

Казиев Артем Рамисович, студент, РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, г.

Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОКОЛА IS-IS

В статье рассматриваются основные аспекты работы протокола IS-IS в мультидоступных сетях. Изучаются процедуры выбора Designated IS (DIS), оптимизация обмена LSP при помощи псевдокода, а также синхронизация LSDB в разных сегментах сети. Рассматривается механизм трёхстороннего рукопожатия (3-Way Handshake) в контексте RFC 5303, обсуждаются вопросы совместимости реализаций от разных вендоров и важность установления корректной соседства (adjacency). Также описывается применение YANG-моделей для управления IS-IS в сегментном маршрутизировании (Segment Routing) и автоматизации конфигурации в MPLS-сетях. Изложены базовые принципы работы протокола: иерархия L1 / L2, структуры NSAP, распространение LSP и алгоритм SPF, а также ключевые особенности, такие как инкапсуляция, TLV и особенности отсутствия транспортного и сеансового уровней.

This article examines key aspects of the IS-IS routing protocol in multi-access networks. It discusses procedures for selecting the Designated IS (DIS), optimizing LSP exchange via pseudocode, and LSDB synchronization across different network segments. The mechanism of a three-way handshake (3-Way Handshake) in accordance with RFC 5303 is analysed, addressing interoperability issues among different vendor implementations and the importance of correct adjacency establishment. The use of YANG data models to manage IS-IS in segment routing environments and the automation of configuration in MPLS networks is also described. Fundamental principles of the protocol—such as the L1/L2 hierarchy, NSAP structures, LSP flooding, the SPF algorithm, and core features like encapsulation, TLVs, and the absence of transport/session layers—are also presented.

Ключевые слова: протокол IS-IS, LSP, синхронизация LSDB, мультидоступные сети, трёхстороннее рукопожатие, YANG, Segment Routing

Keywords: IS-IS protocol, LSP, LSDB synchronization, multi-access networks, three-way handshake, YANG, Segment Routing

Обзор литературы

Научная статья "IS-IS Behavior on Multi-Access Networks" проводит анализ механизма работы протокола в широковещательных сетях. В ней подробно рассматривается процедура выбора Designated IS (DIS), объясняется концепция псевдокода для оптимизации обмена LSP и описываются процессы синхронизации LSDB в различных сегментах.

Работа исследования "IS-IS 3-Way Handshake and the Power of SHOULD" раскрывает детали механизмов трехстороннего рукопожатия согласно RFC 5303. Автор анализирует проблемы совместимости между различными реализациями протокола, рассматривает тонкости интерпретации стандартов разными вендорами и объясняет важность корректного установления соседства для стабильной работы сети.

Исследование "A YANG Data Model for IS-IS Segment Routing" описывает современные подходы к управлению протоколом через модель данных YANG. В статье раскрывается интеграция IS-IS с технологией Segment Routing и демонстрируются практические аспекты автоматизации конфигурации в MPLS-сетях.

Материал "Comprehensive Guide to IS-IS Routing Protocol" представляет собой фундаментальное введение в базовые принципы работы протокола. Здесь объясняется иерархическая структура с разделением на L1 и L2 маршрутизаторы, описываются форматы NSAP адресов и дается общее понимание алгоритма маршрутизации.

Автор статьи "Understanding IS-IS: A Deep Dive" проводит углубленный анализ архитектурных компонентов протокола. Особое внимание уделяется типам PDU,

включая Hello-пакеты, LSP и SNP, а также детально разбираются процессы установления смежностей и особенности flood-механизмов

Определение протокола IS-IS?

IS-IS (Intermediate System to Intermediate System) — это протокол внутренней маршрутизации (IGP), основанный на алгоритме состояния каналов (link-state), который функционирует на канальном уровне (уровень 2) модели OSI. Он предназначен для построения и поддержания топологической карты сети с целью вычисления оптимальных путей передачи данных в пределах одного домена маршрутизации (автономной системы).

Ключевые аспекты определения

1. Уровень 1 (Физический) и Уровень 2 (Канальный) — Работа в Среде передачи

IS-IS рассматривает эти два уровня как единую среду для установления соседских отношений. Он играет на этом «объединенном уровне» следующую роль:

1.1 Инкапсуляция PDU (Protocol Data Unit):

Кадры IS-IS, называемые PDU, напрямую инкапсулируются в кадры канального уровня. Адресация кадра: Для широковещательных сетей (Ethernet) используются Multicast MAC-адреса: 01:80:C2:00:00:14, 01:80:C2:00:00:15. Для point-to-point сетей (например, PPP, HDLC) используется адрес 09:00:2B:00:00:05.

1.2. Обнаружение соседей (Hellos)

Маршрутизаторы рассылают ПН (IS-IS Hello) PDU на multicast-адреса. Эти Hello-пакеты содержат информацию, необходимую для установления соседства: System ID отправителя, area ID (идентификатор области), приоритет для выбора Designated IS (DIS), таймеры (Hello Interval, Hold Time). Для этого процесса не требуется ни одного IP-адреса. Соседи "видят" друг друга исключительно на канальном уровне.

1.3. Установление смежности (Adjacency)

Если параметры в Hello-пакетах совпадают (область, таймеры и т.д.), маршрутизаторы формируют соседское отношение (Adjacency). Тип смежности (Уровень-1, Уровень-2 или оба) определяется на этом этапе.

