 - PuTTY

Switch#show running-config interface FastEthernet1/0/6
Building configuration...

Current configuration : 108 bytes
!
interface FastEthernet1/0/6
 switchport access vlan 200
 switchport mode dot1q-tunnel
 no cdp enable
end

Switch#show running-config interface FastEthernet1/0/6
Building configuration...

Current configuration : 108 bytes
!
interface FastEthernet1/0/6
 switchport access vlan 200
 switchport mode dot1q-tunnel
 no cdp enable
end

Switch#
```

Рисунок 5 – Настройки шестого порта на Cisco 3750 (SW3)

```
10.19.103.27 - PuTTY
Switch#show runni
Switch#show running-config inter
Switch#show running-config interface FastE
Switch#show running-config interface FastEthernet0/7
Building configuration...

Current configuration : 91 bytes
!
interface FastEthernet0/7
  switchport trunk allowed vlan 100
  switchport mode trunk
end

Switch#show running-config interface FastEthernet0/8
Building configuration...

Current configuration : 85 bytes
!
interface FastEthernet0/8
  switchport access vlan 100
  switchport mode access
end

Switch#
```

Рисунок 6 – Настройки на Cisco 2960si (SW4)

После завершения настройки коммутаторов была проведена проверка работоспособности технологии Q-in-Q. Для этого с компьютера PC1 в сторону PC2 был запущен обмен ICMP-эхо-запросами. Несмотря на прохождение трафика через четыре коммутатора и двойную инкапсуляцию VLAN-тегов, пакеты успешно достигали конечного узла. Это подтвердило корректность настройки вложенных VLAN (Q-in-Q) и продемонстрировало возможность передачи клиентского трафика сквозь провайдерскую сеть без потери данных и нарушения изоляции. На рисунке 7 представлена фиксация успешного прохождения ICMP-пакетов между конечными узлами.

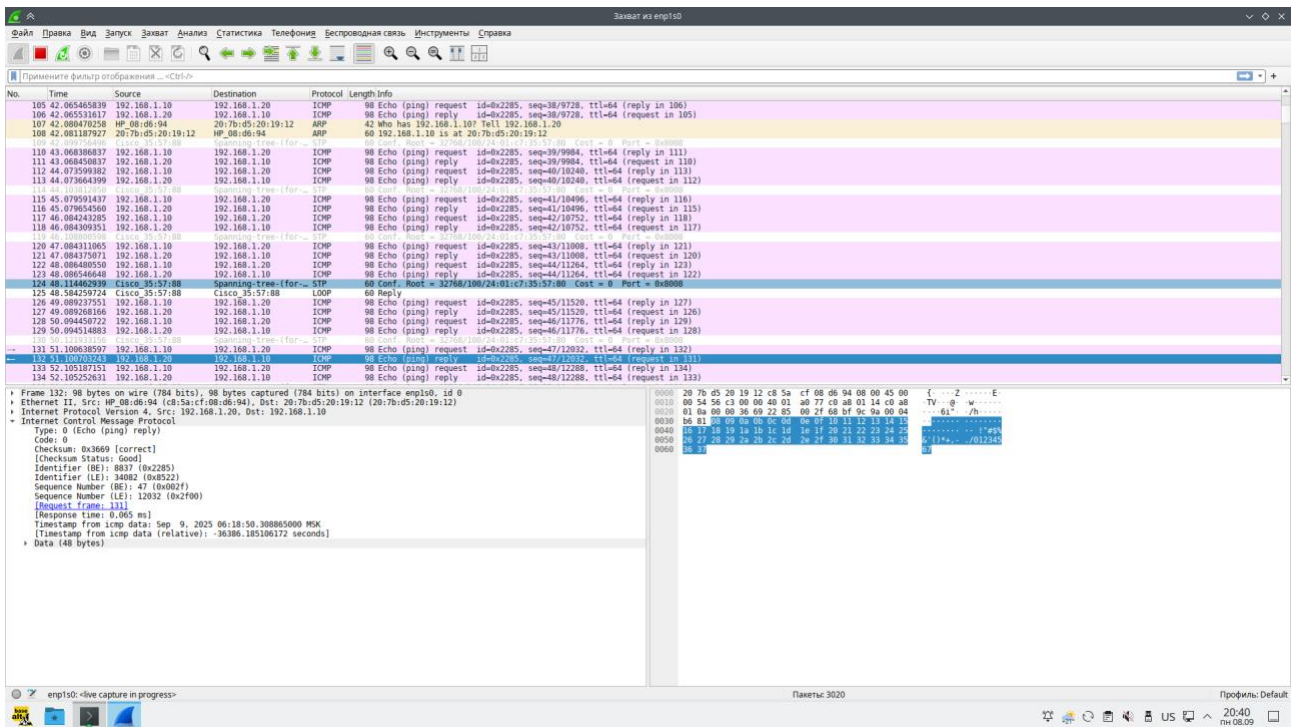


Рисунок 7 – ICMP-пакеты

Подведём итоги эксперимента.

До начала проверки компьютеры PC1 и PC2 не имели сетевой связности, так как передача трафика через промежуточные коммутаторы требовала настройки механизма Q-in-Q. После выполнения конфигурации запуск команды ping с PC1 показал успешное получение ответов от PC2. Это подтвердило, что технология Q-in-Q была настроена корректно, а клиентский трафик проходит через провайдерскую сеть с сохранением изоляции и без потерь.

