

Тюхтин К.С.

студент

Назаров И.И.

студент

Научный руководитель: Павловский В.В.,

Старший преподаватель кафедры БИТ РГУ нефти и газа (НИУ) имени

И.М. Губкина

НАСТРОЙКА ПРОТОКОЛА IGMP V2 НА СЕТЕВОМ ОБОРУДОВАНИИ. ТЕСТИРОВАНИЕ.

Аннотация: В статье рассматриваются принципы функционирования и настройки протокола IGMP версии 2 на сетевом оборудовании различных производителей – Cisco и Eltex. IGMP является ключевым протоколом управления multicast-трафиком в локальных и операторских сетях, обеспечивая возможность динамического присоединения и выхода хостов из групп многоадресной рассылки. В статье приведены практические примеры настройки IGMP на двух моделях оборудования, отражающие особенности реализации протокола на оборудовании разных производителей. Для подтверждения корректности работы использовались как встроенные диагностические команды, так и анализ сетевого трафика в программе Wireshark – популярном инструменте для захвата и детального изучения пакетов трафика. Представлены выводы системных команд и результаты анализа пакетов, подтверждающие корректную работу конфигурации. Результаты исследования показывают важность правильной настройки IGMP для оптимизации распределения multicast-трафика и предотвращения избыточной нагрузки на сетевую инфраструктуру.

Ключевые слова: IGMP v2, multicast, Cisco, Eltex, IGMP Querier, локальные сети.

Современные корпоративные и операторские сети характеризуются всё более высокой степенью сложности и возрастающими требованиями к передаче мультимедийного трафика, включая потоковое видео, IPTV, системы видеонаблюдения и многопользовательские онлайн-приложения. Для таких сценариев стандартные методы доставки данных на основе unicast создают значительную нагрузку на сетевую инфраструктуру, приводя к избыточному расходу пропускной способности и снижению качества обслуживания. Решением этой задачи стало использование технологии multicast, которая позволяет доставлять один поток данных одновременно множеству получателей, тем самым оптимизируя использование сетевых ресурсов.

Ключевым протоколом, обеспечивающим управление групповыми подписками на multicast-трафик, является Internet Group Management Protocol (IGMP). Наиболее широкое распространение в локальных сетях получила версия IGMP v2, описанная в техническом документе под названием RFC 2236. Она обеспечивает базовые механизмы присоединения и выхода хостов из групп многоадресной рассылки, а также поддерживает работу с протоколами маршрутизации, такими как PIM (Protocol Independent Multicast). IGMP v2 стал стандартом в корпоративных и операторских средах благодаря своей простоте и совместимости с оборудованием разных производителей.

Исследования в области multicast активно ведутся с конца 1990-х годов и охватывают широкий спектр вопросов: от оптимизации маршрутизации многоадресного трафика до методов его фильтрации и управления доступом. Значительный вклад в развитие данной области внесли работы по реализации IGMP Snooping и IGMP Querier, позволяющие сетевым коммутаторам контролировать прохождение multicast-трафика и предотвращать его неконтролируемое распространение.

Несмотря на высокий уровень изученности протокола IGMP, остаются нерешёнными задачи унификации методов настройки и оценки эффективности его работы в сетях, где используется оборудование различных производителей. Особенно актуальной является проверка

корректности работы IGMP Snooping и IGMP Querier на устройствах Cisco и Eltex, так как оборудование именно этих производителей широко представлено в корпоративных и операторских сетях. В данном исследовании основное внимание будет уделено практической настройке и тестированию IGMP v2 на указанном оборудовании.

Объект исследования: современные локальные и корпоративные сети, использующие технологии multicast для организации потокового вещания и групповых сервисов.

Предмет исследования: настройка и тестирование протокола IGMP v2 на сетевом оборудовании производителей Cisco и Eltex.

Цель исследования: изучение настройки протокола IGMP v2 на оборудовании производителей, рассматриваемых в исследовании, и демонстрация методов его настройки.