1.4. Надежная доставка (на P2P линках)

На point-to-point линках IS-IS реализует свой собственный механизм надежности, аналогичный транспортному уровню. Используются PSNP (Partial Sequence Number PDU) для подтверждения получения LSP (Link State PDU) или для запроса отсутствующих LSP. Это прямая замена механизму ACK в TCP.

2. Уровень 3 (Сетевой) — Строительство карты сети и маршрутизация

Это самый сложный и важный уровень для IS-IS. Он работает в мире OSI, но переносит информацию об IP. IS-IS выполняет на сетевом уровне следующие роли:

2.1. Собственная адресация (NSAP)

IS-IS использует адреса NSAP (Network Service Access Point) для идентификации маршрутизаторов и областей в сети OSI, system ID (обычно 6 байт) — уникально идентифицирует маршрутизатор (аналог Router ID в OSPF), area ID — идентифицирует область (маршрутизаторы с одинаковым Area ID находятся в одной области Уровня-1), сел (SEL) — обычно 0x00 для маршрутизатора.

2.2. Распространение информации о топологии (LSP Flooding)

Основной блок информации в IS-IS — это LSP (Link State PDU). Это аналог LSA в OSPF, но более крупный и структурированный. Каждый маршрутизатор создает свои собственные LSP, в которых описывает своих соседей (их System ID), метрики до этих соседей, свои непосредственно подключенные IP-сети (через IP Reachability TLV). Процесс распространения LSP по сети называется флудингом (flooding).

2.3. Построение базы данных состояния каналов (LSDB)

Каждый маршрутизатор собирает все LSP от всех маршрутизаторов в своей области (и уровне) и строит полную базу данных (LSDB). LSDB — это полная карта сети, представленная в виде графа.

2.4. Вычисление маршрутов (Алгоритм Дейкстры)

Маршрутизатор запускает алгоритм SPF (Shortest Path First) на своем графе LSDB. На первой фазе рассчитывается кратчайший путь ко всем из-

вестным System ID (маршрутизаторам) в сети. Это создает карту топологии OSI. На второй фазе к топологии "привязываются" IP-префиксы, которые были анонсированы в LSP через TLV. В итоге строится таблица IP-маршрутизации.

2.5. Роль TLV (Type-Length-Value)

TLV — это механизм расширения, который позволяет "вкладывать" разнородную информацию в LSP. Основные TLV для IP: IP Reachability TLV (128/130) (содержит IP-префикс, маску и метрику. Говорит: "Ко мне ведет такая-то IP-сеть"), IP Interface Address TLV (132) (содержит IP-адрес интерфейса, с которого отправлен Hello-пакет, нужен для установления IP-соседства в дополнение к OSI-соседству).

Уровень 4 (Транспортный) и Уровень 5 (Сеансовый) — Отсутствуют

IS-IS сознательно обходится без этих уровней. Вместо транспортного протокола (TCP/UDP) IS-IS использует свои собственные механизмы, встроенные в канальный и сетевой уровни. Вместо сеансового уровня (управление сессией) используется постоянный обмен Hello-пакетами для поддержания соседства и периодическая ретрансляция LSP для поддержания актуальности базы данных. Это делает протокол очень легковесным и быстрым, так как отсутствуют накладные расходы на установление TCP-сессии и обработку транспортных заголовков.

3. Уровень 6 (Представления) и Уровень 7 (Прикладной) — Отсутствуют

Эти уровни не имеют отношения к работе протоколов маршрутизации. IS-IS — это сервис, работающий на маршрутизаторе. Его "приложение" — это вычисление путей и заполнение таблицы маршрутизации (FIB — Forwarding Information Base).

Отличительная особенность

IS-IS не реализуется на IP для транспорта своих служебных сообщений, что обеспечивает его работу даже в средах с нестабильным IP-стеком, и позволяет легко интегрировать поддержку новых сетевых протоколов через

расширения (TLV-поля).

Принцип работы протокола IS-IS

Общий принцип

IS-IS — это протокол состояния каналов (link-state). Это означает, что каждый маршрутизатор (IS) не просто сообщает соседям свои маршруты, а распространяет

информацию о состоянии своих собственных каналов (линков). Все маршрутизаторы в области собирают эти сообщения, чтобы построить идентичную базу данных топологии (LSDB). На основе этой базы данных каждый маршрутизатор независимо вычисляет карту сети и оптимальные пути до всех пунктов назначения с помощью алгоритма Дейкстры (SPF).

Детальное описание процесса работы

1. Формирование соседских отношений (Adjacency)

Процесс начинается с того, что маршрутизаторы находят своих непосредственных соседей.

1.1 Hello-пакеты (ПН - IS-IS Hello)

Каждый маршрутизатор периодически рассылает на multicast-адреса канального уровня (L1_LAN_ПН: 0180.C200.0014, L2_LAN_ПН: 0180.C200.0015) Hello-пакеты на каждом своем интерфейсе.

1.2 Обнаружение соседа

Когда два маршрутизатора получают Hello-пакеты друг друга, они проверяют ряд параметров (идентификатор области, уровень маршрутизации, MTU, аутентификацию и т.д.) на совместимость.

