

ЗАНЯТТЯ 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА НАЛАГОДЖЕННЯ ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ EIGRP ТА БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ У МЕРЕЖІ НА БАЗІ МАРШРУТИЗАТОРІВ CISCO

Мета заняття: ознайомитися з особливостями функціонування та налагодження протоколу динамічної маршрутизації EIGRP на обладнанні Cisco; набути практичних навичок розрахунку метрик та визначення оптимальних маршрутів EIGRP; налаштувати протокол EIGRP для IPv4 та IPv6 одночасно (dual-stack); дослідити та налаштувати балансування навантаження між рівнометричними (equal-cost) та нерівнометричними (unequal-cost) маршрутами EIGRP; виконати розрахунок розподілу трафіку між маршрутами; налаштувати пасивні інтерфейси та перевірити відмовостійкість мережі; дослідити механізм DUAL та стани таблиці топології; налаштувати DHCP-сервер і переконатися у наскрізній доступності хостів через обидві версії IP.

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. Керовані комутатори Cisco серії Catalyst 2960 (WS-C2960-24TT-L або WS-C2960-48TT-L) – 3 шт.
4. Робочі станції (ПК або ноутбуки) з ОС Windows/Linux – не менше 3 шт.
5. Консольний кабель Cisco (rollover) RJ-45 з перехідником на USB або СОМ-порт – 1 шт.
6. Ethernet-кабелі прямого типу (T568B) Cat 5e/Cat 6 – не менше 9 шт.
7. Нуль-модемні послідовні кабелі (V.35 DTE + DCE) – 2 шт. (за варіантом).
8. Термінальна програма-емулятор (PuTTY, Tera Term, SecureCRT або аналогічна) – встановлена на робочих станціях.

Схема підключення

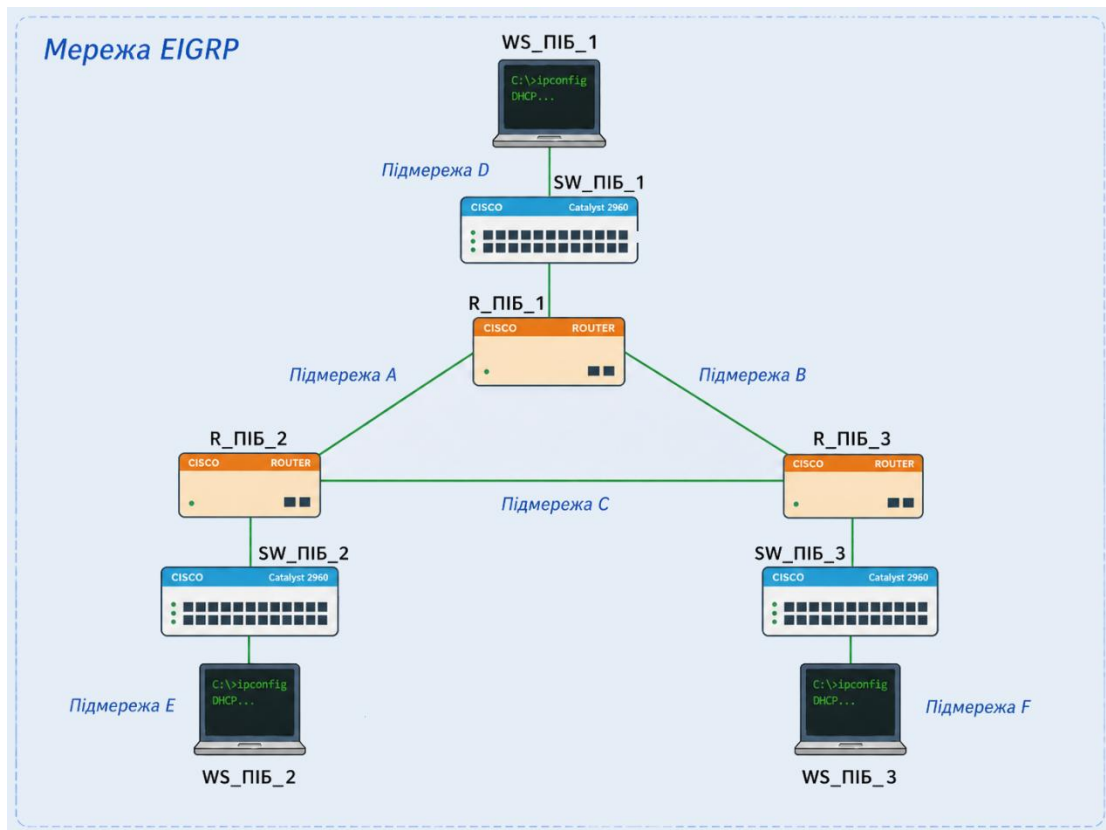


Рис. 7.1. Схема мережі EIGRP, що будується у межах заняття

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 комутатора має бути у форматі SW_kmd_1.

ЗАВДАННЯ

1. Ознайомитися з обладнанням та програмним забезпеченням, перевірити наявність консольних, **Ethernet**- та **Serial**-кабелів, термінальної програми.
2. Створити мережу відповідно до схеми (рис. 7.1). Тип фізичних каналів між маршрутизаторами обрати згідно з варіантом (табл. 7.7). У варіантах з Serial-каналом встановити частоту тактових імпульсів командою **clock rate** згідно з табл. 7.8.
3. Провести налагодження іменування всіх пристроїв мережі (R_ПІБ_1, R_ПІБ_2, R_ПІБ_3, SW_ПІБ_1, SW_ПІБ_2, SW_ПІБ_3).
4. Розробити схему IPv4-адресації за даними табл. 7.5 та IPv6-адресації за даними табл. 7.6. Результати заповнити у табл. 7.1. Для кожного інтерфейсу маршрутизатора вказати **обидві адреси**: IPv4, IPv6 **global unicast** та **link-local FE80::**.

