

ЗАНЯТТЯ № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА НАЛАГОДЖЕННЯ ПРОТОКОЛІВ ДИНАМІЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ RIPv2 ТА OSPFv2 І РЕДИСТРИБУЦІЇ МАРШРУТІВ У МЕРЕЖІ НА БАЗІ МАРШРУТИЗАТОРІВ CISCO

Мета заняття: ознайомитися з особливостями функціонування та налагодження протоколів динамічної маршрутизації RIPv2 і OSPFv2 на обладнанні Cisco; отримати практичні навички розрахунку метрик і визначення оптимальних маршрутів обох протоколів; ознайомитися з принципами однонаправленої та двосторонньої редистрибуції (перерозподілу) маршрутів між RIPv2 та OSPF; отримати практичні навички налагодження, моніторингу та діагностування роботи комбінованої мережі з двома доменами маршрутизації; налаштувати DHCP-сервер з ретрансляцією запитів (DHCP relay) для робочих станцій з обох доменів; дослідити процеси формування таблиць маршрутизації та порівняти метрики RIP і OSPF на спільному маршруті.

Обладнання та програмне забезпечення

Для виконання заняття на робочому місці студента має бути наявним таке обладнання та програмне забезпечення:

1. Маршрутизатори Cisco серії 1841/2801/2811/2821/2901/2911/2921 з інтерфейсними слотами для плат розширення – 3 шт.
2. Плати розширення Cisco WIC-2T (або аналогічні) для послідовних з'єднань – 2–4 шт. (за варіантом).
3. Плата розширення з оптичним інтерфейсом (HWIC-1GE-SFP, GLC-LH-SMD або аналогічна, для варіантів з оптичним каналом) – 1 шт.
4. Керовані комутатори Cisco серії Catalyst 2960 (моделі WS-C2960-24TT-L або WS-C2960-48TT-L) – 2 шт.
5. Робочі станції (ПК або ноутбуки) з операційною системою Windows/Linux – не менше 2 шт.
6. Консольний кабель Cisco (rollover) з конектором RJ-45 та перехідником на USB або COM-порт – 1 шт.
7. Ethernet-кабелі прямого типу (T568B) категорії Cat 5e/Cat 6 – не менше 6 шт.
8. Нуль-модемні послідовні кабелі (V.35 DTE + V.35 DCE) – 1–2 шт. (за варіантом).
9. Оптичний патч-корд LC/UPC-LC/UPC, одномодовий або багатомодовий (за варіантом) – 1 шт.
10. Термінальна програма-емулятор (PuTTY, Tera Term, SecureCRT або аналогічна) – встановлена на робочих станціях.

Схема підключення

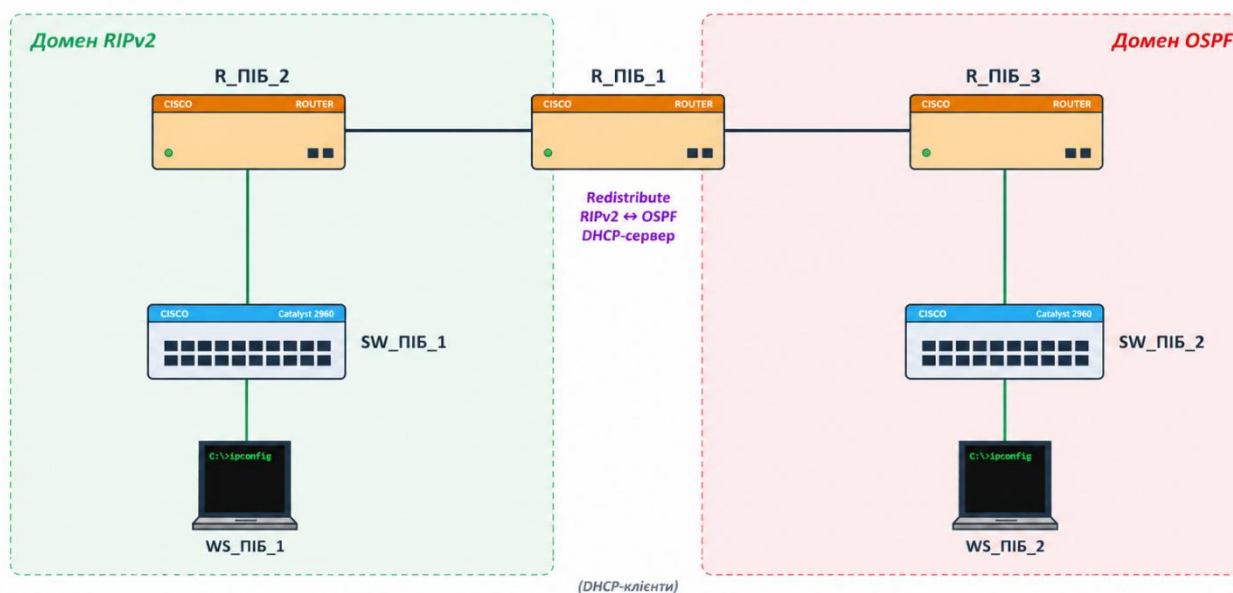


Рис. 5.1. Схема мережі, що будується у межах заняття

Примітка: ПІБ необхідно зазначати у скороченому форматі, який відповідає логіну для входу на платформу learn. Приклад: якщо логін для входу на learn – kb1_kmd, то назва маршрутизатора має бути у форматі R_kmd_1.

ЗАВДАННЯ

1. Ознайомитися з обладнанням та програмним забезпеченням робочого місця, перевірити наявність консольних, **Ethernet**, **Serial** та оптичних кабелів, термінальної програми.

2. Створити мережу відповідно до схеми на рис. 5.1. Тип фізичних каналів між маршрутизаторами обрати згідно з варіантом (табл. 5.3):

- канал **R_ПІБ_2 – R_ПІБ_1** (домен RIPv2);
- канал **R_ПІБ_1 – R_ПІБ_3** (домен OSPFv2).

У варіантах з послідовним (Serial) каналом на DCE-стороні встановити синхронізацію командою **clock rate** згідно зі значенням з табл. 5.4. У варіантах з оптичним каналом перевірити стан SFP-модуля та фізичну активність каналу. У варіантах з **Ethernet**-каналом (вита пара) налаштувати швидкість і режим інтерфейсу командами **speed** та **duplex**.