1.3 Установление смежности (Adjacency)

Если параметры совпали, маршрутизаторы формируют соседское отношение (adjacency). Важно понимать, что не все соседи становятся "смежными". Тип отношения зависит от уровней:

1.4 L1 Adjacency

Формируется между двумя маршрутизаторами в одной области.

1.5 L2 Adjacency

Формируется между двумя маршрутизаторами из разных областей (или внутри одной, если они настроены как L2).

1.6 L1/L2 Adjacency

Формируется между маршрутизаторами, работающими на обоих уровнях.

Соседские отношения — это просто "рукопожатие", необходимое для дальнейшего обмена информацией. По ним еще не происходит обмен маршрутами.

2. Синхронизация баз данных топологии (LSDB)

После установления смежности маршрутизаторы начинают обмениваться информацией о топологии.

2.1 LSP (Link State PDU - Блок данных состояния канала)

Это фундаментальная единица информации в IS-IS. Каждый маршрутизатор создает один или несколько LSP, которые описывают:

2.2 Его соседей (их System ID).

2.3 Метрику (стоимость) канала до каждого соседа.

2.4 IP-сети, подключенные напрямую к этому маршрутизатору.

LSP — это как "страница" в общей карте сети.

3 Распространение LSP (Flooding)

Маршрутизатор рассылает свои собственные LSP всем своим соседям, с которыми у него установлено смежность. Те, получив новый LSP, пересылают его своим соседям, и так далее, пока LSP не будет распространен по всей области (для L1) или по всему домену Level-2 (для L2). Этот механизм гарантирует, что все маршрутизаторы в одной области/уровне получают одинаковый набор LSP.

4 Синхронизация (CSNP/PSNP)

Чтобы убедиться, что базы данных у всех совпадают, маршрутизаторы используют специальные пакеты:

4.2 CSNP (Complete Sequence Number PDU)

Содержит полный список всех LSP и их версий в базе данных отправителя. Рассылается периодически на broadcast-сегментах (например, Ethernet) и сразу при установлении смежности на point-to-point линках. Выполняет роль оглавления книги.

4.3 PSNP (Partial Sequence Number PDU)

Используется для запроса конкретных недостающих LSP или для подтверждения получения LSP на point-to-point линках. Выполняет роль запроса на конкретную страницу книги или квитанции о ее получении.

В итоге, после успешного распространения и синхронизации, все маршрутизаторы в одной области имеют абсолютно идентичную базу данных LSDB.

5. Вычисление путей (SPF Algorithm)

Каждый маршрутизатор теперь обладает полной информацией о топологии сети. Далее он действует независимо.

5.1 Запуск алгоритма Дейкстры (SPF - Shortest Path First)

Маршрутизатор использует себя как корневую точку (root) и на основе информации в LSDB вычисляет дерево кратчайших путей до каждого другого маршрутизатора и сети в области.

5.2 Построение таблицы маршрутизации

Результаты вычисления SPF-алгоритма заносятся в таблицу маршрутизации. Маршрутизатор теперь знает оптимальный следующий прыжок (next-hop) для каждой известной сети.

SPF-вычисление запускается только при изменении топологии (появлении, исчезновении или изменении метрики LSP), что обеспечивает высокую эффективность.

6. Обмен маршрутами между уровнями (L1 <-> L2)

Это ключевая особенность архитектуры IS-IS.

6.1 Маршрутизаторы Level-1 знают только топологию своей области. У них нет карты других областей.

6.2 Маршрутизаторы Level-1-2 работают в обеих ролях. Они являются "выходами" из своей области.

6.3 Маршрутизатор Level-1 в своей области видит, что маршрутизаторы Level-1-2 помечены специальным флагом Attach Bit (ATT bit) в своих LSP. Этот флаг говорит: "Я знаю путь к другим областям".

6.4 Поэтому весь трафик из области Level-1, предназначенный для сетей в других областях, отправляется по умолчанию на ближайший маршрутизатор Level-1-2 (с установленным ATT bit).

6.5 Маршрутизаторы Level-2 обмениваются LSP только с другими L2-маршрутизаторами, формируя магистраль (backbone) между областями.

Настройка протокола IS-IS

Настройка IS-IS напоминает планирование иерархической структуры предприятия с отделами (областями) и руководством (магистралью). Процесс можно разбить на несколько логических этапов.

1. Планирование иерархии: основа основ

Прежде чем приступить к технической настройке, необходимо разработать план — самый критичный этап.

1.1 Выбор идентификатора области (Area ID)

Каждой логической группе маршрутизаторов (области) присваивается уникальный номер. Это аналогично присвоению почтового индекса разным городам. Все маршрутизаторы внутри одной области должны быть сконфигурированы с одним и тем же идентификатором области для установления соседских отношений уровня 1.

1.2 Присвоение System ID

Каждому маршрутизатору вручается уникальный идентификатор в рамках всей сети, подобно уникальному табельному номеру сотрудника. На практике часто используют MAC-адрес или преобразованный IP-адрес интерфейса для гарантии уникальности.

1.3 Определение ролей (Уровень 1, Уровень 2 или Level-1-2)

Для каждого маршрутизатора определяется его роль в иерархии.