Основные гипотезы исследования:

1. Корректная настройка IGMP v2 на маршрутизаторах позволяет снизить объём избыточного multicast-трафика и тем самым оптимизировать использование сетевых ресурсов;
2. Несмотря на различия в интерфейсах управления у Cisco и Eltex, базовые принципы работы IGMP v2 остаются едиными, что позволяет настраивать данный протокол, обладая навыками настройки на оборудовании одного из производителей.

Тип исследования: прикладное исследование с элементами экспериментального тестирования.

Характеристика среды исследования: лабораторная сетевая инфраструктура: физические маршрутизаторы Cisco 810, Eltex ESR 15R, а также две виртуальные машины с ОС ALT Linux.

Методы сбора данных:

1. Анализ конфигураций сетевого оборудования после настройки IGMP;
2. Мониторинг состояния подписок на multicast-группы при помощи встроенных командных утилит.

Процедура проведения исследования:

1. Разработка и реализация простой тестовой топологии с использованием оборудования Cisco, а затем и Eltex;
2. Настройка протокола IGMP (в частности, IGMP Querier) на каждом устройстве, в зависимости от его роли;
3. Запуск источника multicast-трафика и подключение клиента к нужной группе;
4. Проверка работы протокола и анализ сетевого трафика;
5. Сравнение полученных данных и формулирование выводов об особенностях работы IGMP v2 на оборудовании разных производителей;

Методы обработки данных: Качественный анализ конфигураций и результатов работы IGMP Querier, сравнительный анализ поведения устройств Cisco 810 и Eltex ESR-15R в идентичных условиях.

Современные локальные сети всё чаще должны поддерживать не просто точечный трафик «клиент - сервер», но и масштабируемую доставку одного и того же потока большим группам потребителей - например, в задачах IPTV, телеметрии. Для этого unicast оказался неэффективен: при большом числе потребителей нагрузка на источник, каналы и коммутационную инфраструктуру растёт линейно с числом получателей. В ответ на эту проблему в сетях уровня IP был разработан механизм мультикаста - способ доставки одного потока одновременно множеству подписанных хостов, при котором сеть заботится о том, чтобы копии пакетов появлялись только там, где это действительно нужно.

Ключевой протокол управления членством в мультикаст-группах для IPv4 - это Internet Group Management Protocol (IGMP). Его вторая версия, IGMPv2, формализована в стандартах (RFC 2236) и давно зарекомендовала себя как рабочий инструмент для сигнализации о желании хоста присоединиться к мультикаст-группе или покинуть её. В практическом смысле IGMPv2 решает простую задачу: хосты сообщают сети «я хочу получать трафик группы X», сеть (маршрутизатор/querier) периодически опрашивает подписки, а коммутаторы и маршрутизаторы принимают решения о перенаправлении мультикаста по оптимальному дереву доставки.

Термин multicast обозначает модель доставки трафика «один ко многим» на уровне IP. Внутри локального сегмента (L2) мультикаст-пакеты отображаются в специальные MAC-адреса, и без интеллектуальной фильтрации они стандартно могут «флудиться» по всем портам VLAN, создавая лишнюю нагрузку. Чтобы избежать этого и направлять мультикаст-кадры только на те порты, где есть подписчики, в коммутаторах реализуют механизм IGMP Snooping: устройство «подслушивает» IGMP-сообщения между хостами и querier, и на их основе строит таблицу портов, заинтересованных в той или иной мультикаст-группе. Таким образом, IGMP Snooping обеспечивает L2-оптимизацию мультикаста - минимизирует ненужную пересылку кадров и уменьшает нагрузку на сегмент.

Чтобы IGMP-механизм работал корректно, в каждом VLAN должен быть активен IGMP Querier - устройство (в нашем случае маршрутизатор),

которое периодически рассылает General Query, побуждая хосты присылать Membership Report. Querier поддерживает актуальность таблицы членов групп: когда хосты присоединяются, они отправляют Report; когда покидают - Leave, после чего Querier шлёт Group-Specific Query, чтобы удостовериться в отсутствии других слушателей, и при отсутствии ответа удаляет запись.