3. Провести налагодження іменування всіх 5 пристроїв мережі (R_ПІБ_1, R_ПІБ_2, R_ПІБ_3, SW_ПІБ_2, SW_ПІБ_3).

4. Розробити схему IP-адресації пристроїв мережі. Для цього скористатися даними табл. 5.2 згідно з варіантом. Результати заповнити у табл. 5.1.

Параметри адресації мережі

Мережа / Пристрій	Інтерфейс	MAC-адреса	IP-адреса	Маска	Префікс
Підмережа А (LAN to R2, RIP)	–	–			
Підмережа В (R2–R1)	–	–			
Підмережа С (R1–R3)	–	–			
Підмережа D (LAN to R3, OSPF)	–	–			
Маршрутизатор R1 (ASBR)	до R2				
	до R3				
Маршрутизатор R2	до R1				
	до SW2				
Маршрутизатор R3	до R1				
	до SW3				
Комутатор SW2	Vlan 1				
Комутатор SW3	Vlan 1				
Робоча станція WS2	NIC		(DHCP)		
Робоча станція WS3	NIC		(DHCP)		

5. Налаштувати IP-адресацію на всіх інтерфейсах маршрутизаторів та комутаторів згідно з даними табл. 5.1. Перевірити стан інтерфейсів командою **show ip interface brief**. Для оптичних інтерфейсів додатково перевірити стан SFP-модуля командою **show interface interface-id transceiver**.

6. На маршрутизаторах R_ПБ_2 та R_ПБ_1 (його інтерфейс у бік R_ПБ_2) налаштувати функціонування протоколу динамічної маршрутизації **RIPv2**:

- активувати протокол командою **router rip**;
- встановити версію 2 командою **version 2**;
- вимкнути автоматичну сумаризацію командою **no auto-summary**;
- оголосити безпосередньо приєднані мережі командою **network** (на R_ПБ_2 – підмережі А і В; на R_ПБ_1 – підмережа В);
- для тупикової локальної мережі (підмережа А на R_ПБ_2, інтерфейс до SW_ПБ_2) налаштувати пасивний інтерфейс командою **passive-interface**.

7. На маршрутизаторах R_ПБ_3 та R_ПБ_1 (його інтерфейс у бік R_ПБ_3) налаштувати функціонування протоколу динамічної маршрутизації **OSPFv2**:

- сконфігурувати ідентифікатор маршрутизатора (Router ID) командою **router-id** згідно з варіантом (табл. 5.4);
- активувати протокол командою **router ospf** з ідентифікатором процесу згідно з варіантом;
- оголосити безпосередньо приєднані мережі командою **network** із зазначенням інвертованої маски та номера області (**area 0**);
- встановити еталонну пропускну здатність командою **auto-cost reference-bandwidth 1000**;

- для тупикової локальної мережі (підмережа D на R_ПБ_3) налаштувати пасивний інтерфейс;
- встановити пріоритет інтерфейсу OSPF командою **ip ospf priority** згідно з варіантом.

8. Виконати **первинну (однонаправлену) редистрибуцію** маршрутів на R_ПБ_1 (ASBR):

- у режимі конфігурування протоколу OSPF додати команду **redistribute rip subnets metric seed-metric metric-type 2** – для перерозподілу маршрутів RIP у OSPF як зовнішніх типу E2; значення початкової метрики обрати згідно з варіантом (табл. 5.4);
- перевірити появу зовнішніх маршрутів (з міткою **O E2**) у таблиці маршрутизації R_ПБ_3 командою **show ip route**;
- переконатися, що R_ПБ_2 поки не має маршрутів до підмереж OSPF-домену (у його таблиці маршрутизації відсутні мережі з RIP-домену в бік R_ПБ_3).

9. Налаштувати **DHCP-сервер** на R_ПБ_1 для робочих станцій WS_ПБ_2 (підмережа A) та WS_ПБ_3 (підмережа D):

- створити пул DHCP для підмережі A командою **ip dhcp pool POOL_A**, вказати **network** (адресу та маску підмережі A), **default-router** (адресу інтерфейсу R_ПБ_2 у підмережі A), **dns-server 8.8.8.8 8.8.4.4, lease 0 8 0**);
- аналогічно створити пул DHCP для підмережі D (POOL_D);
- виключити з пулів адреси, призначені для статичного використання, командою **ip dhcp excluded-address**;
- на R_ПБ_2 (інтерфейс у бік SW_ПБ_2) налаштувати **DHCP-relay** командою **ip helper-address** з IP-адресою R_ПБ_1 у підмережі B;
- на R_ПБ_3 (інтерфейс у бік SW_ПБ_3) аналогічно налаштувати **ip helper-address** з IP-адресою R_ПБ_1 у підмережі C;
- перевірити отримання IP-адрес робочими станціями (**ipconfig /renew** у Windows або **dhclient -r && dhclient** у Linux); проаналізувати наявність призначених шлюзів за замовчуванням та DNS-серверів.

10. **Порівняння метрик RIP та OSPF на спільному тестовому маршруті.** На цьому етапі редистрибуція виконується лише в одному напрямку (RIP→OSPF). Мета – порівняти числові значення метрик у двох протоколах та зрозуміти, чому їх не можна співставляти безпосередньо. Для цього:

- на R_ПБ_3 виконати команду **show ip route** та зафіксувати метрику зовнішнього маршруту до підмережі A (тип **O E2**, метрика дорівнює **seed-metric**, за замовчуванням 20);
- на R_ПБ_2 виконати команду **show ip route** – у RIPv2 поки немає маршрутів до підмережі D (бо редистрибуція в RIP ще не виконана);
- заповнити табл. 5.5 з порівнянням метрик; зробити висновок про принципову розбіжність метрик RIP (кількість переходів) та OSPF (вартість на основі пропускну здатності) і про неможливість їх безпосереднього порівняння без редистрибуції з явно заданою початковою метрикою.