1) Маршрутизаторы Уровня 1 (L1) — рядовые сотрудники отдела: они знают детальную топологию только своей области. Для связи с внешним миром они полагаются на указатели выхода (маршрутизаторы L1-L2).

2) Маршрутизаторы Уровня 2 (L2) — высшее руководство: они формируют магистраль (backbone), соединяющую разные области. Они знают только магистральные пути между областями, но не внутреннюю топологию каждой из них.

3) Маршрутизаторы Уровня 1-2 (L1-L2) — начальники отделов, связывающие рядовых сотрудников с руководством. Они находятся на стыке области и магистрали: знают внутреннюю топологию своей области и умеют передавать информацию о своих сетях в магистраль.

2. Базовая конфигурация: включение и идентификация

После планирования начинается практическая реализация.

2.1 Активация процесса IS-IS

На каждом маршрутизаторе активируется механизм работы протокола IS-IS. Этому процессу присваивается уникальное имя для локальной идентификации (хотя в небольших сетях оно может быть одинаковым везде).

2.2 Присвоение сетевого адреса (NET)

Это ключевой шаг для идентификации маршрутизатора в сети IS-IS. NET — это конкатенация Area ID и System ID. Он действует как полный адрес маршрутизатора, сообщая сети: "Я маршрутизатор с таким-то System ID из такой-то области".

3. Настройка интерфейсов: определение точек взаимодействия

Маршрутизатор должен знать, через какие свои интерфейсы ему следует устанавливать соседские отношения и рассылать информацию о маршрутизации.

3.1 Включение IS-IS на интерфейсе

Для каждого интерфейса, подключенного к другому IS-IS устройству, явно указывается, что на этом интерфейсе нужно запустить процесс IS-IS. Без этой настройки интерфейс будет молчать.

3.2 Назначение уровня маршрутизации интерфейсу

Каждому интерфейсу можно вручную назначить, на каком уровне (L1, L2 или обоих) он будет работать. Это определяет, с какими соседями он сможет установить отношения. Например, интерфейс, смотрящий в магистраль, настраивается как level-2.

4. Тонкая настройка и оптимизация (Опционально)

Для работы в больших и сложных сетях базовая настройка дополняется оптимизацией.

4.1 Настройка метрик

Каждому каналу (интерфейсу) можно вручную назначить стоимость прохождения, влияющую на выбор оптимального пути. Можно использовать стандартную или "широкую" метрику, поддерживающую большие значения и более гибкие политики.

4.2 Аутентификация

Для безопасности соседские отношения и рассылаемая информация могут защищаться паролями. Это предотвращает подключение несанкционированных устройств и перехват информации о топологии.

4.3 Суммаризация маршрутов

На границах областей маршрутизаторы L1-L2 могут "суммировать" информацию о сетях своей области, анонсируя в магистраль не все отдельные сети, а один обобщенный префикс. Это радикально сокращает объем информации в магистрали и повышает стабильность сети.

5. Верификация и контроль

После настройки необходимо убедиться в корректности работы.

5.1 Проверка соседних устройств

Первым делом проверяется, установились ли отношения с соседями. Успешное соседство — признак того, что базовые параметры (уровни, область, аутентификация) совпадают.

5.2 Анализ базы данных топологии

Проверяется, что маршрутизатор получил всю информацию о состоянии каналов от всех других маршрутизаторов своего уровня и построил полную карту сети.

5.3 Проверка таблицы маршрутизации

Финальная проверка — убедиться, что вычисленные на основе общей базы данных оптимальные пути занесены в таблицу маршрутизации и используются для пересылки данных.

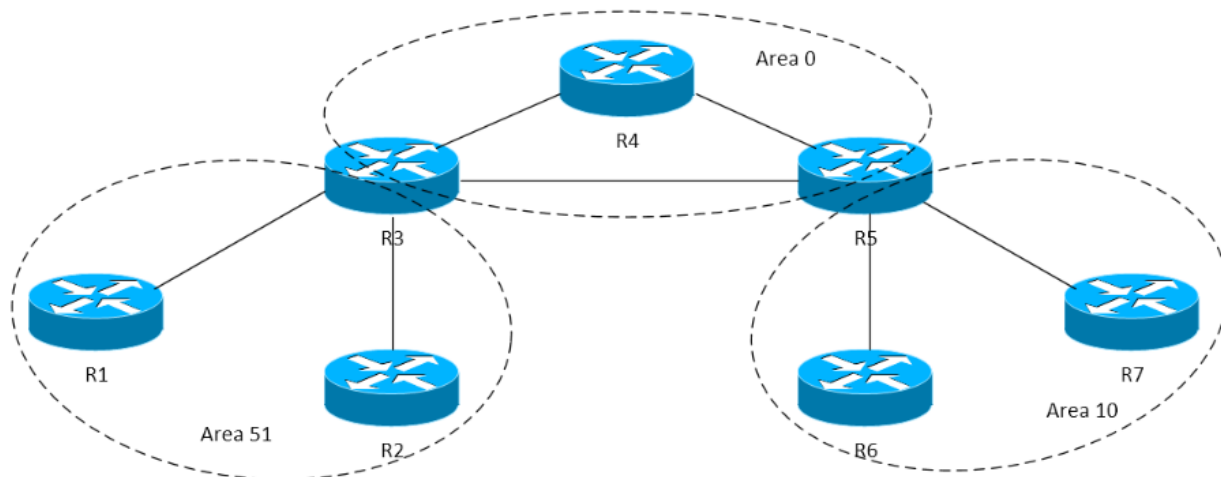


Рисунок 1 – Пример связанной посредством протоколом IS-IS цепи

Практический эксперимент применения протокола IS-IS

1. Подготовка экспериментального стенда

1.1. Установка необходимого программного обеспечения

Первоначальная конфигурация экспериментальной среды включает настройку оборудования наших устройств, установку пакетов, обеспечивающих функционирование стека протоколов маршрутизации. На рисунке 2 изображена топология предстоящего эксперимента, на рисунках 3 и 4 выполняется инсталляция пакетов.