Производители сетевого оборудования по-разному реализуют и дополняют механизмы IGMP. На маршрутизаторах уровня доступа и агрегации, таких как Cisco 810, функции IGMP Querier реализованы через широкий набор CLI-команд и детализированных отладочных выводов, что значительно облегчает диагностику и позволяет гибко настраивать работу под задачи IPTV. В то же время Eltex ESR 15 также поддерживает IGMP Snooping и возможность работы в режиме querier, но делает это через собственный интерфейс командной строки, где акцент сделан на простоте конфигурации и быстром внедрении «из коробки».

IGMP изначально создавался как лёгкий протокол контроля членства, ориентированный на локальный сегмент: его задача - позволить узлам согласованно объявлять своё участие в мультикаст-группах и давать сети сигнал для оптимизации маршрутизации мультикаста. В сочетании с протоколами мультикаст-маршрутизации (PIM и др.) IGMP обеспечивает построение эффективных деревьев доставки между источником и группой получателей на масштабируемой топологии. Для сервисов потокового видео IGMP позволяет снизить сетевые требования к пропускной способности, уменьшить нагрузку на отправителя и минимизировать количество избыточного трафика в пределах LAN.

Таким образом, IGMPv2 и смежные технологии (multicast, IGMP Snooping, IGMP Querier) представляют собой фундаментальную часть архитектуры доставки мультимедиа в локальных сетях. Понимание их принципов работы, а также практических особенностей реализации у разных производителей: необходимое условие для корректного проектирования, тестирования и эксплуатации сетей, где потоковое видео и массовая рассылка данных являются приоритетными сервисами.

На рисунке 1 представлена используемая топология сети.

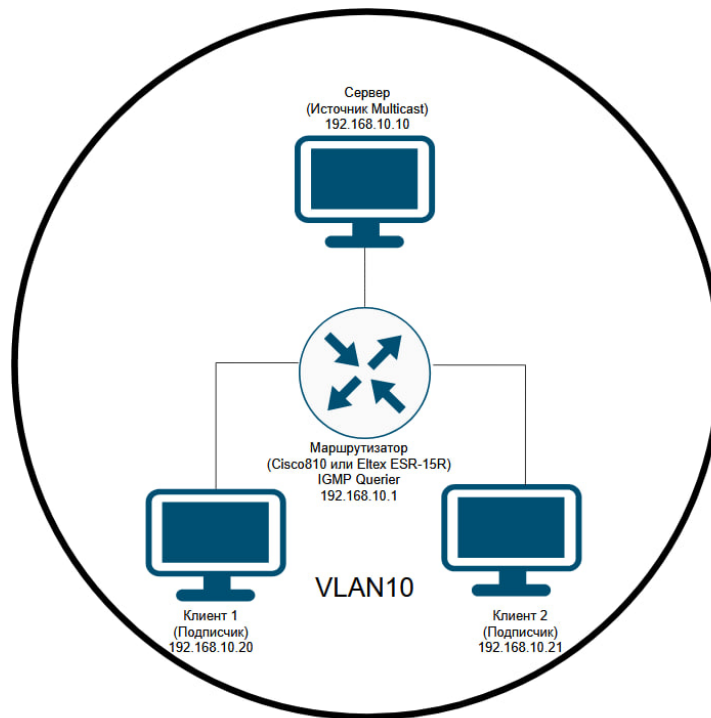


Рисунок 1 – Топология сети для эксперимента

Далее представлена настройка всех машин. Эксперимент был проведён несколько раз с различными устройствами в роли L3 маршрутизатора.

Для того, чтобы переходить к настройке физических устройств стоит воспользоваться специальным приложением – PuTTY, которое позволит подключиться к маршрутизаторам (Cisco 810 и Eltex ESR-15R) для того, чтобы настроить их изнутри. Само приложение представлено на рисунке 2.