11. **Виконати двосторонню редистрибуцію** маршрутів на R_ПБ_1:

- у режимі конфігурування протоколу RIP додати команду **redistribute ospf process-id metric seed-metric-rip** – для перерозподілу маршрутів OSPF у RIP; значення початкової метрики обрати згідно з варіантом (табл. 5.4); альтернативно – використати команду **default-metric** у режимі конфігурування RIP;

- перевірити появу зовнішніх маршрутів у таблиці маршрутизації R_ПІБ_2: до підмережі D має з'явитися маршрут типу **R** з метрикою **seed-metric-rip**;

- перевірити зв'язність **ping** між WS_ПІБ_2 та WS_ПІБ_3, **tracert** з обох сторін.

12. Виконати порівняльне дослідження таблиць маршрутизації на всіх трьох маршрутизаторах. У звіті навести знімки виведення команди **show ip route** з кожного маршрутизатора та проаналізувати:

- типи маршрутів за міткою (**C** – connected, **L** – local, **S** – static, **R** – RIP, **O** – OSPF intra-area, **O E1/O E2** – OSPF external);

- значення адміністративної відстані [AD/metric] у квадратних дужках;

- пояснити, чому на R_ПІБ_3 маршрути типу **O E2** мають однакову метрику для всіх редистрибутованих підмереж (особливість типу E2).

13. Дослідити роботу протоколів за допомогою спеціалізованих команд:

- для RIP – **show ip protocols, show ip route rip, show ip rip database, debug ip rip** (увімкнути на 1–2 інтервали оновлень, потім вимкнути);

- для OSPF – **show ip ospf, show ip ospf neighbor, show ip ospf interface, show ip ospf database** (звернути увагу на наявність LSA Type 5 – External LSA для редистрибутованих маршрутів);

- для DHCP – **show ip dhcp binding, show ip dhcp pool, show ip dhcp conflict**.

14. Вивести та проаналізувати файли конфігурацій усіх комунікаційних пристроїв мережі (команда **show running-config**). У випадку виявлення помилок у налагодженнях – визначити причину та усунути їх.

15. Продемонструвати виконану роботу керівнику практики та оформити звіт за заняттям.

ВАРІАНТИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Варіант визначається за номером стійки, за якою працюють студенти, та номером класу, у якому виконуються завдання.

Таблиця 5.2.

Параметри IP-адресації мережі

№ варіанта	Підмережа А (LAN R2, /24)	Підмережа В (R2–R1, /30)	Підмережа С (R1–R3, /30)	Підмережа D (LAN R3, /24)
1	191.C.S.0	172.C.S.0	172.C.S.80	220.C.S.0
2	192.C.S.0	172.C.S.4	172.C.S.84	221.C.S.0
3	193.C.S.0	172.C.S.8	172.C.S.88	222.C.S.0
4	194.C.S.0	172.C.S.12	172.C.S.92	223.C.S.0
5	195.C.S.0	172.C.S.16	172.C.S.96	224.C.S.0
6	196.C.S.0	172.C.S.20	172.C.S.100	225.C.S.0
7	197.C.S.0	172.C.S.24	172.C.S.104	226.C.S.0
8	198.C.S.0	172.C.S.28	172.C.S.108	227.C.S.0
9	199.C.S.0	172.C.S.32	172.C.S.112	228.C.S.0
10	200.C.S.0	172.C.S.36	172.C.S.116	229.C.S.0
11	201.C.S.0	172.C.S.40	172.C.S.120	230.C.S.0
12	202.C.S.0	172.C.S.44	172.C.S.124	231.C.S.0
13	203.C.S.0	172.C.S.48	172.C.S.128	232.C.S.0
14	204.C.S.0	172.C.S.52	172.C.S.132	233.C.S.0
15	205.C.S.0	172.C.S.56	172.C.S.136	234.C.S.0
16	206.C.S.0	172.C.S.60	172.C.S.140	235.C.S.0
17	207.C.S.0	172.C.S.64	172.C.S.144	236.C.S.0
18	208.C.S.0	172.C.S.68	172.C.S.148	237.C.S.0
19	209.C.S.0	172.C.S.72	172.C.S.152	238.C.S.0
20	210.C.S.0	172.C.S.76	172.C.S.156	239.C.S.0

Примітка: С (class) – номер аудиторії: для ауд. 107 – 71, для ауд. 107а – 72; S (stand) – номер стійки (зазначено зверху стійки).

УВАГА! В залежності від години проведення практики значення може змінюватись за вимогою керівника.

Таблиця 5.3.

Типи фізичних з'єднань між маршрутизаторами

№ варіанта	Канал R_2 – R_1 (домен RIP)	Канал R_1 – R_3 (домен OSPF)
1	Ethernet over Twisted Pair	Ethernet over Twisted Pair
2	Ethernet over Twisted Pair	Serial T1/E1
3	Serial T1/E1	Ethernet over Twisted Pair
4	Serial V.35	Serial V.35
5	Optical Fiber Ethernet	Ethernet over Twisted Pair
6	Ethernet over Twisted Pair	Optical Fiber Ethernet
7	Optical Fiber Ethernet	Serial V.35
8	Serial V.35	Optical Fiber Ethernet
9	Ethernet over Twisted Pair	Ethernet over Twisted Pair
10	Ethernet over Twisted Pair	Serial T1/E1
11	Serial V.35	Ethernet over Twisted Pair
12	Serial V.35	Serial V.35
13	Optical Fiber Ethernet	Ethernet over Twisted Pair
14	Ethernet over Twisted Pair	Optical Fiber Ethernet
15	Optical Fiber Ethernet	Serial V.35
16	Serial V.35	Optical Fiber Ethernet
17	Ethernet over Twisted Pair	Ethernet over Twisted Pair
18	Serial V.35	Serial V.35
19	Ethernet over Twisted Pair	Serial T1/E1
20	Serial V.35	Ethernet over Twisted Pair

Таблиця 5.4.