Процесс установки осуществляется через менеджер пакетов операционной системы с использованием команд с привилегиями суперпользователя.

2. Проверка состояния программного обеспечения

2.1. Верификация статуса FRR

Как демонстрируется на рисунке 5, выполняется проверка работоспособности FRR-демона с использованием системных команд.

Данный этап является критически важным для обеспечения корректной работы протокола IS-IS.

3. Конфигурация протокола маршрутизации

3.1. Настройка IS-IS в среде vtysh

Переход в специализированную среду конфигурации vtysh (рисунок 6) позволяет осуществлять тонкую настройку параметров протокола.

Конфигурационные команды вводятся последовательно с немедленным применением изменений.

4. Валидация установления соседских отношений

4.1. Проверка формирования adjacency

На рисунке 7 представлен процесс верификации установления соседских отношений между маршрутизаторами. Для этого используются диагностические команды проверки.

5. Функциональное тестирование

5.1. Проверка сквозной связности

После успешного установления соседских отношений выполняется тестирование связности между конечными устройствами (рисунок 8). Для этого используется утилита ping. Тестирование проводится в двунаправленном режиме для подтверждения симметричности маршрутов.

6. Анализ сетевого трафика

6.1. Перехват и анализ служебных пакетов

Для подтверждения корректной работы протокола IS-IS на канальном уровне используется анализатор трафика tcpdump (рисунок 9). Процедура анализа включает выбор интерфейса мониторинга (enp0s3), идентификация Hello-пакетов и анализ их структуры, а также верификация размера пакетов (4 байта, как показано на рисунке 10).

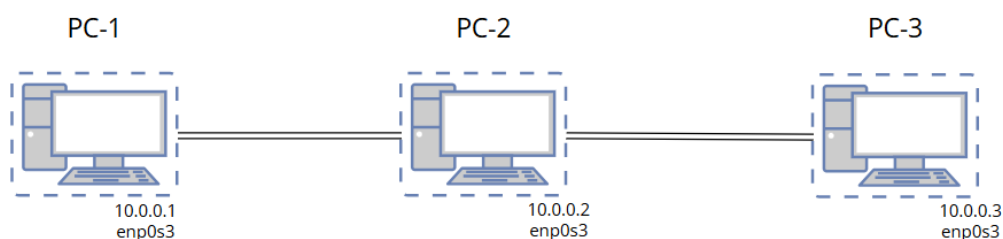


Рисунок 2 – Топология эксперимента

```

[user@host-15 ~]$ su -
\Password:
[root@host-15 ~]# sudo apt-get update
root отсутствует в файле sudoers.
[root@host-15 ~]# apt-get update
Получено: 1 http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64 release [4210B]
Получено: 2 http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64-i586 release [1665B]
Получено: 3 http://ftp.altlinux.org p11/branch/noarch release [2831B]
Получено 8706B за 0s (28,1kB/s).
Найдено http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64/classic pkglist
Найдено http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64/classic release
Найдено http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64-i586/classic pkglist
Найдено http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64-i586/classic release
Найдено http://ftp.altlinux.org p11/branch/noarch/classic pkglist
Найдено http://ftp.altlinux.org p11/branch/noarch/classic release
Чтение списков пакетов... Завершено
Построение дерева зависимостей... Завершено
[root@host-15 ~]# apt-get install frr
Чтение списков пакетов... Завершено
Построение дерева зависимостей... Завершено
Следующие дополнительные пакеты будут установлены:
  frr-pythontools libbabeltrace-ctf python3-module-babeltrace
  libbabeltrace libyang2
Следующие NOPIE пакеты будут установлены:

```

Рисунок 3 – Установка необходимых для работы пакетов

```

Получено: 1 http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64/classic libbabeltrace-ctf
1.5.11-alt1:sisyphus+347709.100.1.1@1715170408 [122kB]
Получено: 2 http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64/classic libbabeltrace 1.5.
11-alt1:sisyphus+347709.100.1.1@1715170408 [38,3kB]
Получено: 3 http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64/classic python3-module-bab
eltrace 1.5.11-alt1:sisyphus+347709.100.1.1@1715170408 [72,5kB]
Получено: 4 http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64/classic libyang2 2.1.148-a
lt1:sisyphus+347326.100.3.1@1714672295 [434kB]
Получено: 5 http://ftp.altlinux.org p11/branch/x86_64/classic frr 10.2.2-alt3:p1
1+388772.100.2.1@1753621638 [7075kB]
Получено: 6 http://ftp.altlinux.org p11/branch/noarch/classic frr-pythontools 10
.2.2-alt3:p11+388772.100.2.1@1753621638 [33,5kB]
Получено 7775kB за 1s (4975kB/s).
Совершаем изменения...
Подготовка... ##### [100%]
Обновление / установка...
1: libbabeltrace-1.5.11-alt1 ##### [ 17%]
2: libbabeltrace-ctf-1.5.11-alt1 ##### [ 33%]
3: python3-module-babeltrace-1.5.11-alt1##### [ 50%]
4: libyang2-2.1.148-alt1 ##### [ 67%]
5: frr-10.2.2-alt3 ##### [ 83%]
6: frr-pythontools-10.2.2-alt3 ##### [100%]
Завершено.