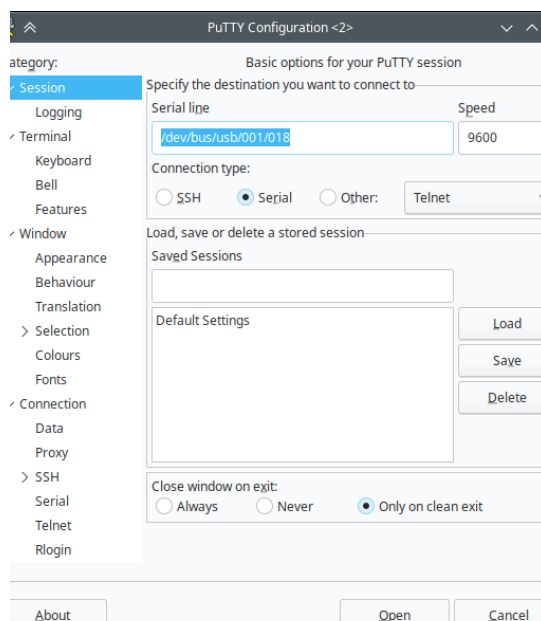


Рисунок 2 –Приложение PuTTY для настройки маршрутизаторов

Рассмотрим настройку конкретных машин. Для начала покажем настройку Cisco 810 и Eltex ESR-15R. Стоит понимать, что настройка производилась по отдельности каждый раз для каждого нового состава топологии, ведь в эксперименте участвуют четыре устройства: два клиента, один сервер, один маршрутизатор.

Начнём с объяснения настройки коммутатора Cisco 810. Создадим VLAN, настроим IP-адрес, включим IGMP. Данная настройка показана на рисунке 3. Для удобства присвоим разные hostname в соответствии с производителем для маршрутизаторов (Router1 - Cisco810, Router2 - Eltex ESR-15R).

```
Router> enable
Router# configure terminal
Router(config)# hostname Cisco810
Cisco810(config)# interface vlan 10
Cisco810(config-if)# ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
Cisco810(config-if)# no shutdown
Cisco810(config)# ip multicast-routing
Cisco810(config)# interface vlan 10
Cisco810(config-if)# ip igmp version 2
Cisco810(config)# end
Cisco810# write memory
```

Рисунок 3 – Настройка Cisco 810

Далее выполним базовую настройку маршрутизатора Eltex ESR-15R для работы протокола IGMP v2. Сначала зададим имя устройства и создадим VLAN 10 с логическим интерфейсом `interface vlan 10`, которому присвоим IP-адрес 192.168.10.1/24. Далее активируем интерфейс командой `no shutdown`. После этого на интерфейсе явно укажем версию IGMP - `ip igmp version 2`, что обеспечит использование именно второй версии протокола. Завершение конфигурации выполним командами `end` и `commit`, что сохранит изменения в рабочей конфигурации маршрутизатора. Настройка показана на рисунке 4.

```
Router> enable
Router# configure terminal
Router(config)# hostname EltexESR15R
EltexESR15R(config)# vlan 10
EltexESR15R(config-vlan)# name VLAN10_IGMP
EltexESR15R(config-vlan)# exit
EltexESR15R(config)# interface vlan 10
EltexESR15R(config-if)# ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
EltexESR15R(config-if)# no shutdown
EltexESR15R(config)# interface vlan 10
EltexESR15R(config-if)# ip igmp version 2
EltexESR15R(config)# end
EltexESR15R# commit
```

Рисунок 4 – Настройка Eltex MES1428

На сервере, выполняющем роль источника multicast-трафика, произведём базовую настройку сетевого интерфейса `eth0`. Сначала активируем интерфейс командой `ip link set dev eth0 up`. Далее на него назначим IP-адрес 192.168.10.10/24 с помощью команды `ip addr add 192.168.10.10/24 dev eth0`. Данный адрес используется в дальнейшем для передачи мультимедийного потока в группу `multicast`. Настройка представлена на рисунке 6.

```
[root@ALT-Server ~]$ip link set dev eth0 up
[root@ALT-Server ~]$ip addr add 192.168.10.10/24 dev eth0
```

Рисунок 6 – Настройка IP на сервере

На первой клиентской машине, которая будет подписываться на

multicast-поток, производим настройку сетевого интерфейса eth0. Сначала активируем интерфейс командой `ip link set dev eth0 up`. Затем задаём IP-адрес `192.168.10.20/24` с помощью команды `ip addr add 192.168.10.20/24 dev eth0`. Данный адрес используется клиентом для обмена данными с маршрутизатором и получения multicast-трафика от сервера. Настройка представлена на рисунке 7.

```
[root@ALT1 ~]$ip link set dev eth0 up
[root@ALT1 ~]$ip addr add 192.168.10.20/24 dev eth0
```

