ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4
ПОБУДОВА ТА НАЛАГОДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ ПРОМИСЛОВОЇ МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВА В СЕРЕДОВИЩІ CISCO PACKET TRACER

Мета заняття: ознайомитися з архітектурою сучасної розподіленої мережі промислового підприємства та з принципами розмежування інформаційного і операційного сегментів; вивчити склад, призначення та особливості промислового мережного обладнання Cisco - маршрутизаторів серії IR та комутаторів серії IE; ознайомитися з моделюванням мережі оператора мобільного зв'язку у середовищі Cisco Packet Tracer; виконувати базове налагодження маршрутизаторів і комутаторів, мережні служби DHCP, DNS, HTTP та NTP; набути практичних навичок перевірки працездатності і діагностування мережі підприємства.

Обладнання та програмне забезпечення: персональний комп'ютер; програмний симулятор Cisco Packet Tracer; файл проєкту мережі, наданий викладачем; текстовий редактор для підготовки файла даних формату CSV.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Конвергенція інформаційних та операційних технологій

Мережа сучасного промислового підприємства історично складається з двох частин, які тривалий час розвивалися незалежно одна від одної. Перша з них - **інформаційна мережа** (IT, Information Technology) - обслуговує бізнес-процеси: документообіг, електронну пошту, бухгалтерський облік, корпоративні бази даних. Друга - **операційна мережа** (OT, Operational Technology) - забезпечує безпосереднє керування технологічним обладнанням: програмованими логічними контролерами, приводами, системами дистанційного керування.

Вимоги до цих двох мереж суттєво різняться. Для інформаційної мережі найважливішою властивістю традиційно вважається конфіденційність даних, для операційної - **доступність та злагодженість**: керуючий вплив має бути доставлений до виконавчого механізму за наперед відомий і незмінний проміжок часу. Затримка у кілька десятків мілісекунд, цілком прийнятна для завантаження веб-сторінки, у контурі керування може призвести до аварії. Саме тому в промислових

мережах застосовують спеціальні протоколи забезпечення надлишковості та синхронізації часу, а обладнання виготовляють у захищеному виконанні - з розширеним діапазоном робочих температур, стійкістю до вібрації, пилу та електромагнітних завад, з резервованим живленням постійного струму та з кріпленням на DIN-рейку.

Упродовж останнього десятиліття відбувається **конвергенція IT та OT** - об'єднання обох мереж на спільній технологічній базі Ethernet та стеку TCP/IP. Це дає підприємству суттєві переваги: дані технологічного процесу стають доступними для систем планування виробництва, стає можливим віддалене обслуговування обладнання, зменшується сукупна вартість володіння мережею. Водночас конвергенція створює і нову проблему: операційний сегмент, який раніше був фізично ізольованим, потрапляє у зону досяжності загроз із зовнішніх мереж. Тому ключовим питанням проєктування такої мережі стає її **сегментація** - чіткий поділ на зони з контрольованими каналами обміну між ними.

1.2 Еталонна модель Purdue

Загальноприйнятою основою для сегментації промислових мереж є **еталонна модель Purdue** (Purdue Enterprise Reference Architecture, PERA), покладена в основу стандарту IEC 62443. Модель поділяє мережу підприємства на ієрархічні рівні - від безпосередньо технологічного процесу до корпоративних інформаційних систем (рис. 1).



Рис. 1. Рівні промислової мережі за еталонною моделлю Purdue

Нижні рівні (0–2) утворюють зону безпосереднього керування технологічним процесом. **Рівень 0** - це самі давачі та виконавчі механізми; **рівень 1** - програмовані логічні контролери (PLC), які реалізують алгоритми керування; **рівень 2** - засоби людино-машинного інтерфейсу (HMI) та локальні системи диспетчеризації ділянки. **Рівень 3** об'єднує системи операційного керування виробництвом: сервери збирання технологічних даних, системи управління виробництвом (MES), станції інженерів-технологів.