```

Рисунок 4 – Установка необходимых для работы пакетов

```
Created symlink /etc/systemd/system/multi-user.target.wants/frr.service → /usr/lib/systemd/system/frr.service.
[root@host-15 ~]# systemctl status frr
● frr.service - FRRouting
   Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/frr.service; enabled; preset: disabled)
   Active: active (running) since Mon 2025-09-15 19:00:33 MSK; 5s ago
     Docs: https://frrouting.readthedocs.io/en/latest/setup.html
   Process: 4788 ExecStart=/usr/lib/frr/frrinit.sh start (code=exited, status=0/SUCCESS)
   Main PID: 4793 (watchfrr)
   Status: "FRR Operational"
     Tasks: 10 (limit: 1127)
   Memory: 44.6M (peak: 57.6M)
     CPU: 208ms
   CGroup: /system.slice/frr.service
           └─4793 /usr/lib/frr/watchfrr -d -F traditional zebra mgmt d isisd staticd
             └─4803 /usr/lib/frr/zebra -d -F traditional -A 127.0.0.1 -s 9000000
               └─4808 /usr/lib/frr/mgmt d -d -F traditional -A 127.0.0.1
                 └─4810 /usr/lib/frr/isis d -d -F traditional -A 127.0.0.1
                   └─4813 /usr/lib/frr/static d -d -F traditional -A 127.0.0.1

сен 15 19:00:28 host-15 frrinit.sh[4824]: [4824|isisd] Configuration file[/etc/frr/isisd.conf]
сен 15 19:00:28 host-15 frrinit.sh[4816]: [4816|mgmt d] Configuration file[/etc/frr/mgmt d.conf]
сен 15 19:00:28 host-15 watchfrr[4793]: [ZJW5C-1EHNT] restart all process 4794
сен 15 19:00:32 host-15 watchfrr[4793]: [ODG3Y-BY5TN] isisd state -> up ; connect
```

Рисунок 5 – Проверка статуса работы FRR

```
сен 15 19:00:33 host-15 frrinit.sh[4788]: Started watchfrr
сен 15 19:00:33 host-15 systemd[1]: Started frr.service - FRRouting.
[root@host-15 ~]# ip addr add 10.0.0.1/24 dev enp0s3
[root@host-15 ~]# ip link set enp0s3 up
[root@host-15 ~]# vtysh

Hello, this is FRRouting (version 10.2.2).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

host-15# conf t
host-15(config)# router isis 1
host-15(config-router)# net 49.0001.0000.0000.0001.00
host-15(config-router)# is-type level-1
host-15(config-router)# exit
host-15(config)# interface enp0s3
host-15(config-if)# ip router isis 1
host-15(config-if)# exit
host-15(config)# exit
host-15# write
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
host-15#

host-15(config)# exit
host-15# exit
[root@host-15 ~]# nano /etc/frr/daemons
[root@host-15 ~]# systemctl restart frr
^[[A[root@host-15 ~]# vtysh

Hello, this is FRRouting (version 10.2.2).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

host-15# conf t
host-15(config)# router isis 1
host-15(config-router)# net 49.0001.0000.0000.0002.00
host-15(config-router)# is-type level-1
host-15(config-router)# exit
host-15(config)# interface enp0s3
host-15(config-if)# ip router isis 1
host-15(config-if)# exit
host-15(config)# exit
host-15# write
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
host-15#
```

Рисунок 6 – Работа в vtysh, настройка протокола IS-IS

```

Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
host-15# exit
[root@host-15 ~]# vtysh -c "show isis neighbor"
Area 1:
System Id      Interface  L State      Holdtime SNPA
host-15        enp0s3    1 Up          30         0800.2773.79fd
[root@host-15 ~]# vtysh -c "show ip route"
Codes: K - kernel route, C - connected, L - local, S - static,
R - RIP, O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
f - OpenFabric, t - Table-Direct,
> - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
t - trapped, o - offload failure

I 10.0.0.0/24 [115/20] via 10.0.0.2, enp0s3 inactive, weight 1, 00:02:21
C> 10.0.0.0/24 is directly connected, enp0s3, weight 1, 00:03:50
K * 10.0.0.0/24 [0/0] is directly connected, enp0s3, weight 1, 00:03:50
L> 10.0.0.1/32 is directly connected, enp0s3, weight 1, 00:03:50
C> 10.0.2.0/24 [0/100] is directly connected, enp0s3 inactive, weight 1, 01:32:
14
[root@host-15 ~]# ip addr show dev enp0s3
2: enp0s3: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc fq_codel state UP gr

Building Configuration...
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
host-15# write
Note: this version of vtysh never writes vtysh.conf
Building Configuration...
Integrated configuration saved to /etc/frr/frr.conf
[OK]
host-15# exit
[root@host-15 ~]# vtysh -c "show isis neighbor"
Area 1:
System Id      Interface  L State      Holdtime SNPA
host-15        enp0s3    1 Up          29         0800.2793.80e1
[root@host-15 ~]# vtysh -c "show ip route"
Codes: K - kernel route, C - connected, L - local, S - static,
R - RIP, O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
f - OpenFabric, t - Table-Direct,
> - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
t - trapped, o - offload failure

I 10.0.0.0/24 [115/20] via 10.0.0.1, enp0s3 inactive, weight 1, 00:03:13
C> 10.0.0.0/24 is directly connected, enp0s3, weight 1, 00:03:43
L> 10.0.0.2/32 is directly connected, enp0s3, weight 1, 00:03:43
C> 10.0.2.0/24 [0/100] is directly connected, enp0s3 inactive, weight 1, 00:31:
54
[root@host-15 ~]# ip addr show dev enp0s3