Параметри адресації мережі

Мережа / Пристрій	Інтерфейс	MAC-адреса	IPv4-адреса / Маска	IPv6 Global Unicast /64	IPv6 Link-Local	Шлюз
Підмережа А (R1–R2)	–	–			–	–
Підмережа В (R1–R3)	–	–			–	–
Підмережа С (R2–R3)	–	–			–	–
Підмережа D (LAN R1)	–	–			–	–
Підмережа E (LAN R2)	–	–			–	–
Підмережа F (LAN R3)	–	–			–	–
R1	до R2					
	до R3					
	до SW1					
R2	до R1					
	до R3					
	до SW2					
R3	до R1					
	до R2					
	до SW3					
SW1					–	
SW2					–	
SW3					–	
WS1	NIC		(DHCP)	(SLAAC)	–	
WS2	NIC		(DHCP)	(SLAAC)	–	
WS3	NIC		(DHCP)	(SLAAC)	–	

5. Налаштувати IPv4-адресацію на всіх інтерфейсах. Налаштувати IPv6-адресацію на маршрутизаторах (команди **ipv6 address**, **ipv6 enable**). Активувати IPv6-маршрутизацію командою **ipv6 unicast-routing**. Перевірити: **show ip interface brief**, **show ipv6 interface brief**.

6. Налаштувати EIGRP для IPv4 на всіх трьох маршрутизаторах з ASN згідно з варіантом (табл. 7.8):

- активувати командою **router eigrp ASN**;
- оголосити всі підключені мережі командою **network**;
- вимкнути автосумаризацію командою **no auto-summary**;
- для LAN-інтерфейсів (до комутаторів) налаштувати **passive-interface**.

7. Налаштувати EIGRP для IPv6 на всіх трьох маршрутизаторах:

- активувати командою **ipv6 router eigrp ASN**;
- призначити Router ID командою **eigrp router-id** згідно з варіантом (табл. 7.8);
- активувати процес командою **no shutdown** (процес IPv6 EIGRP за замовчуванням вимкнений);
- на кожному інтерфейсі, що бере участь у маршрутизації, виконати **ipv6 eigrp ASN**;
- для LAN-інтерфейсів налаштувати **passive-interface**.

8. Перевірити встановлення відносин сусідства командами **show ip eigrp neighbors** та **show ipv6 eigrp neighbors**. Заповнити табл. 7.2.

Таблиця 7.2.

Результати встановлення відносин сусідства EIGRP

Маршрутизатор	Сусід (Router-ID)	Адреса сусіда (IPv4 / Link-Local)	Інтерфейс	Hold (с)	Uptime	IPv4 EIGRP	IPv6 EIGRP
R1 ↔ R2							
R1 ↔ R3							
R2 ↔ R3							

9. Налаштувати **ДНСР-сервер** на R_ПІБ_1 для підмереж D, E, F (окремий пул для кожної). На R_ПІБ_2 та R_ПІБ_3 налаштувати ДНСР-relay командою **ip helper-address**. Перевірити отримання адрес робочими станціями.

10. Дослідити **рівнометричне балансування навантаження (Equal-Cost LB)**:

- виконати **show ip eigrp topology** – визначити наявність маршрутів з однаковою FD;
- налаштувати однакові параметри **bandwidth** та **delay** на каналах А і В згідно з варіантом (табл. 7.8) для отримання рівнометричних шляхів;
- перевірити наявність обох маршрутів командою **show ip route**;
- виконати розрахунок частки трафіку для кожного маршруту за формулою з теоретичного розділу. Заповнити табл. 7.3.

Таблиця 7.3.

Результати дослідження рівнометричного балансування навантаження (Equal-Cost LB)

Маршрутизатор	Мережа призначення	К-сть шляхів	Наст. вузол 1 (IPv4)	Наст. вузол 2 (IPv4)	FD (метрика)	Розрахунок частки трафіку
R1						
R2						
R3						

11. Дослідити **нерівнометричне балансування навантаження (Unequal-Cost LB)**:

- відновити різні параметри **bandwidth** на каналах А і В (скинути попередні зміни);
- перевірити у таблиці топології наявність Feasible Successor (FS), що задовольняє Feasibility Condition ($AD < FD$);
- налаштувати команду **variance multiplier** згідно з варіантом (табл. 7.8);
- переконатися, що у таблиці маршрутизації з'явилися обидва маршрути командою **show ip route**;
- виконати розрахунок розподілу трафіку між маршрутами за формулою. Заповнити табл. 7.4.

Результати дослідження нерівнометричного балансування навантаження (Unequal-Cost LB)

Мережа призначення	Successor FD	Вузол S	Feas. Succ. AD	Вузол FS	variance	Умова FS (AD<FD?)	Розрахункова частка трафіку (S : FS = FD_fs : FD_s)
Підмережа F від R1							
Підмережа D від R3							

12. Перевірити наскрізний зв'язок між усіма робочими станціями по IPv4 та IPv6 командами **ping** та **tracert** (tracert).

13. Дослідити відмовостійкість: вимкнути один інтерфейс каналу А або В командою **shutdown**. Зафіксувати час збіжності EIGRP. Переконайтеся у збереженні зв'язку. Поновити інтерфейс командою **no shutdown**.

14. Дослідити роботу протоколу командами: **show ip eigrp interfaces**, **show ip eigrp topology all-links**, **show ip eigrp traffic**, **show ipv6 eigrp topology**, **show ipv6 route eigrp**, **debug eigrp packets** (короткочасно).

13. Вивести та проаналізувати файли конфігурацій усіх пристроїв мережі (**show running-config**).

14. У випадку виявлення помилок у налагодженнях – визначити причину та усунути їх.

15. Продемонструвати виконану роботу керівнику та оформити звіт.

ВАРІАНТИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Варіант визначається за номером стійки, за якою працюють студенти.

Таблиця 7.5.