Рисунок 7 – Настройка клиента 1

На второй клиентской машине, которая будет подписываться на multicast-поток, производим настройку сетевого интерфейса eth0. Сначала активируем интерфейс командой `ip link set dev eth0 up`. Затем задаём IP-адрес `192.168.10.21/24` с помощью команды `ip addr add 192.168.10.21/24 dev eth0`. Данный адрес используется клиентом для обмена данными с маршрутизатором и получения multicast-трафика от сервера. Настройка представлена на рисунке 8.

```
[root@ALT2 ~]$ip link set dev eth0 up
[root@ALT2 ~]$ip addr add 192.168.10.21/24 dev eth0
```

Рисунок 8 – Настройка клиента 2

На сервере, выполняющем роль источника, производим запуск передачи мультимедийного потока в multicast-группу. Для этого используем медиаплеер VLC в консольном режиме (`cvlc`). Команда: `cvlc -vvv /home/test.mp4 --sout '#rtp{dst=239.1.1.1,port=1234,mux=ts}'`. Данной командой мы указываем путь к медиафайлу (`/home/test.mp4`), а также задаём параметры выхода: отправку данных по протоколу RTP в адрес группы `239.1.1.1` на порт `1234`, с мультиплексированием в формат транспортного потока (TS). После запуска этой команды сервер начинает непрерывно рассылать поток по multicast-адресу `239.1.1.1:1234`.

```
[root@ALT-Server ~]$cvlc -vvv /home/test.mp4 --sout '#rtp{dst=239.1.1.1,port=1234,mux=ts}'
```

Рисунок 9 – Передача multicast трафика

На клиентских машинах для приёма потока используем VLC. При запуске плеер автоматически отправляет IGMP Membership Report, подписываясь на указанную группу. После выполнения этой команды

клиентское приложение подключается к указанной multicast-группе и начинает получать поток, рассылаемый сервером. Пример настройки для клиента 2 показан на рисунке 10, для клиента 1 настраивается аналогично.

```
[root@ALT2 ~]$vlc udp://@239.1.1.1:1234
```

Рисунок 10 – Подписка клиента на multicast группу

Проверим, что наши клиенты действительно подписались на multicast группу, для этого на клиентской машине ALT Linux выполняем проверку участия в multicast-группах с помощью команды `cat /proc/net/igmp`. Мы увидим, что сетевой интерфейс `eth0` клиента подписан на одну multicast-группу с адресом `239.1.1.1`. Подписка была инициирована автоматически медиаплеером при подключении к потоку, что подтверждает корректную работу протокола IGMP версии 2. Проверка приведена на рисунке 11.

```
[root@ALT1 ~]$cat /proc/net/igmp
Idx Device : Count : Group
2 eth0 : 1 : 239.1.1.1
```

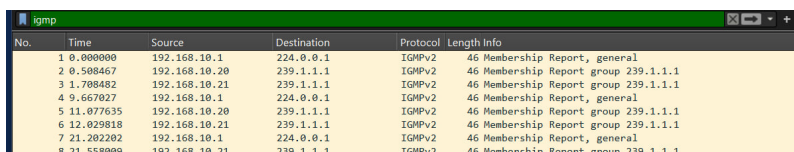
Рисунок 11 – Проверка подписки на клиенте 1

Проверка для клиента 2 приведена на рисунке 12.

```
[root@ALT2 ~]$cat /proc/net/igmp
Idx Device : Count : Group
2 eth0 : 1 : 239.1.1.1
```

Рисунок 12 – Проверка подписки на клиенте 2

Для более наглядной проверки работы протокола IGMP v2 захватим сетевой трафик с помощью анализатора Wireshark. На полученном фрагменте видно, что клиенты, подключённые к multicast-группе, отправляют IGMP Membership Report в адрес `239.1.1.1`. Эти пакеты подтверждают факт подписки клиентов на группу и взаимодействие с IGMP Querier, что демонстрирует корректность функционирования протокола на уровне сетевых сообщений. Результат проверки представлен на рисунке 13.