```

Рисунок 7 – Проверка на соседство и работу протокола IS-IS

```

[root@host-15 ~]# vtysh -c "show isis neighbor"
Area 1:
System Id      Interface  L State      Holdtime SNPA
host-15        enp0s3    1 Up          27         0800.2773.79fd
[root@host-15 ~]#

[root@host-15 ~]# vtysh -c "show isis neighbor"
Area 1:
System Id      Interface  L State      Holdtime SNPA
host-15        enp0s3    1 Up          28         0800.2793.80e1
[root@host-15 ~]#

```

Рисунок 8 – Демонстрация работы L1 Adjacency

```

[root@host-15 ~]# vtysh -c "show isis database"
Area 1:
IS-IS Level-1 link-state database:
LSP ID          PduLen  SeqNumber  Chksum  Holdtime  ATT/P/OL
host-15.00-00   *      87         0x0000001f 0x281b   576      0/0/0
host-15.02-00   *      51         0x00000010 0x6a52   548      0/0/0
host-15.00-00   *      87         0x0000001c 0x92af   554      0/0/0
3 LSPs

[root@host-15 ~]# vtysh -c "show isis database detail"
Area 1:
IS-IS Level-1 link-state database:
LSP ID          PduLen  SeqNumber  Chksum  Holdtime  ATT/P/OL
host-15.00-00   *      87         0x0000001f 0x281b   447      0/0/0
  Protocols Supported: IPv4
  Area Address: 49.0001
  Hostname: host-15
  TE Router ID: 10.0.0.1
  Router Capability: 10.0.0.1, D:0, S:0
  Extended Reachability: 0000.0000.0001.02 (Metric: 10)
  IPv4 Interface Address: 10.0.0.1
  Extended IP Reachability: 10.0.0.0/24 (Metric: 10)
host-15.02-00   *      51         0x00000010 0x6a52   419      0/0/0

[root@host-15 ~]# vtysh -c "show isis database"
Area 1:
IS-IS Level-1 link-state database:
LSP ID          PduLen  SeqNumber  Chksum  Holdtime  ATT/P/OL
host-15.00-00   *      87         0x0000001f 0x281b   587      0/0/0
host-15.02-00   *      51         0x00000010 0x6a52   559      0/0/0
host-15.00-00   *      87         0x0000001c 0x92af   566      0/0/0
3 LSPs

[root@host-15 ~]# vtysh -c "show isis database detail"
Area 1:
IS-IS Level-1 link-state database:
LSP ID          PduLen  SeqNumber  Chksum  Holdtime  ATT/P/OL
host-15.00-00   *      87         0x0000001f 0x281b   572      0/0/0
  Protocols Supported: IPv4
  Area Address: 49.0001
  Hostname: host-15
  TE Router ID: 10.0.0.1
  Router Capability: 10.0.0.1, D:0, S:0
  Extended Reachability: 0000.0000.0001.02 (Metric: 10)
  IPv4 Interface Address: 10.0.0.1
  Extended IP Reachability: 10.0.0.0/24 (Metric: 10)
host-15.02-00   *      51         0x00000010 0x6a52   544      0/0/0

```

Рисунок 9 – Демонстрация синхронизации LSDB

```

host-15.02-00   *      51         0x00000010 0x6a52   419      0/0/0
  Extended Reachability: 0000.0000.0001.00 (Metric: 0)
  Extended Reachability: 0000.0000.0002.00 (Metric: 0)

host-15.00-00   *      87         0x0000001c 0x92af   425      0/0/0
  Protocols Supported: IPv4
  Area Address: 49.0001
  Hostname: host-15
  TE Router ID: 10.0.0.2
  Router Capability: 10.0.0.2, D:0, S:0
  Extended Reachability: 0000.0000.0001.02 (Metric: 10)
  IPv4 Interface Address: 10.0.0.2
  Extended IP Reachability: 10.0.0.0/24 (Metric: 10)
3 LSPs
[root@host-15 ~]#

host-15.02-00   *      51         0x00000010 0x6a52   544      0/0/0
  Extended Reachability: 0000.0000.0001.00 (Metric: 0)
  Extended Reachability: 0000.0000.0002.00 (Metric: 0)

host-15.00-00   *      87         0x0000001c 0x92af   551      0/0/0
  Protocols Supported: IPv4
  Area Address: 49.0001
  Hostname: host-15
  TE Router ID: 10.0.0.2
  Router Capability: 10.0.0.2, D:0, S:0
  Extended Reachability: 0000.0000.0001.02 (Metric: 10)
  IPv4 Interface Address: 10.0.0.2
  Extended IP Reachability: 10.0.0.0/24 (Metric: 10)
3 LSPs
[root@host-15 ~]#