Параметри IPv4-адресації

№ вар.	Підмережа А /30 (R1–R2)	Підмережа В /30 (R1–R3)	Підмережа С /30 (R2–R3)	Підмережа D /24 (LAN R1)	Підмережа Е /24 (LAN R2)	Підмережа F /24 (LAN R3)
1	172.C.S.0	172.C.S.4	172.C.S.8	181.C.S.0	182.C.S.0	183.C.S.0
2	172.C.S.12	172.C.S.16	172.C.S.20	184.C.S.0	185.C.S.0	186.C.S.0
3	172.C.S.24	172.C.S.28	172.C.S.32	187.C.S.0	188.C.S.0	189.C.S.0
4	172.C.S.36	172.C.S.40	172.C.S.44	190.C.S.0	191.C.S.0	192.C.S.0
5	172.C.S.48	172.C.S.52	172.C.S.56	193.C.S.0	194.C.S.0	195.C.S.0
6	172.C.S.60	172.C.S.64	172.C.S.68	196.C.S.0	197.C.S.0	198.C.S.0
7	172.C.S.72	172.C.S.76	172.C.S.80	199.C.S.0	200.C.S.0	201.C.S.0
8	172.C.S.84	172.C.S.88	172.C.S.92	202.C.S.0	203.C.S.0	204.C.S.0
9	172.C.S.96	172.C.S.100	172.C.S.104	205.C.S.0	206.C.S.0	207.C.S.0
10	172.C.S.108	172.C.S.112	172.C.S.116	208.C.S.0	209.C.S.0	210.C.S.0
11	172.C.S.120	172.C.S.124	172.C.S.128	211.C.S.0	212.C.S.0	213.C.S.0
12	172.C.S.132	172.C.S.136	172.C.S.140	214.C.S.0	215.C.S.0	216.C.S.0
13	172.C.S.144	172.C.S.148	172.C.S.152	217.C.S.0	218.C.S.0	219.C.S.0
14	172.C.S.156	172.C.S.160	172.C.S.164	220.C.S.0	221.C.S.0	222.C.S.0
15	172.C.S.168	172.C.S.172	172.C.S.176	223.C.S.0	224.C.S.0	225.C.S.0
16	172.C.S.180	172.C.S.184	172.C.S.188	226.C.S.0	227.C.S.0	228.C.S.0
17	172.C.S.192	172.C.S.196	172.C.S.200	229.C.S.0	230.C.S.0	231.C.S.0
18	172.C.S.204	172.C.S.208	172.C.S.212	232.C.S.0	233.C.S.0	234.C.S.0
19	172.C.S.216	172.C.S.220	172.C.S.224	235.C.S.0	236.C.S.0	237.C.S.0
20	172.C.S.228	172.C.S.232	172.C.S.236	238.C.S.0	239.C.S.0	240.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.

Параметри IPv6-адресації

№ вар.	Підмережа A /64 (R1-R2)	Підмережа B /64 (R1-R3)	Підмережа C /64 (R2-R3)	Підмережа D /64 (LAN R1)	Підмережа E /64 (LAN R2)	Підмережа F /64 (LAN R3)
1	2001:DB8:71C:A::	2001:DB8:71C:B::	2001:DB8:71C:C::	2001:DB8:71C:D::	2001:DB8:71C:E::	2001:DB8:71C:F::
2	2001:DB8:72C:A::	2001:DB8:72C:B::	2001:DB8:72C:C::	2001:DB8:72C:D::	2001:DB8:72C:E::	2001:DB8:72C:F::
3	2001:DB8:73C:A::	2001:DB8:73C:B::	2001:DB8:73C:C::	2001:DB8:73C:D::	2001:DB8:73C:E::	2001:DB8:73C:F::
4	2001:DB8:74C:A::	2001:DB8:74C:B::	2001:DB8:74C:C::	2001:DB8:74C:D::	2001:DB8:74C:E::	2001:DB8:74C:F::
5	2001:DB8:75C:A::	2001:DB8:75C:B::	2001:DB8:75C:C::	2001:DB8:75C:D::	2001:DB8:75C:E::	2001:DB8:75C:F::
6	2001:DB8:76C:A::	2001:DB8:76C:B::	2001:DB8:76C:C::	2001:DB8:76C:D::	2001:DB8:76C:E::	2001:DB8:76C:F::
7	2001:DB8:77C:A::	2001:DB8:77C:B::	2001:DB8:77C:C::	2001:DB8:77C:D::	2001:DB8:77C:E::	2001:DB8:77C:F::
8	2001:DB8:78C:A::	2001:DB8:78C:B::	2001:DB8:78C:C::	2001:DB8:78C:D::	2001:DB8:78C:E::	2001:DB8:78C:F::
9	2001:DB8:79C:A::	2001:DB8:79C:B::	2001:DB8:79C:C::	2001:DB8:79C:D::	2001:DB8:79C:E::	2001:DB8:79C:F::
10	2001:DB8:7AC:A::	2001:DB8:7AC:B::	2001:DB8:7AC:C::	2001:DB8:7AC:D::	2001:DB8:7AC:E::	2001:DB8:7AC:F::
11	2001:DB8:7BC:A::	2001:DB8:7BC:B::	2001:DB8:7BC:C::	2001:DB8:7BC:D::	2001:DB8:7BC:E::	2001:DB8:7BC:F::
12	2001:DB8:7CC:A::	2001:DB8:7CC:B::	2001:DB8:7CC:C::	2001:DB8:7CC:D::	2001:DB8:7CC:E::	2001:DB8:7CC:F::
13	2001:DB8:7DC:A::	2001:DB8:7DC:B::	2001:DB8:7DC:C::	2001:DB8:7DC:D::	2001:DB8:7DC:E::	2001:DB8:7DC:F::
14	2001:DB8:7EC:A::	2001:DB8:7EC:B::	2001:DB8:7EC:C::	2001:DB8:7EC:D::	2001:DB8:7EC:E::	2001:DB8:7EC:F::
15	2001:DB8:7FC:A::	2001:DB8:7FC:B::	2001:DB8:7FC:C::	2001:DB8:7FC:D::	2001:DB8:7FC:E::	2001:DB8:7FC:F::
16	2001:DB8:80C:A::	2001:DB8:80C:B::	2001:DB8:80C:C::	2001:DB8:80C:D::	2001:DB8:80C:E::	2001:DB8:80C:F::
17	2001:DB8:81C:A::	2001:DB8:81C:B::	2001:DB8:81C:C::	2001:DB8:81C:D::	2001:DB8:81C:E::	2001:DB8:81C:F::
18	2001:DB8:82C:A::	2001:DB8:82C:B::	2001:DB8:82C:C::	2001:DB8:82C:D::	2001:DB8:82C:E::	2001:DB8:82C:F::
19	2001:DB8:83C:A::	2001:DB8:83C:B::	2001:DB8:83C:C::	2001:DB8:83C:D::	2001:DB8:83C:E::	2001:DB8:83C:F::
20	2001:DB8:84C:A::	2001:DB8:84C:B::	2001:DB8:84C:C::	2001:DB8:84C:D::	2001:DB8:84C:E::	2001:DB8:84C:F::

Таблиця 7.7.