Параметри налагодження протоколів маршрутизації та редистрибуції

№ варіанта	Clock rate, біт/с	OSPF Process ID	Router ID R_ПІБ_1	Router ID R_ПІБ_3	Seed-metric для RIP (OSPF→RIP)	Seed-metric для OSPF (RIP→OSPF)
1	64000	1	1.1.1.1	11.11.11.11	1	20
2	128000	10	2.2.2.2	12.12.12.12	2	50
3	256000	100	3.3.3.3	13.13.13.13	3	100
4	512000	200	4.4.4.4	14.14.14.14	5	150
5	1024000	1	5.5.5.5	15.15.15.15	7	200
6	2048000	10	6.6.6.6	16.16.16.16	1	20
7	64000	100	7.7.7.7	17.17.17.17	2	50
8	128000	200	8.8.8.8	18.18.18.18	3	100
9	256000	1	9.9.9.9	19.19.19.19	5	150
10	512000	10	10.10.10.10	20.20.20.20	7	200
11	1024000	100	11.11.11.11	21.21.21.21	1	20
12	2048000	200	12.12.12.12	22.12.12.12	2	50
13	64000	1	13.13.13.13	23.23.23.23	3	100
14	128000	10	14.14.14.14	24.24.24.24	5	150

№ варіанта	Clock rate, біт/с	OSPF Process ID	Router ID R_ПІБ_1	Router ID R_ПІБ_3	Seed-metric для RIP (OSPF→RIP)	Seed-metric для OSPF (RIP→OSPF)
15	256000	100	15.15.15.15	25.25.25.25	7	200
16	512000	200	16.16.16.16	26.26.26.26	1	20
17	1024000	1	17.17.17.17	27.27.27.27	2	50
18	2048000	10	18.18.18.18	28.28.28.28	3	100
19	64000	100	19.19.19.19	29.29.29.29	5	150
20	128000	200	20.20.20.20	30.30.30.30	7	200

ЗМІСТ ЗВІТУ З ЗАНЯТТЯ

Звіт з заняття повинен містити:

1. Номер, тему та мету заняття.
2. Короткі теоретичні відомості (за власним конспектом, обсягом 2–3 сторінки) з таких питань: класифікація протоколів динамічної маршрутизації; протокол RIPv2 (метрика, таймери, особливості); протокол OSPFv2 (формула розрахунку метрики, типи LSA, типи зовнішніх маршрутів E1/E2, Router ID); адміністративна відстань; редистрибуція маршрутів між RIP та OSPF; DHCP relay (ip helper-address).
3. Перелік використаного обладнання та програмного забезпечення.
4. Схему (ФОТО) побудованої мережі з позначенням усіх пристроїв та інтерфейсів, типів каналів між маршрутизаторами.
5. Розроблену схему IP-адресації у вигляді табл. 5.1 з конкретними значеннями.
6. Заповнену таблицю порівняння метрик RIP та OSPF (табл. 5.5) за результатами дослідження.
7. Лістинги команд (або скріншоти) з результатами виконання, а саме:
 - налагодження IP-адресації та фізичних каналів (включно з параметрами для відповідних варіантів);
 - налагодження протоколу RIPv2 на R_ПІБ_2 та R_ПІБ_1 (команди **router rip, version 2, no auto-summary, network, passive-interface**);
 - налагодження протоколу OSPFv2 на R_ПІБ_1 та R_ПІБ_3 (команди **router ospf, router-id, network ... area, auto-cost reference-bandwidth, ip ospf priority**);
 - налагодження однонаправленої редистрибуції RIP→OSPF та аналіз таблиці маршрутизації R_ПІБ_3 до двосторонньої редистрибуції;
 - налагодження DHCP-сервера на R_ПІБ_1 (команди **ip dhcp pool, network, default-router, dns-server, ip dhcp excluded-address**) та DHCP-relay на R_ПІБ_2 і R_ПІБ_3 (команда **ip helper-address**);
 - результати **ipconfig /all** або **ip addr** на робочих станціях після отримання адрес;
 - налагодження двосторонньої редистрибуції на R_ПІБ_1 (команди **redistribute, default-metric**);
 - результати **show ip protocols** з усіх трьох маршрутизаторів;

- результати **show ip route** з усіх трьох маршрутизаторів з аналізом типів маршрутів та значень метрик;
 - результати **show ip rip database, debug ip rip** на R_ПІБ_2;
 - результати **show ip ospf, show ip ospf neighbor, show ip ospf database** на R_ПІБ_1 та R_ПІБ_3 (особливо – наявність **LSA Type 5** для зовнішніх маршрутів);
 - результати **show ip dhcp binding** та **show ip dhcp pool** на R_ПІБ_1;
 - результати **ping** та **tracert** між WS_ПІБ_2 та WS_ПІБ_3 (через ASBR);
 - вміст **running-config** усіх пристроїв.
8. Опис проблем, що виникли під час виконання завдання, та шляхи їх усунення.
 9. Висновки по заняттю.

Таблиця 5.5.

Порівняння метрик RIP та OSPF на спільному тестовому маршруті

№	Маршрут	Метрика RIP (hops)	Метрика OSPF (cost)	Висновок
1	R2 → підмережа А (пряма, RIP-домен)			
2	R3 → підмережа А (через ASBR, OSPF-домен)	–		
3	R3 → підмережа D (пряма, OSPF-домен)	–		
4	R2 → підмережа D (після двосторонньої редистрибуції)		–	

Примітка: у графах «Метрика RIP» та «Метрика OSPF» наводяться значення, отримані з виведення команди **show ip route** на відповідному маршрутизаторі. Прокоментуйте, чому числові значення метрик RIP та OSPF не можна на пряму порівнювати.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Класифікація протоколів динамічної маршрутизації

Динамічна маршрутизація – процес автоматичного формування та оновлення таблиці маршрутизації на основі обміну службовою інформацією між маршрутизаторами. На відміну від статичної маршрутизації (вимагає ручного налаштування), динамічні протоколи забезпечують автоматичну адаптацію мережі до змін топології: відмов каналів, додавання нових мереж, появи нових пристроїв.