Для дополнительной верификации был применён механизм зеркалирования портов (SPAN) на одном из промежуточных коммутаторов. К SPAN-порту был подключен анализатор трафика, что позволило зафиксировать структуру Ethernet-кадров при передаче между коммутаторами. На захваченных кадрах отчётливо видно наличие двух VLAN-тегов: внутреннего (inner VLAN), используемого клиентом, и внешнего (outer VLAN), добавленного провайдерской сетью. Это напрямую

подтверждает корректность вложенной инкапсуляции по технологии Q-in-Q. Результат представлен на рисунке 8.

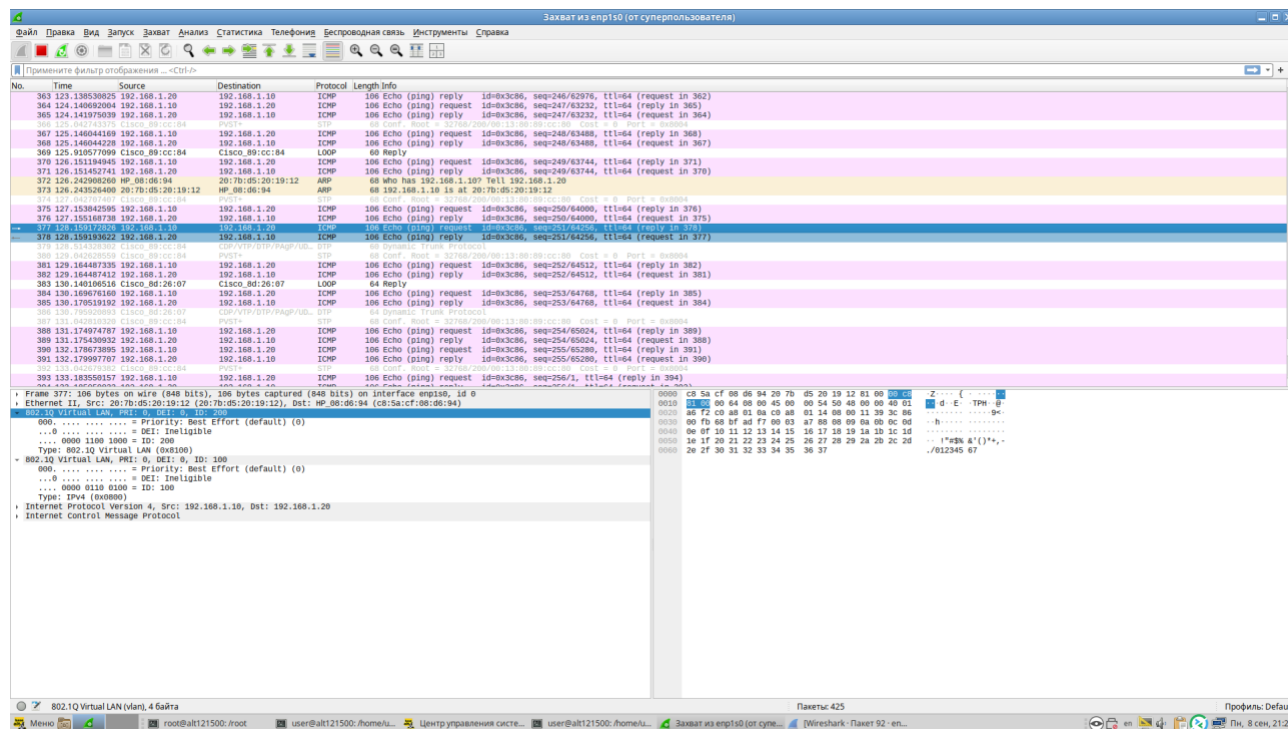


Рисунок 8 – Двойное тегирование

Таким образом, проведённый эксперимент не только продемонстрировал успешную передачу данных между конечными узлами, но и подтвердил работу механизма двойного тегирования на уровне Ethernet-кадров. Это свидетельствует о практической применимости Q-in-Q для организации мультивлановых соединений в операторских и корпоративных сетях.

Список литературы:

1. IEEE Std 802.1Q-2018. Media Access Control (MAC) Bridges and Virtual Bridged Local Area Networks. – New York (Piscataway, NJ) : IEEE, 2018. – (IEEE Standard). – 802 с. (стандарт IEEE 802.1Q, включающий поправку 802.1ad – Provider Bridges / QinQ).

2. Хэлаби, С. Metro Ethernet / Sam Halabi. – 1-е изд. – Москва : Cisco Press (переводное издание), 2003. – 240 с. – ISBN 1-58705-096-X. (Книга по Metro/Carrier Ethernet, содержит разделы о VLAN/Q-in-Q и практиках операторских сетей).

3. Cisco Systems. Configuring Q-in-Q VLAN Tunnels – Configuration Guide (Nexus Interfaces Config Guide, PDF). – San Jose : Cisco Systems, [2013–2015]. – (техническое руководство по настройке Q-in-Q на устройствах Cisco, примеры конфигураций и замечания по совместимости).

4. Juniper Networks. Understanding Q-in-Q Tunneling and VLAN Translation / Junos OS Documentation. – Juniper Networks, [online documentation], обновл. разделы по stacked-VLAN (Q-in-Q), пример конфигураций и переводов VLAN.

5. Huawei Technologies. Configuring QinQ stacking on a VLANIF interface – Support Documentation / Example for Configuring QinQ Stacking. – Huawei Enterprise Support, 2021-2024 (онлайн-руководство, пошаговая конфигурация QinQ на коммутаторах Huawei).