Типи фізичних з'єднань між маршрутизаторами

№ вар.	Канал А: R1 – R2	Канал В: R1 – R3	Канал С: R2 – R3
1	Ethernet	Ethernet	Ethernet
2	Ethernet	Serial V.35	Ethernet
3	Serial V.35	Ethernet	Ethernet
4	Serial V.35	Serial V.35	Ethernet
5	Ethernet	Ethernet	Serial V.35
6	Serial V.35	Ethernet	Serial V.35
7	Ethernet	Serial V.35	Serial V.35
8	Serial V.35	Ethernet	Serial V.35
9	Ethernet	Ethernet	Ethernet
10	Serial V.35	Ethernet	Serial V.35
11	Ethernet	Serial V.35	Ethernet
12	Serial V.35	Serial V.35	Ethernet
13	Ethernet	Ethernet	Serial V.35
14	Serial V.35	Ethernet	Ethernet
15	Ethernet	Serial V.35	Ethernet
16	Serial V.35	Ethernet	Serial V.35
17	Ethernet	Serial V.35	Serial V.35
18	Serial V.35	Serial V.35	Ethernet
19	Ethernet	Ethernet	Ethernet
20	Ethernet	Serial V.35	Serial V.35

**Параметри налагодження протоколу EIGRP
та балансування навантаження**

№ вар.	ASN	Router-ID R1	Router-ID R2	Router-ID R3	Clock rate, біт/с	BW канал А, Кбіт/с	BW канал В, Кбіт/с	Delay канал А, мкс	variance
1	10	1.1.1.1	2.2.2.2	3.3.3.3	64000	1544	512	20000	2
2	20	4.4.4.4	5.5.5.5	6.6.6.6	128000	512	1544	20000	3
3	30	7.7.7.7	8.8.8.8	9.9.9.9	256000	1544	1544	20000	1
4	40	10.10.10.10	11.11.11.11	12.12.12.12	512000	512	512	20000	1
5	50	13.13.13.13	14.14.14.14	15.15.15.15	1024000	1544	512	20000	2
6	60	16.16.16.16	17.17.17.17	18.18.18.18	2048000	512	1544	20000	3
7	70	19.19.19.19	20.20.20.20	21.21.21.21	64000	1544	1544	20000	1
8	80	22.22.22.22	23.23.23.23	24.24.24.24	128000	1544	512	20000	2
9	90	25.25.25.25	26.26.26.26	27.27.27.27	256000	512	1544	20000	3
10	100	28.28.28.28	29.29.29.29	30.30.30.30	512000	1544	1544	20000	1
11	10	31.31.31.31	32.32.32.32	33.33.33.33	1024000	512	512	20000	1
12	20	34.34.34.34	35.35.35.35	36.36.36.36	2048000	1544	512	20000	2
13	30	37.37.37.37	38.38.38.38	39.39.39.39	64000	512	1544	20000	3
14	40	40.40.40.40	41.41.41.41	42.42.42.42	128000	1544	1544	20000	1
15	50	43.43.43.43	44.44.44.44	45.45.45.45	256000	1544	512	20000	2
16	60	46.46.46.46	47.47.47.47	48.48.48.48	512000	512	1544	20000	3
17	70	49.49.49.49	50.50.50.50	51.51.51.51	1024000	1544	1544	20000	1
18	80	52.52.52.52	53.53.53.53	54.54.54.54	2048000	512	512	20000	1
19	90	55.55.55.55	56.56.56.56	57.57.57.57	64000	1544	512	20000	2
20	100	58.58.58.58	59.59.59.59	60.60.60.60	128000	512	1544	20000	3

ЗМІСТ ЗВІТУ З ЗАНЯТТЯ

Звіт з заняття повинен містити:

1. Номер, тему та мету заняття.
2. Короткі теоретичні відомості (2–3 сторінки): гібридні протоколи маршрутизації; EIGRP – алгоритм DUAL, таблиці, метрика; EIGRP для IPv6 та його відмінності; балансування навантаження (equal-cost та unequal-cost), формула розрахунку частки трафіку; DHCP relay; пасивні інтерфейси.
3. Перелік використаного обладнання та програмного забезпечення.
4. Схему (ФОТО) побудованої мережі з позначенням усіх пристроїв та інтерфейсів.
5. Розроблену схему IP-адресації у вигляді табл. 7.1 з конкретними значеннями IPv4 та IPv6.
6. Лістинги команд (скріншоти) з результатами виконання:
 - налагодження IPv4 та IPv6-адресації на всіх інтерфейсах маршрутизаторів;
 - команди активації **ipv6 unicast-routing** та налагодження EIGRP для IPv4 та IPv6 (включно з **igmp router-id, no shutdown, passive-interface**);

- результати **show ip eigrp neighbors** та **show ipv6 eigrp neighbors** – заповнена табл. 7.2;
 - результати **show ip eigrp topology** та **show ipv6 eigrp topology** з аналізом **successor** та **feasible successor**;
 - результати **show ip route eigrp** та **show ipv6 route eigrp** з усіх маршрутизаторів;
 - налагодження та результати рівнометричного балансування – заповнена табл. 7.3 з розрахунком;
 - налагодження команди **variance** та результати нерівнометричного балансування – заповнена табл. 7.4 з розрахунком;
 - налагодження DHCP-сервера та relay – результати **show ip dhcp binding**, **ipconfig /all** на WS;
 - результати **ping** та **tracert** по IPv4 та IPv6;
 - вміст **running-config** усіх маршрутизаторів.
7. Опис проблем, що виникли під час виконання завдання, та шляхи їх усунення.
8. Висновки по заняттю.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Протокол маршрутизації EIGRP: загальна характеристика та алгоритм DUAL

EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) – удосконалений протокол внутрішньої маршрутизації, розроблений компанією Cisco і стандартизований у RFC 7868. Протокол класифікується як гібридний (Advanced Distance-Vector), оскільки поєднує переваги обох класів: обмін маршрутною інформацією лише з безпосередніми сусідами (як дистанційно-векторні протоколи) та зберігання таблиці топології з миттєвими частковими оновленнями (як протоколи стану каналів). Основою EIGRP є алгоритм DUAL (Diffusing Update Algorithm), що гарантує петле-вільну збіжність без тимчасового зберігання маршрутів у петлях. [Odom W. CCNA 200-301 Official Cert Guide. Cisco Press, 2020]

EIGRP підтримує три окремі таблиці даних:

- **Таблиця сусідства (Neighbor Table)** – містить записи про всі маршрутизатори, з якими встановлено відносини сусідства. Для кожного сусіда зберігаються: IP-адреса (або link-local для IPv6), інтерфейс, час до закінчення таймера Hold, SRTT (Smooth Round-Trip Time), RTO (Retransmission Timeout).
- **Таблиця топології (Topology Table)** – містить всі відомі маршрути до кожної мережі: як оптимальний (successor), так і запасні (feasible successor). Алгоритм DUAL обробляє цю таблицю для прийняття маршрутних рішень без ризику петель.
- **Таблиця маршрутизації (Routing Table)** – містить лише оптимальні маршрути (successor-маршрути), що обрані алгоритмом DUAL для пересилання трафіку.