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.10.1	224.0.0.1	IGMPv2	46	Membership Report, general
2	0.508467	192.168.10.20	239.1.1.1	IGMPv2	46	Membership Report group 239.1.1.1
3	1.708482	192.168.10.21	239.1.1.1	IGMPv2	46	Membership Report group 239.1.1.1
4	9.667927	192.168.10.1	224.0.0.1	IGMPv2	46	Membership Report, general
5	11.077635	192.168.10.20	239.1.1.1	IGMPv2	46	Membership Report group 239.1.1.1
6	12.029818	192.168.10.21	239.1.1.1	IGMPv2	46	Membership Report group 239.1.1.1
7	21.202202	192.168.10.1	224.0.0.1	IGMPv2	46	Membership Report, general
8	21.558009	192.168.10.21	239.1.1.1	IGMPv2	46	Membership Report group 239.1.1.1

Рисунок13 — Захват трафика в Wireshark

Для проверки работы протокола IGMP v2 на маршрутизаторе Cisco 810 выполняем команду `show ip igmp groups`. В результате выводится информация о multicast-группах, зарегистрированных на интерфейсе `Vlan10`. В таблице видно, что в группу `239.1.1.1` подписаны два клиента с адресами

192.168.10.20 и 192.168.10.21. В колонках также отображаются время с момента подписки (Uptime) и оставшееся время до истечения записи (Expires). Таким образом, результат подтверждает, что маршрутизатор корректно выполняет роль IGMP Querier, фиксируя отчёты клиентов и обеспечивая доставку multicast-трафика только подписанным участникам. Вывод представлен на рисунке 14.

```
Cisco810# show ip igmp groups
Group Address      Interface  Uptime    Expires   Last Reporter
239.1.1.1         Vlan10    00:01:05  00:02:30  192.168.10.20
239.1.1.1         Vlan10    00:00:55  00:02:30  192.168.10.21
```

Рисунок 14 – Проверка работы протокола IGMP v2 на Cisco810

Для проверки работы IGMP v2 на маршрутизаторе Eltex ESR-15R используем команду `show ip igmp groups`. В результате отображается информация по VLAN 10: активная multicast-группа 239.1.1.1, в которую подписаны клиенты с адресами 192.168.10.20 и 192.168.10.21. Также указано, что маршрутизатор с адресом 192.168.10.1 выступает в роли Querier.

Таким образом, результат подтверждает корректное функционирование IGMP v2: клиенты успешно зарегистрированы в группе, а маршрутизатор выполняет роль генератора IGMP-запросов. Результат проверки работы протокола IGMP представлен на рисунке 15.

```
EltexESR15R# show ip igmp groups
VLAN 10
Group: 239.1.1.1
Members: 192.168.10.20, 192.168.10.21
Querier: 192.168.10.1
```

Рисунок 15 – Проверка работы протокола IGMP v2 на Eltex ESR-15R

В ходе проведённого исследования была выполнена настройка и проверка функционирования протокола IGMP v2 на сетевых устройствах Cisco 810 и Eltex ESR-15R в данной топологии, включающей один сервер-источник multicast-трафика и два клиента на базе ОС ALT Linux.

В результате эксперимента были достигнуты следующие результаты: подтвердили возможность работы Cisco 810 и Eltex ESR-15R в роли IGMP Querier, обеспечивающего рассылку IGMP-запросов и регистрацию клиентов multicast-группы, также сервер успешно передавал мультимедийный поток в адрес многоадресной группы (239.1.1.1:1234). Клиенты на ALT Linux автоматически отправляли IGMP Membership Report v2 при подключении к потоку через VLC, после чего данные о подписках отображались в таблицах

маршрутизаторов (`show ip igmp groups`). На уровне маршрутизаторов было подтверждено, что обе платформы корректно поддерживают протокол IGMP v2, отображая активные группы и адреса последних репортёров.

Сравнительный анализ показал, что: Cisco 810 имеет более развитый функционал в части диагностики и отладки, что облегчает администрирование, Eltex ESR-15R демонстрирует полную совместимость с IGMP v2 и простоту конфигурации, при этом его функционал в области multicast ограничен базовыми командами.