За алгоритмом роботи протоколи динамічної маршрутизації поділяють на три класи:

- **дистанційно-векторні** (Distance Vector) – RIPv1, RIPv2, RIPv6, IGRP. Маршрутизатори обмінюються повними копіями таблиць маршрутизації з безпосередніми сусідами через регулярні інтервали часу. Метрика – кількість переходів. Алгоритм – Bellman–Ford;
- **протоколи стану каналів** (Link State) – OSPFv2, OSPFv3, IS-IS. Маршрутизатори формують повну топологічну карту мережі (LSDB – Link State Database) на основі обміну повідомленнями про стан каналів (LSA – Link State

Advertisement). Метрика – вартість, що залежить від пропускнуої здатності каналу. Алгоритм – Дейкстри (SPF – Shortest Path First);

- **гібридні** (Advanced Distance Vector) – EIGRP. Поєднують властивості дистанційно-векторних протоколів та протоколів стану каналів. Алгоритм – DUAL.

За областю застосування протоколи поділяють на внутрішні (**IGP** – Interior Gateway Protocol: RIP, OSPF, EIGRP, IS-IS), що працюють у межах однієї автономної системи, та зовнішні (**EGP** – Exterior Gateway Protocol: BGP), що забезпечують маршрутизацію між автономними системами.

Адміністративна відстань (AD – Administrative Distance) – параметр, що визначає пріоритет джерела маршрутною інформації при наявності декількох маршрутів до однієї мережі від різних джерел. Маршрут з меншим значенням AD вважається більш надійним і встановлюється у таблицю маршрутизації. Стандартні значення AD наведені у табл. 5.6.

Таблиця 5.6.

Стандартні значення адміністративної відстані

Джерело маршруту	AD	Джерело маршруту	AD
Connected (безпосередньо приєднана)	0	OSPF	110
Static (статичний)	1	IS-IS	115
EIGRP summary	5	RIP (v1/v2)	120
External BGP	20	ODR	160
Internal EIGRP	90	External EIGRP	170
IGRP	100	Internal BGP	200

Принципово важливо: протоколи з нижчою AD (наприклад, OSPF – 110) витісняють з таблиці маршрутизації маршрути від протоколів з вищою AD (RIP – 120) до тієї самої підмережі. Цю властивість необхідно враховувати при налагодженні редистрибуції маршрутів між RIP та OSPF.

Протокол маршрутизації RIPv2

RIP (Routing Information Protocol) – один з найдавніших протоколів динамічної маршрутизації, що належить до класу дистанційно-векторних. RIPv2 описано у RFC 2453. Метрикою у RIP є **кількість переходів** (hop count) – кількість маршрутизаторів, які пакет повинен пройти на шляху до мережі призначення. Максимальна допустима метрика становить **15**; маршрут з метрикою **16** вважається недосяжним (нескінченим). Це обмеження одночасно є і недоліком (мережі більше ніж з 15 переходами не підтримуються), і способом боротьби з петлями (count-to-infinity).

RIPv2 (на відміну від RIPv1) підтримує безкласову маршрутизацію (CIDR/VLSM) та розсилає оновлення груповим способом (multicast 224.0.0.9). RIP використовує транспортний протокол UDP (порт 520).

Стандартні таймери RIP:

- **Update Timer** – 30 с (інтервал між регулярними оновленнями);
- **Invalid Timer** – 180 с (час, після якого маршрут позначається як недоступний, якщо за нього не надходили оновлення);

- **Holddown Timer** – 180 с (час, протягом якого маршрутизатор ігнорує оновлення з гіршою метрикою для цього маршруту);
- **Flush Timer** – 240 с (час, після якого маршрут вилучається з таблиці маршрутизації).

Приклад налагодження RIPv2 на маршрутизаторі Cisco:

```
...
Router(config)# router rip
Router(config-router)# version 2
Router(config-router)# no auto-summary
Router(config-router)# network 192.168.1.0
Router(config-router)# network 10.0.0.0
Router(config-router)# passive-interface FastEthernet 0/0
Router(config-router)# exit
...
```

Параметри основних команд RIP:

- **router rip** – вхід у режим конфігурування протоколу RIP;
- **version {1 | 2}** – встановлення версії протоколу;
- **network address** – оголошення безпосередньо приєднаної класової мережі для участі у RIP;
- **no auto-summary** – вимкнення автоматичної сумаризації на межах класових мереж (обов'язково для коректної роботи з підмережами);
- **passive-interface interface-type interface-id** – переведення інтерфейсу у пасивний режим (RIP-оновлення не пересилаються через цей інтерфейс).

Команди моніторингу та діагностики роботи протоколу RIP наведено у табл. 5.7.

Таблиця 5.7.

Команди моніторингу та діагностики роботи протоколу RIP

Команда	Призначення
show ip protocols	Інформація про активовані протоколи маршрутизації
show ip route	Повна таблиця маршрутизації
show ip route rip	Таблиця маршрутизації лише з маршрутами RIP
show ip rip database	База даних маршрутів протоколу RIP
debug ip rip	Активация виведення діагностичної інформації
debug ip rip events	Лише події (без вмісту оновлень)
undebug all	Вимкнення всіх дебагів
clear ip route	Очищення таблиці маршрутизації

Протокол маршрутизації OSPFv2

OSPF (Open Shortest Path First) – протокол маршрутизації стану каналів, описаний у RFC 2328 (OSPFv2 для IPv4). На відміну від RIP, OSPF не передає таблиці маршрутизації, а формує у кожного маршрутизатора повну топологічну карту мережі – базу даних стану каналів (LSDB – Link State Database). На основі цієї карти алгоритм Дейкстри (SPF) обчислює оптимальні маршрути до всіх відомих мереж.

Метрика OSPF (вартість, cost) розраховується на основі пропускної здатності каналу:

$$M = \sum_{i=1}^N \frac{RefBW}{BW_i}, \quad (1)$$

де M – метрика маршруту; N – кількість ділянок маршруту; $RefBW$ (Reference Bandwidth) – еталонна пропускна здатність (за замовчуванням 10^8 біт/с = 100 Мбіт/с); BW_i – пропускна здатність i -ї ділянки (біт/с).

За замовчуванням OSPF призначає інтерфейсу Fast Ethernet (100 Мбіт/с) і Gigabit Ethernet (1000 Мбіт/с) однакову вартість 1, що є некоректним. Для усунення цієї проблеми застосовується команда **auto-cost reference-bandwidth** з параметром, який повинен бути не меншим за пропускну здатність найшвидшої технології у мережі. У межах нашого заняття встановлюється значення **1000** (для коректного розрахунку метрик з урахуванням Gigabit Ethernet). Стандартні значення метрик інтерфейсів за різних значень $RefBW$ наведено у табл. 5.8.