Алгоритм DUAL оперує двома ключовими поняттями метрики:

- **FD (Feasible Distance)** – мінімально відома метрика від поточного маршрутизатора до мережі призначення (відстань найкращого маршруту, що занесений у таблицю маршрутизації);
- **AD або RD (Advertised/Reported Distance)** – метрика, яку сусідній маршрутизатор рекламує для досягнення мережі призначення (відстань маршруту з точки зору сусіда).

Маршрут через вузол з найменшою метрикою отримує статус **Successor (S)** і встановлюється у таблицю маршрутизації. Маршрут через альтернативний вузол, що задовольняє **Feasibility Condition (FC)**, отримує статус **Feasible Successor (FS)** і зберігається у таблиці топології як резерв.

Умова Feasibility Condition (FC): **AD_FS < FD_successor**. Якщо AD маршруту через запасний вузол менше, ніж FD найкращого маршруту, – цей запасний маршрут гарантовано не утворює петлю. При відмові основного маршруту EIGRP миттєво переключається на Feasible Successor без запуску повного обчислення (без DUAL Active State).

Якщо Feasible Successor відсутній, маршрут переходить у стан **Active (A)**, і маршрутизатор розсилає **Query-повідомлення** сусідам у пошуку альтернативного шляху. Час збіжності у цьому випадку більший.

Розрахунок метрики EIGRP

Метрика протоколу EIGRP є комплексною і розраховується за спеціально розробленою фахівцями формулою, яка використовує наступні параметри:

- пропускні здатності інтерфейсів (каналів зв'язку);
- затримки інтерфейсів;
- параметри надійності інтерфейсів;
- завантаження інтерфейсів.

У загальному випадку формула розрахунку метрики протоколу EIGRP має наступний вигляд:

$$M = \left[\left(K_1 \cdot BW + \frac{K_2 \cdot BW}{256 - L} + K_3 \cdot D \right) \cdot \frac{K_5}{K_4 + R} \right] \cdot 256, \quad (1)$$

де M – метрика певного маршруту;

BW (*BandWidth*) – безрозмірне значення пропускної здатності, яке розраховується за формулою (2);

L (*Load*) – завантаження інтерфейсу (від 1 до 255, 1 – відсутність передачі, 255 – повне завантаження інтерфейсу); визначається для поточного стану інтерфейсу;

D (*Delay*) – безрозмірне значення сумарної затримки для всіх ділянок певного маршруту, яке розраховується за формулою (3);

R (*Reliability*) – надійність інтерфейсу (від 1 до 255, 1 – ненадійний зв'язок, 255 – надійний зв'язок); визначається для поточного стану інтерфейсу;

K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – вагові коефіцієнти для розрахунку метрики, які можуть набувати значень 0 або 1;

Число 256 застосовується у формулі для розширення отриманого значення метрики до 32 бітів.

$$BW = \left\lceil \frac{10^7}{\min(BW_1, \dots, BW_N)} \right\rceil, \quad (2)$$

де BW_i – значення пропускної здатності i -ї ділянки маршруту, Кбіт/с; за замовчуванням дорівнює фізичній пропускній здатності інтерфейсу, може змінюватися адміністративно;

N – кількість ділянок маршруту.

$$D = \sum_{i=1}^N \left\lceil \frac{D_i}{10} \right\rceil, \quad (3)$$

де D_i – значення затримки для i -ї ділянки маршруту, мкс; для кожного типу інтерфейсу встановлені стандартні значення затримок (див. табл. 7.8), може змінюватися адміністративно;

N – кількість ділянок маршруту.

Таблиця 7.9.

Стандартні значення пропускної здатності та затримок для основних типів інтерфейсів

Тип інтерфейсу	Пропускна здатність, Кбіт/с	Затримка, мкс
Gigabit Ethernet	1 000 000	10
Fast Ethernet	100 000	100
Ethernet 10 Мбіт/с	10 000	1 000
Serial T1	1 544	20 000
Serial E1	2 048	20 000
Serial DS0 (64 Кбіт/с)	64	20 000
Tunnel	9	50 000

За замовчуванням коефіцієнти K у формулі (1) набувають значень: $K_1 = 1$, $K_2 = 0$, $K_3 = 1$, $K_4 = 0$, $K_5 = 0$. Відповідно формула (1) спрощується і виглядає як

$$EIGRP_{Metric} = [BW + D] \cdot 256, \quad (4)$$

Приклад розрахунку: маршрут R1 → R2 → мережа А (дві ділянки: Serial T1 + FastEthernet).

$$BW = \left\lceil \frac{10^7}{\min(1544, 100000)} \right\rceil = \frac{10^7}{1544} \approx 6476;$$

$$D = \frac{(20000 + 100)}{10} = 2010;$$

$$M = 256 \cdot (6476 + 2010) = 2172416;$$

EIGRP для IPv6:

архітектура, особливості налагодження та порівняння з IPv4

Протокол EIGRP для IPv6 (EIGRPv6) визначено у RFC 7868. Принцип роботи алгоритму DUAL, структура таблиць (сусідства, топології, маршрутизації) та механізми балансування навантаження повністю ідентичні IPv4-версії. Проте архітектура налагодження принципово відрізняється за кількома аспектами.

Порівняння характеристик EIGRP для IPv4 та IPv6 представлено в табл. 7.10.