Рівні 4 і 5 належать до інформаційної частини мережі - це офісна мережа підприємства та корпоративні інформаційні системи. Між рівнем 3 та рівнем 4 розташовують **промислову демілітаризовану зону** (IDMZ, Industrial Demilitarized Zone). Основне правило сегментації формулюється так: жоден трафік не повинен проходити з IT-сегмента безпосередньо в OT-сегмент і навпаки - обмін здійснюється лише через проміжні вузли в IDMZ, а самі переходи контролюються

міжмережним екраном, списками контролю доступу та засобами моніторингу.

1.3 Промислове мережне обладнання Cisco

У середовищі Cisco Packet Tracer доступна ціла низка моделей промислового мережного обладнання. Їх основні характеристики наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Промислове мережне обладнання Cisco у Packet Tracer

Модель	Тип пристрою	Основні характеристики
IR1101	Промисловий маршрутизатор	1 комбінований порт Gigabit Ethernet (RJ45/SFP), 4 порти 10/100BASE-T; 2 гнізда для стільникових модулів
IR8340	Промисловий маршрутизатор агрегації	4 порти RJ45 з живленням PoE/PoE+/UPoE, 4 комбіновані порти RJ45/SFP, 4 порти SFP, 2 комбіновані порти WAN; 2 гнізда NIM та 2 гнізда PIM
IE-3400	Промисловий комутатор рівня доступу	Модель IE-3400-8P2S-A: 8 портів Gigabit Ethernet з живленням PoE та 2 гнізда SFP; підтримка маршрутизації, PRP, REP
IE-9320	Промисловий комутатор агрегації	Модель IE-9320-26S2C-A: 22 низхідні порти SFP 100/1000 Мбіт/с, 2 комбіновані порти, 4 висхідні порти; ліцензія Network Advantage
ISA-3000	Промисловий міжмережний екран	Модель ISA-3000-2C2F-K9: 2 порти SFP 1 Гбіт/с, 2 порти 10/100/1000BASE-T та порт керування; призначений для захисту периметра OT-сегмента
PT8200	Маршрутизатор платформи Catalyst 8200	Модулі NIM-2T, NIM-ES2-4; постачається **без встановленої ліцензії** і потребує реєстрації на контролері мережі (Smart Licensing)

Слід звернути увагу на останній рядок таблиці. Маршрутизатор PT8200 у Packet Tracer моделює сучасну модель ліцензування Cisco Smart Licensing: одразу після додавання у проєкт він не має активної ліцензії, і повноцінна робота з ним можлива лише після реєстрації на контролері мережі. Тому в цій лабораторній роботі він не використовується.

1.4 Моделювання мережі оператора мобільного зв'язку

Для промислових об'єктів, віддалених від магістральних ліній зв'язку (насосні станції, трансформаторні підстанції, свердловини, пункти обліку), типовим рішенням є під'єднання до корпоративної мережі каналом мобільного оператора. У Packet Tracer мережа оператора моделюється двома пристроями.

– **Cell Tower** (базова станція) - має одне гніздо розширення, підтримує коаксіальний інтерфейс та модуль 3G/4G. Забезпечує радіодоступ для абонентських пристроїв;

– **Central Office Server** (сервер центрального вузла оператора) - має шість вбудованих коаксіальних портів та один порт FastEthernet. Коаксіальними портами під'єднуються базові станції, портом FastEthernet - обладнання, що веде у магістральну мережу.

З погляду моделі OSI пара «базова станція - сервер центрального вузла» працює як **прозорий міст канального рівня**: усі абонентські пристрої, під'єднані радіоканалом, та вузол, під'єднаний до порту FastEthernet сервера центрального вузла, належать до однієї широкомовної області і, відповідно, до однієї IP-підмережі. Сам сервер центрального вузла, крім того, виконує роль сервера DHCP для цієї підмережі - на його вкладці **Services** налагоджуються діапазон адрес, що видаються, адреса шлюза за замовчуванням та адреса сервера DNS.

Для під'єднання маршрутизатора до мережі оператора у його гніздо PIM встановлюється стільниковий модуль. У Packet Tracer доступні модулі `P-LTEA18-GL` (3G/4G LTE) та `P-5GS6-GL` (5G). Після встановлення модуля у маршрутизатора з'являється інтерфейс типу `Cellular`, ім'я якого залежить від номера використаного гнізда (наприклад, `Cellular0/4/0`). Адреса на такому інтерфейсі, як правило, не задається статично, а отримується від оператора; для цього застосовується команда `ip address negotiated`.