Таблиця 5.8.

Стандартні значення метрик інтерфейсів протоколу OSPF

Технологія	Serial T1	Serial E1	Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet	10G Ethernet
Пропускна здатність, Мбіт/с	1,544	2,048	10	100	1000	10000
Метрика (RefBW = 100 Мбіт/с)	64	48	10	1	1	1
Метрика (RefBW = 1000 Мбіт/с)	647	488	100	10	1	1

Області OSPF та типи маршрутизаторів. Для масштабованості OSPF підтримує ієрархічний поділ мережі на області (**areas**). Усі області повинні мати з'єднання з магістральною областю – **area 0** (Backbone Area). За розташуванням у ієрархії маршрутизатори OSPF поділяють на:

- **Internal Router (IR)** – всі інтерфейси належать одній області;
- **Backbone Router (BR)** – один або більше інтерфейсів належать **area 0**;
- **ABR** (Area Border Router) – має інтерфейси у двох або більше областях, обов'язково в **area 0**;
- **ASBR** (Autonomous System Boundary Router) – здійснює обмін маршрутами з іншими автономними системами або іншими протоколами маршрутизації.

Типи зовнішніх маршрутів OSPF. Маршрути, отримані через редистрибуцію від інших протоколів, оголошуються через спеціальний тип LSA – **Type 5 (External LSA)**. У таблиці маршрутизації такі маршрути позначаються як **O E1** або **O E2**:

- **E1 (External Type 1)** – підсумкова метрика дорівнює сумі зовнішньої метрики (заданої при редистрибуції) і внутрішньої вартості шляху OSPF до ASBR. Тобто метрика збільшується з кожним переходом всередині OSPF-домену;
- **E2 (External Type 2)** – підсумкова метрика дорівнює лише зовнішній метриці, заданій при редистрибуції (за замовчуванням 20). Внутрішня вартість шляху всередині OSPF не враховується. Цей тип використовується за

замовчуванням і є більш стабільним при змінах внутрішньої топології, але може призводити до неоптимальних маршрутів за наявності кількох ASBR.

Приклад налагодження OSPFv2 на маршрутизаторі Cisco:

```
...
Router(config)# router ospf 10
Router(config-router)# router-id 1.1.1.1
Router(config-router)# auto-cost reference-bandwidth 1000
Router(config-router)# network 10.0.0.0 0.0.0.3 area 0
Router(config-router)# network 192.168.10.0 0.0.0.255 area 0
Router(config-router)# passive-interface FastEthernet 0/1
Router(config-router)# exit
```

...
Команди моніторингу та діагностики роботи протоколу OSPF наведено у табл. 5.9.

Таблиця 5.9.

Команди моніторингу та діагностики роботи протоколу OSPF

Команда	Призначення
show ip protocols	Інформація про активовані протоколи маршрутизації
show ip ospf	Загальна інформація про процес OSPF, RID, кількість областей
show ip ospf interface	Параметри інтерфейсів OSPF (RID, тип мережі, DR/BDR, метрика, таймери)
show ip ospf neighbor	Список сусідніх маршрутизаторів, стан відносин сусідства
show ip ospf database	Вміст бази даних стану каналів (LSDB) – типи LSA
show ip ospf database external	Лише LSA Type 5 (зовнішні маршрути від ASBR)
show ip route ospf	Таблиця маршрутизації лише з маршрутами OSPF
debug ip ospf events	Виведення діагностичної інформації про події
debug ip ospf adj	Виведення діагностичної інформації про відносини сусідства
clear ip ospf process	Перезапуск процесу OSPF

Редистрибуція (перерозподіл) маршрутів

Редистрибуція маршрутів (route redistribution) – процес передачі маршрутної інформації, отриманої одним протоколом маршрутизації, в інший протокол маршрутизації для подальшого розповсюдження. Виконується на **граничному маршрутизаторі** (boundary router; у термінології OSPF – ASBR), який одночасно бере участь у роботі двох (або більше) протоколів маршрутизації.

Необхідність у редистрибуції виникає у таких випадках:

- при злитті компаній, у яких історично використовувалися різні протоколи маршрутизації;
- у мережах, де адміністраторам різних підрозділів надано право самостійно обирати протокол маршрутизації;
- при поетапному переході на новий протокол маршрутизації – на час переходу обидва протоколи функціонують паралельно;

- при підключенні до мереж постачальника послуг (Service Provider), що використовує BGP.

Початкова метрика (seed metric). Метрики кожного протоколу маршрутизації побудовано за різними принципами та відображають різні характеристики маршруту: метрика RIP – кількість переходів (число), метрика OSPF – вартість на основі пропускної здатності (число, але іншого порядку), метрика EIGRP – складова величина (bandwidth, delay, reliability, load, MTU). Тому при редистрибуції з одного протоколу в інший необхідно явно вказати початкову метрику, яку прийматиме редистрибутований маршрут у протоколі-отримувачі. Якщо метрика не задана, маршрут може взагалі не з'явитися у таблиці маршрутизації (значення за замовчуванням для більшості протоколів – нескінченність). Виняток – редистрибуція в OSPF (за замовчуванням метрика 20) та статичних маршрутів і connected-мереж.

Способи задання початкової метрики (у порядку зменшення пріоритету):

- у **route map** за допомогою команди **set metric**;
- безпосередньо у команді **redistribute** параметром **metric**;
- команда **default-metric** у режимі конфігурування протоколу-отримувача (застосовується до всіх редистрибутованих маршрутів).

Таблиця 5.10.