Порівняльна характеристика EIGRP для IPv4 та IPv6

Параметр	EIGRP для IPv4	EIGRP для IPv6
Активация протоколу	router eigrp ASN (глобальний режим конфігурування)	ipv6 router eigrp ASN (глобальний режим конфігурування)
Оголошення мереж	network address wildcard (у режимі router eigrp)	ipv6 eigrp ASN (безпосередньо на інтерфейсі)
Router ID	Автоматично (найвища IPv4-адреса) або вручну	Обов'язково вручну: eigrp router-id A.B.C.D (у форматі IPv4)
Стан процесу за замовчуванням	Активний після router eigrp	Вимкнений! Потребує no shutdown у режимі ipv6 router eigrp
Адреси для Hello	Multicast 224.0.0.10	Multicast FF02::A (All EIGRP Routers)
Ідентифікація сусідів	IPv4-адреса інтерфейсу	IPv6 Link-Local адреса (FE80::/10)
Пасивний інтерфейс	passive-interface у режимі router eigrp	passive-interface у режимі ipv6 router eigrp
Перевірка сусідства	show ip eigrp neighbors	show ipv6 eigrp neighbors
Таблиця маршрутизації	show ip route eigrp	show ipv6 route eigrp
Таблиця топології	show ip eigrp topology	show ipv6 eigrp topology

Ключова відмінність у налагодженні – активация EIGRP **безпосередньо на інтерфейсі**, а не через оголошення мереж командою **network**. Це пов'язано з тим, що в IPv6 відсутня концепція класових мереж та суміжних підмереж.

Повна послідовність налагодження EIGRP для IPv6:

```

...
Router(config)# ipv6 unicast-routing
Router(config)# ipv6 router eigrp 10
Router(config-rtr)# eigrp router-id 1.1.1.1
Router(config-rtr)# no shutdown
Router(config-rtr)# passive-interface GigabitEthernet0/1
Router(config-rtr)# exit
Router(config)# interface GigabitEthernet0/0
Router(config-if)# ipv6 eigrp 10
Router(config-if)# interface Serial0/0/0
Router(config-if)# ipv6 eigrp 10
Router(config-if)# interface GigabitEthernet0/1
Router(config-if)# ipv6 eigrp 10

```

Особливість використання link-local адрес: у таблиці сусідства IPv6 EIGRP відображаються link-local адреси сусідів (FE80::X), а не глобальні unicast. Це нормальна поведінка – link-local адреси використовуються для всього EIGRP-трафіку в межах сегмента (Hello, Update, Query, Reply, ACK).

Перевірка стану EIGRP для IPv6:

```

Router# show ipv6 eigrp neighbors
EIGRP-IPv6 Neighbors for AS(10)
H  Address                Interface    Hold Uptime   SRTT  RTO  Q  Seq
1  Link-local address: Se0/0/0  14   00:03:21  12   200  0  11
   FE80::2
0  Link-local address: Se0/0/1  12   00:03:45   5   200  0  9
   FE80::3

```

```
Router# show ipv6 eigrp topology
EIGRP-IPv6 Topology Table for AS(10)/ID(1.1.1.1)
P 2001:DB8:11C:1::/64, 1 successors, FD is 2172416
  via FE80::2 (2172416/28160), Serial0/0/0
P 2001:DB8:11C:2::/64, 1 successors, FD is 2172416
  via FE80::3 (2172416/28160), Serial0/0/1
```

Балансування навантаження в EIGRP: розрахунок та налагодження

EIGRP підтримує два режими балансування навантаження, що реалізуються відповідно до принципів:

1. Рівнометричне балансування (Equal-Cost Load Balancing). За замовчуванням EIGRP розподіляє трафік між маршрутами з однаковою метрикою FD. Максимальна кількість рівнометричних шляхів задається командою `maximum-paths N` (за замовчуванням 4, максимум 32). Розподіл трафіку між N рівнометричними шляхами здійснюється рівномірно: кожен шлях отримує $1/N$ загального потоку пакетів.

Розрахункова формула частки трафіку для рівнометричного балансування:

$$Q_i = \frac{Q_{total}}{N}, \quad (5)$$

де Q_i – кількість пакетів через i -й маршрут; Q_{total} – загальна кількість пакетів; N – кількість рівнометричних шляхів.

2. Нерівнометричне балансування (Unequal-Cost Load Balancing). Активується командою `variance multiplier` (діапазон 1–128; за замовчуванням 1 → тільки рівнометричне балансування). Маршрут через Feasible Successor включається до таблиці маршрутизації та балансування, якщо виконуються дві умови:

- Умова 1 – Feasibility Condition: $AD_FS < FD_successor$ (запасний маршрут гарантовано без петель);
- Умова 2 – Variance Condition: $FD_FS \leq FD_successor \times variance$ (метрика запасного маршруту не більша за $FD \times$ множник).

Розподіл трафіку між маршрутами при нерівнометричному балансуванні здійснюється **обернено пропорційно до метрик**:

$$\frac{Q_S}{Q_{FS}} = \frac{FD_{FS}}{FD_S}, \quad (6)$$

де Q_S – частка трафіку через Successor; Q_{FS} – частка трафіку через Feasible Successor; FD_S – метрика Successor; FD_{FS} – метрика Feasible Successor.

Абсолютні значення часток:

$$Q_S = \frac{Q_{total} \cdot FD_{FS}}{(FD_S + FD_{FS})}; \quad (7)$$

$$Q_{FS} = \frac{Q_{total} \cdot FD_S}{(FD_S + FD_{FS})}. \quad (8)$$

Приклад: Router має два маршрути до підмережі.

Маршрут через R2 (Serial T1 + FastEthernet): $FD_S = 2\,172\,416$.

Маршрут через R3 (FastEthernet + FastEthernet):

$$FD_{FS} = 256 \cdot (100 + 20) = 30\,720.$$

Перевірка FC : $AD_{FS} = 28\ 160 < FD_S = 2\ 172\ 416 \checkmark$.

Перевірка **variance** = 2: $FD_{FS} = 30\ 720 \leq FD_S \cdot 2 = 4\ 344\ 832 \checkmark \rightarrow$ маршрут включається.

$$\text{Частка } S : FS = \frac{FD_{FS}}{FD_S} = \frac{30720}{2172416} \approx \frac{1}{70}.$$

Команди налагодження нерівнометричного балансування:

```
...
Router(config)# router eigrp 10
Router(config-router)# variance 2
Router(config-router)# maximum-paths 4
...
```

Команди моніторингу та діагностики EIGRP

Таблиця 7.11.