Таким образом, протестированное оборудование успешно может использоваться в корпоративных сетях для организации доставки multicast-трафика в пределах одной VLAN. При этом выбор конкретного оборудования может определяться бюджетными ограничениями и требованиями к расширенной диагностике.

Результаты проверки гипотез:

1. *Гипотеза 1 подтверждена:* корректная настройка IGMP v2 на маршрутизаторах действительно позволяет снизить объём избыточного multicast-трафика и тем самым оптимизировать использование сетевых ресурсов;

2. *Гипотеза 2 подтверждена:* несмотря на различия в интерфейсах управления у Cisco и Eltex, действительно, базовые принципы работы IGMP v2 остаются едиными, что позволяет настраивать данный протокол, обладая навыками настройки на оборудовании одного из производителей.

Практические рекомендации:

1. Единая VLAN для multicast-распространения. Для корректной работы IGMP v2 все участники (сервер и клиенты) должны находиться в одной VLAN и одной IP-подсети. Это упрощает администрирование и позволяет избежать необходимости настройки протоколов маршрутизации multicast (PIM).

2. Выбор IGMP Querier. В каждой VLAN должен быть только один активный Querier. В топологиях с несколькими маршрутизаторами необходимо следить за выбором Querier: по умолчанию им становится устройство с наименьшим IP-адресом. Рекомендуется явно назначать роль

Querier на планируемом маршрутизаторе, чтобы избежать конфликтов.

3. Проверка подписок клиентов. После подключения клиентов к multicast-группе следует проверять состояние IGMP на маршрутизаторе с помощью соответствующих команд (Cisco: `show ip igmp groups`, `show ip igmp interface`; Eltex: `show ip igmp groups`; на стороне клиентов (ALT Linux) рекомендуется использовать `cat /proc/net/igmp` для подтверждения подписки.

Направление дальнейшего исследования:

1. Настройка и тестирование IGMP v3 на сетевом оборудовании.

Использованные источники:

1. Уймин А.Г. Компьютерные сети. L2-технологии [Электронный ресурс] // Ай Пи Ар Медия – Москва. - 2024. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/epd-reader?publicationId=135231> - ISBN 978- 5-4497-2539-4 - (дата обращения: 19.09.2025)
2. Fenner, B., & Cain, B. «Internet Group Management Protocol, Version 2», RFC 2236, IETF, 1997. [Электронный ресурс] – URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2236> — (дата обращения 20.09.2025)
3. Cisco Systems. *IP Multicast: IGMP Configuration Guide* [Электронный ресурс] — URL: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/ipmulti_igmp/configuration/xe-16/imc-igmp-xe-16-book/imc-customizing-igmp.html – (дата обращения 20.09.2025)
4. Eltex. *ESR-Series User Manual* [Электронный ресурс] – URL: docs.eltex-co.ru/download/attachments/58235619/ESR-Series_User_Manual_1.13.0_en.pdf?api=v2& – (дата обращения 20.09.2025)
5. Cisco Systems. *Configuring IGMP* [Электронный ресурс] - URL: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/lan/catalyst3750x_3560x/software/release/15-2-2_e/multicast/configuration_guide/b_mc_1522e_3750x_3560x_cg/b_ipmc_3750x_3560x_chapter_01000.pdf - (дата обращения 20.09.2025)
6. Richard Sharpe, Ed Warnicke, Ulf Lamping, Wireshark User’s Guide [Электронный ресурс] – URL: https://www.wireshark.org/docs/wsug_html_chunked/ - (дата обращения 21.09.2025)
7. Christensen, M. , Kimball, K. , Solensky, F. «Considerations for Internet Group Management Protocol (IGMP) and Multicast Listener Discovery (MLD) Snooping Switches», RFC 4541, IETF, 2006. [Электронный ресурс] — URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4541.html> - (дата обращения 21.09.2025)
8. Deering, S. «Host Extensions for IP Multicasting», RFC 1112, IETF, August 1989. [Электронный ресурс] — URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1112.html> – (дата обращения: 20.09.2025)