6. Anritsu Company. Stacked VLAN (Q-in-Q) – Application Note / Stacked_VLAN_Application_Note_V_1.2 (testing & measurement guidance). – Anritsu, Application Note, [pdf], 201x. – (обзор технологии Q-in-Q с акцентом на тестирование и измерения в доступной сетевой среде).

7. Уймин, А. Г. Сетевое и системное администрирование. Демонстрационный экзамен КОД 1.1 : учебно-методическое пособие для СПО / А. Г. Уймин. – 3-е издание, стереотипное. – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2022. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-9255-8.

References:

1. IEEE Std 802.1Q-2018. Media Access Control (MAC) Bridges and Virtual Bridged Local Area Networks. – New York (Piscataway, NJ) : IEEE,

2018. – (IEEE Standard). – 802 p. (IEEE 802.1Q standard, including amendment 802.1ad – Provider Bridges / QinQ).

2. Halabi, S. Metro Ethernet / Sam Halabi. – 1st ed. – Moscow : Cisco Press (translated edition), 2003. – 240 p. – ISBN 1-58705-096-X. (A book on Metro/Carrier Ethernet, contains sections on VLAN/Q-in-Q and practices of operator networks).

3. Cisco Systems. Configuring Q-in-Q VLAN Tunnels – Configuration Guide (Nexus Interfaces Config Guide, PDF). – San Jose : Cisco Systems, [2013–2015]. – (technical guide for configuring Q-in-Q on Cisco devices, configuration examples, and compatibility notes).

4. Juniper Networks. Understanding Q-in-Q Tunneling and VLAN Translation / Junos OS Documentation. – Juniper Networks, [online documentation], updated sections on stacked-VLAN (Q-in-Q), example configurations and VLAN translations.

5. Huawei Technologies. Configuring QinQ stacking on a VLANIF interface – Support Documentation / Example for Configuring QinQ Stacking. – Huawei Enterprise Support, 2021-2024 (online guide, step-by-step configuration of QinQ on Huawei switches).

6. Anritsu Company. Stacked VLAN (Q-in-Q) – Application Note / Stacked_VLAN_Application_Note_V_1.2 (testing & measurement guidance). – Anritsu, Application Note, [pdf], 201x. – (an overview of Q-in-Q technology with an emphasis on testing and measurement in an accessible network environment).

7. Uimin, A. G. Network and system administration. Demonstration exam CODE 1.1: a teaching aid for secondary vocational education / A. G. Uimin. - 3rd edition, stereotypical. - St. Petersburg: Lan Publishing House, 2022. - 480 p. - ISBN 978-5-8114-9255-8.