Команди моніторингу та діагностики протоколу EIGRP

Команда	Призначення
show ip protocols	Активні протоколи, ASN, K-коефіцієнти, maximum-paths, variance, пасивні інтерфейси
show ip route eigrp	Таблиця маршрутизації (лише маршрути EIGRP IPv4)
show ip eigrp interfaces	Інтерфейси EIGRP: кількість сусідів, параметри черги та таймерів
show ip eigrp neighbors	Таблиця сусідства: адреси, інтерфейси, Hold, SRTT, RTO, кількість пакетів у черзі
show ip eigrp topology	Таблиця топології: стан (P/A), successor, FS, FD, AD
show ip eigrp topology all-links	Повна таблиця топології, включно з маршрутами без статусу FS
show ip eigrp topology A.B.C.D/prefix	Детальна інформація про конкретний префікс
show ip eigrp traffic	Статистика: Hello, Update, Query, Reply, ACK
show ipv6 protocols	Активні IPv6-протоколи маршрутизації
show ipv6 route eigrp	Таблиця маршрутизації (маршрути EIGRP IPv6)
show ipv6 eigrp neighbors	Таблиця сусідства IPv6 (link-local адреси)
show ipv6 eigrp topology	Таблиця топології EIGRP IPv6
debug eigrp packets	Пакети EIGRP (Hello, Update, Query, Reply, ACK)
debug eigrp fsm	Події алгоритму DUAL (finite state machine)
debug eigrp neighbors	Зміни відносин сусідства
undebug all	Вимкнення всіх дебагів
clear ip eigrp neighbors	Скидання відносин сусідства (ініціює повторну збіжність)

Рекомендована послідовність перевірки роботи протоколу EIGRP

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

1. Перевірка стану інтерфейсів та адресації.

```
Router# show ip interface brief
Interface          IP-Address      OK? Method Status  Protocol
GigabitEthernet0/0 192.168.1.1     YES manual up      up
GigabitEthernet0/1 192.168.2.254   YES manual up      up
Serial0/0/0         192.168.3.5     YES manual up      up
```

```
Router# show ipv6 interface brief
GigabitEthernet0/0      [up/up]
  FE80::1
  2001:DB8:11C:1::1
Serial0/0/0             [up/up]
  FE80::1
  2001:DB8:11C:2::1
```

Усі задіяні інтерфейси мають бути у стані up/up. Наявність IPv6 link-local адреси (FE80::) підтверджує коректне налагодження IPv6. Стан down/down – фізична проблема або **shutdown**; стан up/down на Serial – відсутність **clock rate** на DCE-сторони.

2. Перевірка встановлення відносин сусідства EIGRP (IPv4 та IPv6).

```
Router# show ip eigrp neighbors
EIGRP-IPv4 Neighbors for AS(10)
H  Address          Interface    Hold Uptime   SRTT  RTO  Q  Seq
1  192.168.1.2      Se0/0/0     13   00:04:21  12   200  0  14
0  192.168.1.6      Gi0/0       11   00:04:45   5   200  0  11
```

```
Router# show ipv6 eigrp neighbors
EIGRP-IPv6 Neighbors for AS(10)
H  Address          Interface    Hold Uptime   SRTT  RTO  Q  Seq
1  Link-local address: Se0/0/0     14   00:04:21  12   200  0  11
  FE80::2
0  Link-local address: Gi0/0       12   00:04:45   5   200  0  9
  FE80::3
```

Hold – час до закінчення таймера (15 с за замовчуванням). SRTT – середній час відповіді. Порожня таблиця IPv4 – різні ASN або відсутня команда **network**. Порожня таблиця IPv6 – відсутня команда **ipv6 eigrp ASN** на інтерфейсі або процес не активований командою **no shutdown**.

3. Аналіз таблиці топології та вибіIP successor / feasible successor.

```
Router# show ip eigrp topology
EIGRP-IPv4 Topology Table for AS(10)/ID(1.1.1.1)
P 192.168.1.0/24, 1 successors, FD is 2172416
   via 192.168.1.2 (2172416/28160), Serial0/0/0 <- Successor
   via 192.168.1.6 (30720/28160), Gi0/0 <- Feasible Successor
```

```
Router# show ipv6 eigrp topology
EIGRP-IPv6 Topology Table for AS(10)/ID(1.1.1.1)
P 2001:DB8:11C:1::/64, 1 successors, FD is 2172416
   via FE80::2 (2172416/28160), Serial0/0/0
```

Стан **P (Passive)** – маршрут стабільний. Стан **A (Active)** – маршрутизатор надіслав Query-повідомлення сусідам у пошуку нового маршруту. У дужках (*FD/AD*): перше – *FD* від поточного маршрутизатора, друге – *AD* від сусіда. Наявність Feasible Successor підтверджує виконання умови $AD < FD$, що гарантує миттєве переключення без повного перерахунку.

4. Перевірка таблиці маршрутизації.

```
Router# show ip route eigrp
D 192.168.1.0/24 [90/2172416] via 192.168.1.2, 00:04:21, Serial0/0/0
D 192.168.2.0/24 [90/2172416] via 192.168.1.2, 00:04:21, Serial0/0/0
                               [90/30720] via 192.168.1.6, 00:04:45, Gi0/0
```

```
Router# show ipv6 route eigrp
D 2001:DB8:11C:1::/64 [90/2172416]
  via FE80::2, Serial0/0/0
D 2001:DB8:11C:2::/64 [90/2172416]
  via FE80::3, Serial0/0/1
```

Мітка *D* – маршрут EIGRP. [90/метрика] – адміністративна відстань 90 / *FD*. Наявність двох рядків **via** для однієї мережі підтверджує активне балансування. Якщо деякі підмережі відсутні – перевірити **network** (IPv4) або **ipv6 eigrp ASN** на відповідних інтерфейсах.

5. Перевірка параметрів балансування навантаження.

```
Router# show ip protocols
Routing Protocol is "eigrp 10"
  EIGRP-IPv4 Protocol for AS(10)
    Metric weight K1=1, K2=0, K3=1, K4=0, K5=0
    Maximum path: 4
    Maximum metric variance 2
    Automatic Summarization: disabled
    Routing for Networks:
      192.168.1.0/30 192.168.1.4/30 191.168.2.0/24
    Passive Interface(s): GigabitEthernet0/1
```

Maximum path: 4 – до 4 рівнометричних шляхів. **Maximum metric variance 2** – нерівнометричне балансування активоване: враховуються маршрути з метрикою $\leq FD \cdot 2$. **Passive Interface(s)** – мають бути всі LAN-інтерфейси. **Automatic Summarization: disabled** – підтверджує **no auto-summary**.