Початкова метрика для редистрибутованих маршрутів за замовчуванням

Протокол-отримувач	Початкова метрика за замовчуванням
RIP	Нескінченність – маршрут не редистрибутується без явного задання metric
OSPF	20 для всіх протоколів, окрім BGP; для BGP – 1
EIGRP	Нескінченність (за винятком редистрибуції з іншого процесу EIGRP)
IS-IS	0
BGP	Метрика IGP-протоколу, з якого виконується редистрибуція

Синтаксис команди **redistribute** у загальному вигляді:

```
router(config-router)# redistribute protocol [process-id] [metric value]
[metric-type type] [match route-type] [route-map map-name] [subnets]
```

Найважливіші параметри:

- **subnets** – обов'язковий параметр при редистрибуції в OSPF для перерозподілу маршрутів підмереж (без нього OSPF перерозподілить лише класові мережі);
- **metric-type type** – для OSPF: тип зовнішнього маршруту (1 – E1, 2 – E2, за замовчуванням E2);
- **route-map map-name** – застосування фільтру маршрутів за допомогою карти маршрутів (дозволяє селективно редистрибутувати маршрути, призначати метрики, типи).

Приклад двосторонньої редистрибуції RIP ↔ OSPF на граничному маршрутизаторі:

...

```
Router(config)# router ospf 10
```

```
Router(config-router)# router-id 1.1.1.1
```

```
Router(config-router)# redistribute rip subnets metric 100 metric-type 2
```

```

Router(config-router)# exit
Router(config)# router rip
Router(config-router)# version 2
Router(config-router)# no auto-summary
Router(config-router)# redistribute ospf 10 metric 5
Router(config-router)# exit

```

...

Після виконання цих команд на маршрутизаторах протилежних доменів з'являться зовнішні маршрути: на Router з OSPF – маршрути типу **O E2** до підмереж RIP-домену; на Router з RIP – маршрути типу **R** до підмереж OSPF-домену з метрикою, заданою параметром **metric** (або **default-metric**) у режимі конфігурування RIP.

Рекомендована послідовність перевірки роботи протоколів маршрутизації, редистрибуції та DHCP

Рекомендована послідовність перевірки після завершення налаштування наведена нижче. Для кожної команди показано характерний вивід та пояснення ключових полів.

1. Перевірка стану інтерфейсів.

```

Router# show ip interface brief

```

Interface	IP-Address	OK?	Method	Status	Protocol
FastEthernet0/0	192.168.1.1	YES	manual	up	up
FastEthernet0/1	10.0.0.1	YES	manual	up	up
Serial0/0/0	172.16.0.1	YES	manual	up	up

Усі інтерфейси, що задіяні у роботі мережі, повинні мати стан up/up. Стан down/down вказує на фізичну проблему (відсутність кабелю, неактивний інтерфейс – потрібна команда no shutdown). Стан up/down – лінійний протокол не встановлений: для Serial-каналу – відсутність clock rate на DCE-стороні; для Ethernet – узгодження швидкості/дуплексу або помилкова інкапсуляція.

2. Перевірка протоколу RIPv2.

```

Router# show ip protocols
Routing Protocol is "rip"
  Sending updates every 30 seconds, next due in 12 seconds
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Default version control: send version 2, receive version 2
  Automatic network summarization is not in effect
  Routing for Networks:
    192.168.1.0
    10.0.0.0
  Passive Interface(s):
    FastEthernet0/0
  Distance: (default is 120)

```

Версія протоколу повинна бути 2 (рядок «send version 2, receive version 2»). Рядок «Automatic network summarization is not in effect» підтверджує виконану команду no auto-summary. У переліку Routing for Networks повинні бути всі оголошені мережі. Distance 120 – стандартна адміністративна відстань RIP.

```

Router# show ip rip database
10.0.0.0/8   auto-summary
10.0.0.0/24
  [1] via 192.168.1.2, 00:00:14, FastEthernet0/0
192.168.1.0/24   auto-summary
192.168.1.0/24   directly connected, FastEthernet0/0

```

База даних RIP містить усі маршрути, отримані від сусідів. Поле [1] – метрика (кількість переходів). Час 00:00:14 – час з моменту останнього оновлення; якщо перевищує 180 с (Invalid Timer), маршрут стає недоступним. Записи `directly connected` – безпосередньо приєднані мережі.

3. Перевірка протоколу OSPFv2.

```
Router# show ip ospf neighbor
Neighbor ID   Pri  State           Dead Time   Address     Interface
2.2.2.2       1   FULL/DR         00:00:33   10.0.0.1    FastEthernet0/0
```

Стан FULL означає повну синхронізацію баз даних стану каналів (LSDB). Інші стани (INIT, EXSTART, EXCHANGE, LOADING) – проміжні; якщо стан довго залишається не FULL, перевірити збіжність Hello/Dead Interval, ідентифікаторів областей та масок підмереж. Dead Time показує час до закінчення Dead Interval, якщо за нього не надійде Hello.

```
Router# show ip ospf interface FastEthernet 0/0
FastEthernet0/0 is up, line protocol is up
 Internet Address 10.0.0.2/24, Area 0
 Process ID 10, Router ID 3.3.3.3, Network Type BROADCAST, Cost: 10
 Transmit Delay is 1 sec, State DR, Priority 1
 Designated Router (ID) 3.3.3.3, Interface address 10.0.0.2
 Backup Designated Router (ID) 2.2.2.2, Interface address 10.0.0.1
 Timer intervals configured, Hello 10, Dead 40, Wait 40, Retransmit 5
```

Тип мережі BROADCAST встановлений автоматично для Ethernet. Cost 10 розрахований за формулою $RefBW/BW = 1000/100 = 10$ (з командою `auto-cost reference-bandwidth 1000` для Fast Ethernet). Hello 10, Dead 40 – стандартні значення для BMA. State DR / BDR / DROTHER показує роль маршрутизатора у сегменті.

4. Перевірка таблиці маршрутизації та редистрибуції.

```
Router# show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, ...
       192.168.1.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L       192.168.1.1/32 is directly connected, FastEthernet0/0
R       192.168.2.0/24 [120/1] via 192.168.1.2, 00:00:08, FastEthernet0/0
O E2 10.10.30.0/24 [110/100] via 172.16.0.2, 00:01:23, Serial0/0/0
```

Запис R – маршрут отримано від RIP (адміністративна відстань 120, метрика 1 – кількість переходів). Запис O E2 – зовнішній маршрут OSPF типу E2 (адміністративна відстань 110, метрика 100 – це `seed-metric`, задана командою `redistribute rip subnets metric 100`, внутрішня вартість шляху OSPF не враховується). Наявність маршрутів обох типів підтверджує коректну роботу двосторонньої редистрибуції на ASBR.