```

Рисунок 10 – Демонстрация синхронизации LSDB

```
[root@host-15 ~]# vtysh -c "show ip route isis"
Codes: K - kernel route, C - connected, L - local, S - static,
       R - RIP, O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, E - EIGRP, N - NHRP,
       T - Table, v - VNC, V - VNC-Direct, A - Babel, F - PBR,
       f - OpenFabric, t - Table-Direct,
       > - selected route, * - FIB route, q - queued, r - rejected, b - backup
       t - trapped, o - offload failure

I 10.0.0.0/24 [115/20] via 10.0.0.1, enp0s3 inactive, weight 1, 00:37:13
[root@host-15 ~]#
```

Рисунок 11 – Демонстрация вычисления SPF путей

```
I 10.0.0.0/24 [115/20] via 10.0.0.2, enp0s3 inactive, weight 1, 00:02:21
C>* 10.0.0.0/24 is directly connected, enp0s3, weight 1, 00:03:50
K * 10.0.0.0/24 [0/0] is directly connected, enp0s3, weight 1, 00:03:50
L>* 10.0.0.1/32 is directly connected, enp0s3, weight 1, 00:03:50
C> 10.0.2.0/24 [0/100] is directly connected, enp0s3 inactive, weight 1, 01:32:
14
[root@host-15 ~]# ip addr show dev enp0s3
2: enp0s3: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc fq_codel state UP gr
oup default qlen 1000
    link/ether 08:00:27:93:80:e1 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 10.0.0.1/24 scope global enp0s3
        valid_lft forever preferred_lft forever
[root@host-15 ~]# ping 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.694 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.878 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.593 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=1.10 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.676 ms
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 7195ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.593/0.788/1.101/0.181 ms
[root@host-15 ~]#
link/ether 08:00:27:73:79:fd brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
inet 10.0.0.2/24 scope global enp0s3
    valid_lft forever preferred_lft forever
[root@host-15 ~]# ping 10.0.0.1
PING 10.0.0.1 (10.0.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.557 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=1.19 ms
^C
--- 10.0.0.1 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1056ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.557/0.875/1.194/0.318 ms
[root@host-15 ~]# ping 10.0.0.1
PING 10.0.0.1 (10.0.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.989 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.748 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.954 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=1.34 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=1.35 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.435 ms
^C
--- 10.0.0.1 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5968ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.435/0.968/1.347/0.319 ms
[root@host-15 ~]#
```

Рисунок 12 – Успешная отправка ICMP пакетов в пределах протокола IS-IS

```
[user@host-15 ~]$ su -
Password:
su: Authentication failure
[user@host-15 ~]$ su -
Password:
[root@host-15 ~]# which tcpdump
-bash: which: команда не найдена
[root@host-15 ~]# which tcpdump
/usr/bin/tcpdump
[root@host-15 ~]# tcpdump --version
tcpdump version 4.99.5
libpcap version 1.10.5 (with TPACKET_V3)
OpenSSL 3.3.3 11 Feb 2025
64-bit build, 64-bit time_t
[root@host-15 ~]#
```

Рисунок 13 – Определение версии tcpdump

Его дальнейшее развитие, связанное с поддержкой сегментной маршрутизации и гибридных сетей, гарантирует сохранение актуальности IS-IS в современных телекоммуникационных системах.

Список литературы

1. 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.
2. ISO/IEC 10589:2002. *Intermediate System to Intermediate System Intra-Domain Routing Exchange Protocol for use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service (ISO 8473)*. International Organization for Standardization, Geneva, 2002.
3. Callon, R. *Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments*. RFC 1195. IETF, December 1990.
4. Li, T., Smit, H. *IS-IS Extensions for Traffic Engineering*. RFC 5305. IETF, October 2008.
5. Previdi, S., et al. *IS-IS Extensions for Segment Routing*. RFC 8667. IETF, December 2019.
6. Alcatel-Lucent. *IS-IS Network Design Solutions: The Definitive Resource for Understanding and Implementing IS-IS Routing*. Addison-Wesley, 2002.
7. Doyle, J., Carroll, J. *Routing TCP/IP, Volume II: CCIE Professional Development*. Cisco Press, 2nd Edition, 2005.
8. Black, U., *IP Routing Protocols: RIP, OSPF, BGP, PNNI and Cisco Routing Protocols*. Prentice Hall, 2000.
9. Moy, J. *OSPF: Anatomy of an Internet Routing Protocol*. Addison-Wesley, 1998.
10. Enns, R., Bjorklund, M., Schoenwaelder, J. *Network Configuration Protocol (NETCONF)*. RFC 6241. IETF, June 2011.
11. White, R., Retana, A. *Practical BGP*. Addison-Wesley, 2005.