6. Перевірка роботи DHCP-сервера та relay.

```
Router# show ip dhcp binding
IP address      Client-ID/HW address  Lease expiration      Type
192.168.1.1     0050.56ab.1234       Apr 30 2026 12:00    Automatic
192.168.2.1     0050.56ab.5678       Apr 30 2026 12:00    Automatic
192.168.3.1     0050.56ab.9abc       Apr 30 2026 12:00    Automatic
```

```
Router# show ip dhcp pool
Pool POOL_D:
  Leased addresses: 1
  Total addresses: 254
```

Наявність трьох записів підтверджує роботу DHCP-relay. Порожня таблиця при активних клієнтах – відсутня команда **ip helper-address** на Router, або DHCP-сервер не має маршруту до підмережі клієнта.

7. Перевірка наскрізного зв'язку по IPv4 та IPv6.

```
C:\> ping 192.168.3.1
Reply from 192.168.3.1: bytes=32 time=2ms TTL=126
C:\> ping -6 2001:DB8:11C:2::1
Reply from 2001:DB8:11C:2::1: bytes=32 time=3ms TTL=125
C:\> tracert 192.168.3.1
 1  1 ms  192.168.1.254
 2  2 ms  192.168.2.2
 3  2 ms  192.168.3.1
```

TTL=126 – пакет пройшов через 2 маршрутизатори (початкове TTL=128). При балансуванні навантаження маршрут **tracert** може відрізнитися між сеансами – це нормально і підтверджує роботу балансування.

8. Перевірка відмовостійкості мережі.

```
Router(config-if)# shutdown
%DUAL-5-NBRCHANGE: EIGRP-IPv4 10: Neighbor 192.168.2.2 is down: interface down
%DUAL-5-NBRCHANGE: EIGRP-IPv6 10: Neighbor FE80::2 is down: interface down
```

При наявності *FS* – переключення миттєве (<1 с). При відсутності *FS* – маршрут переходить в Active, надсилаються Query.

```
Router# show ip eigrp topology
```

Маршрут через відключений інтерфейс зникає, а зв'язок через резервний канал.

```
Router(config-if)# no shutdown
%DUAL-5-NBRCHANGE: EIGRP-IPv4 10: Neighbor 192.168.2.2 is up: new adjacency
%DUAL-5-NBRCHANGE: EIGRP-IPv6 10: Neighbor FE80::2 is up: new adjacency
```

Повідомлення **%DUAL-5-NBRCHANGE** інформує про зміну стану сусідства. Команда **debug eigrp packets** дозволяє в реальному часі спостерігати за обміном Update, Query та Reply повідомленнями під час збіжності. Не забути вимкнути командою **undebug all** після завершення спостереження.

Типові помилки при налагодженні EIGRP

1. Розбіжність ASN. Якщо на маршрутизаторах задано різні номери автономної системи, відносини сусідства не встановляться. Виявляється порожньою таблицею `show ip eigrp neighbors`.

2. Відсутність по auto-summary. У мережах з некласовою адресацією автосумаризація призводить до некоректних записів. Команда `no auto-summary` є обов'язковою.

3. Відсутність по shutdown для EIGRP IPv6. Процес IPv6 EIGRP за замовчуванням вимкнений. Без `no shutdown` відносини сусідства по IPv6 не встановляться.

4. Відсутність eigrp router-id для IPv6. Без явного Router ID процес IPv6 EIGRP не запуститься за відсутності IPv4-адрес. Завжди задавати `router-id` у форматі A.B.C.D.

5. Неправильне значення variance. Якщо маршрут через FS не потрапляє до таблиці маршрутизації – або `variance` занадто малий, або маршрут не є FS ($AD \geq FD$). Перевірити командою `show ip eigrp topology all-links`.

6. Відсутність ipv6 unicast-routing. За замовчуванням IPv6-маршрутизація на Cisco IOS вимкнена. Без цієї команди пакети IPv6 не пересилаються.

7. Команда ipv6 eigrp не виконана на інтерфейсі. У EIGRP для IPv6 протокол активується безпосередньо на інтерфейсі. Якщо команду пропустити – інтерфейс не бере участі у маршрутизації.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. До якого класу протоколів маршрутизації належить EIGRP? Назвіть три ключові характеристики, що відрізняють його від чисто дистанційно-векторних та протоколів стану каналів.
2. Що таке алгоритм DUAL? У чому полягає принцип «петле-вільної збіжності» та як він пов'язаний з поняттям Feasible Successor?
3. Перелічіть три таблиці EIGRP. Яку інформацію зберігає кожна з них? Що відбувається з таблицею маршрутизації при переході маршруту у стан Active?
4. Що таке Feasible Distance (FD) та Advertised Distance (AD)? Як вони використовуються алгоритмом DUAL для вибору Successor та Feasible Successor?
5. Сформулюйте Feasibility Condition. Чому виконання цієї умови гарантує відсутність петель маршрутизації?
6. Запишіть повну та спрощену формули розрахунку метрики EIGRP. Які параметри інтерфейсу впливають на метрику за замовчуванням?
7. Яка адміністративна відстань внутрішніх та зовнішніх маршрутів EIGRP? Порівняйте зі значеннями OSPF та RIP.
8. Перелічіть чотири принципові відмінності у налагодженні EIGRP для IPv6 порівняно з IPv4. Чому оголошення мереж виконується на інтерфейсі, а не командою network?
9. Навіщо потрібна команда eigrp router-id при налагодженні EIGRP для IPv6? Чому без неї процес може не запуститися?
10. Навіщо потрібна команда no shutdown при налагодженні EIGRP для IPv6? Чому для IPv4 вона не є обов'язковою?
11. Яку адресу використовує EIGRP для IPv6 для ідентифікації сусідів у таблиці сусідства? Яка multicast-адреса використовується для розсилки Hello-повідомлень?
12. Що таке Equal-Cost Load Balancing в EIGRP? Яку команду використовують для збільшення кількості рівнометричних шляхів? Запишіть формулу розрахунку частки трафіку.
13. Поясніть принцип Unequal-Cost Load Balancing. Яку команду слід використати для його активації? Запишіть дві умови, що мають виконуватися для маршруту, який бере участь у нерівнометричному балансуванні.
14. Що таке пасивний інтерфейс в EIGRP? Яка різниця між passive-interface та відсутністю ipv6 eigrp на інтерфейсі (для IPv6)? Чому LAN-інтерфейси рекомендується налагоджувати як пасивні?
16. Що покаже команда show ip eigrp topology all-links на відміну від show ip eigrp topology? У яких випадках необхідно використовувати all-links?
17. Якими командами перевіряють коректність налагодження Unequal-Cost LB? Як інтерпретувати виведення show ip route при наявності двох маршрутів з різними метриками?