5. Перевірка роботи DHCP-сервера.

```
Router# show ip dhcp pool
Pool POOL_A :
 Utilization mark (high/low)      : 100 / 0
 Subnet size (first/next)         : 0 / 0
 Total addresses                   : 254
 Leased addresses                  : 1
 Pending event                     : none
 1 subnet is currently in the context :
  Current index   IP address range           Leased addresses
 192.168.1.2     192.168.1.1 - 192.168.1.254         1
```

Поле Leased addresses показує кількість виданих адрес. Якщо при наявності активних клієнтів значення 0 – DHCP-запити не доходять до маршрутизатора: перевірити команду `ip helper-address` на інтерфейсі найближчого до клієнтів маршрутизатора, а також відповідність підмережі у пулі.

```
Router# show ip dhcp binding
Bindings from all pools not associated with VRF:
IP address          Client-ID/      Lease expiration      Type
                   Hardware address/
                   User name
192.168.1.10        0100.50ab.cd12.34  Mar 02 2026 14:32 PM  Automatic
```

Таблиця оренд: видана IP-адреса, MAC-адреса клієнта, час закінчення оренди. Порожня таблиця при наявності клієнтів означає, що DHCP не функціонує – необхідно перевірити налагодження `ip helper-address` на маршрутизаторі-релеї та маршрут від DHCP-сервера до підмережі клієнта.

6. Перевірка наскрізного зв'язку.

```
C:\> tracert 10.10.30.10
Tracing route to 10.10.30.10 over a maximum of 30 hops
  1    1 ms    *         1 ms    192.168.2.1
  2    2 ms    1 ms     2 ms    192.168.1.2
  3    3 ms    2 ms     3 ms    10.10.30.10
Trace complete.
```

Виведення показує шлях від RIP-домену до OSPF-домену. Перший хоп – шлюз за замовчуванням. Другий хоп – ASBR, що виконує редистрибуцію. Останній хоп – кінцева станція. Якщо трасування зупиняється на ASBR, значить редистрибуція з RIP в OSPF (або з OSPF в RIP) працює лише в одному напрямку – потрібна перевірка наявності команд **redistribute** у режимі конфігурування **обох** протоколів та параметра **subnets** при редистрибуції в OSPF.

Типові помилки при налагодженні протоколів маршрутизації та редистрибуції

1. **Не вимкнена автоматична сумаризація у RIP.** За замовчуванням RIPv2 автоматично сумаризує маршрути на межі класових мереж. У мережах з некласовою адресацією це призводить до некоректного формування маршрутів. Обов'язкова команда – **no auto-summary**.

2. **Невірна інвертована маска у команді network OSPF.** Інвертована маска вказує, які біти можуть змінюватися. Для /24 – 0.0.0.255, для /30 – 0.0.0.3, для /16 – 0.0.255.255. Помилка призводить до того, що інтерфейс не активується у потрібній області.

3. **Несумісні параметри для встановлення відносин сусідства OSPF.** Для формування сусідства маршрутизатори OSPF повинні мати: однакові ідентифікатори областей; однакові таймери Hello/Dead; однакові маски підмереж; однакові типи мереж; однакову аутентифікацію (якщо налаштована); унікальні Router ID.

4. **Відсутність ключового слова subnets при редистрибуції в OSPF.** Без параметра **subnets** OSPF перерозподілить лише маршрути класових мереж, ігноруючи всі підмережі. У сучасних мережах це призводить до того, що жоден маршрут не передається.

5. **Не задана початкова метрика при редистрибуції в RIP.** За замовчуванням початкова метрика для редистрибуції в RIP – нескінченність,

тому маршрут не передається. Обов'язково задати **metric** у команді **redistribute** або **default-metric** у режимі конфігурування RIP.

6. **Помилковий port-number для DHCP relay.** Команда **ip helper-address** за замовчуванням пересилає декілька UDP-портів (TFTP, DNS, NTP та інші, не тільки DHCP). У більшості випадків це не створює проблем, але у мережах з власними сервісами на цих портах може спричинити побічні ефекти. Селективну фільтрацію виконують командою **no ip forward-protocol udp port**.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке динамічна маршрутизація? У чому її переваги та недоліки порівняно зі статичною?

2. На які класи поділяють протоколи динамічної маршрутизації? До якого класу належать RIP та OSPF?

3. Що таке адміністративна відстань (AD)? Яке її значення для RIP та OSPF?

4. Опишіть принцип роботи дистанційно-векторних протоколів. Який алгоритм лежить в основі RIP?

5. Чим відрізняються RIPv1 та RIPv2? Назвіть три ключові відмінності.

6. Що таке метрика у протоколі RIP? Яке її максимальне значення та чому?

7. Перелічіть та поясніть призначення основних таймерів протоколу RIP.

8. Чому при налагодженні RIPv2 обов'язково використовувати команду **no auto-summary**?

9. Які механізми боротьби з петлями маршрутизації використовуються у протоколі RIP?

10. Опишіть принцип роботи протоколів стану каналів. Який алгоритм використовує OSPF для розрахунку маршрутів?

11. Як розраховується метрика у протоколі OSPF? Запишіть формулу.

12. Що таке еталонна пропускна здатність (RefBW)? Чому її необхідно змінювати у мережах з Gigabit Ethernet?

13. Що таке Router ID у OSPF? Як він формується за замовчуванням і чому рекомендується задавати його явно?

14. Назвіть основні типи маршрутизаторів у OSPF. Який з них виконує редистрибуцію?

15. Що таке LSDB та LSA? Який тип LSA несе інформацію про зовнішні маршрути?

16. Чим відрізняються типи зовнішніх маршрутів OSPF E1 та E2? Який з них використовується за замовчуванням?

17. Що таке редистрибуція маршрутів? У яких випадках виникає необхідність у її використанні?

18. Що таке seed metric (початкова метрика)? Які три способи її задання Ви знаєте?

19. Чому при редистрибуції в RIP обов'язково задавати початкову метрику явно?

20. Для чого потрібен параметр **subnets** команди **redistribute** при редистрибуції в OSPF?