1.5 Сервер Data Historian та протоколи промислових мереж

Data Historian - це сервер збирання та довготривалого зберігання технологічних даних. На відміну від звичайної бази даних, він оптимізований для зберігання часових рядів: кожен запис містить ім'я пристрою-джерела, ім'я тега (вимірюваного параметра), його значення та

мітку часу у форматі UTC. Накопичені дані використовують для аналізу роботи обладнання, розслідування аварій, прогнозування технічного обслуговування та оптимізації технологічного процесу.

У Packet Tracer сервер Data Historian налагоджується так само, як звичайний вузол мережі (вкладки **Config** та **Desktop**), а специфічні параметри зосереджені на вкладці **Services**, де можна увімкнути або вимкнути службу, задати розмір таблиці бази даних, імпортувати дані з файла формату CSV та вилучити облікові записи користувачів. Обсяг бази даних обмежений 1 000 000 записів. Рядок файла CSV має такий формат:

```
ім'я_пристрою, ім'я_тега, значення_тега, мітка_часу_UTC

Router1, IA, 0.1, 2024-11-18T23:52:46Z
Router1, IA, 0.2, 2024-11-18T23:53:46Z
```

У реальних системах дані надходять на сервер від збирача даних, що використовує протокол CIP. Перелік протоколів промислових мереж, які підтримує Packet Tracer, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Протоколи промислових мереж у Packet Tracer

Протокол	Призначення
Modbus	Обмін за схемою «клієнт - сервер» поверх Ethernet (TCP/IP); найпоширеніший протокол опитування давачів
CIP	Common Industrial Protocol; незалежний від середовища передавання, реалізації - EtherNet/IP, DeviceNet, ControlNet
PROFINET	Промисловий Ethernet реального часу
OPC-UA	Незалежний від виробника обмін даними між системами різних рівнів
IEC-61850	Автоматизація електричних підстанцій (служби GOOSE, SV, MMS)
PRP	Parallel Redundancy Protocol - дублювання кадрів двома незалежними мережами (LAN A і LAN B) без часу відновлення
REP	Resilient Ethernet Protocol - швидке відновлення кільцевої топології канального рівня
PTP	Синхронізація годинників вузлів із наносекундною точністю (IEEE 1588)

1.6 Планування схеми IP-адресації мережі

Розроблення схеми адресації розпочинають із переліку підмереж та визначення потрібної кількості адрес у кожній із них. Для підмережі з префіксом p загальна кількість адрес становить $2^{(32-p)}$, з яких дві

є службовими - адреса самої мережі (усі нулі у вузловій частині) та широкомовна адреса (усі одиниці). Отже, кількість придатних для призначення вузлам адрес дорівнює:

$$H = 2^{(32-p)} - 2$$

Для кожної підмережі потрібно визначити: адресу мережі, маску підмережі у десятковому вигляді, першу та останню адреси, широкомовну адресу і кількість вузлів. Приклад для підмережі `10.7.1.0/26`: маска `255.255.255.192`; діапазон адрес вузлів `10.7.1.1` – `10.7.1.62`; широкомовна адреса `10.7.1.63`; кількість вузлів - 62.

Для каналів «точка - точка» між маршрутизаторами застосовують префікс /30, який дає дві адреси вузлів і не спричиняє марного витрачання адресного простору.

1.7 Базове налагодження маршрутизатора

Базове налагодження маршрутизатора Cisco охоплює налаштування імені пристрою, захист доступу паролем, виведення застережного банера, збереження конфігурації та налагодження інтерфейсів. Основні команди наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Основні команди базового налагодження маршрутизатора

Команда	Призначення
enable	Перехід у привілейований режим
configure terminal	Перехід у режим глобального конфігурування
hostname ім'я	Задання імені пристрою
no ip domain-lookup	Вимкнення спроб розв'язання помилково введених команд як доменних імен
enable secret пароль	Пароль на вхід у привілейований режим (зберігається у зашифрованому вигляді)
service password-encryption	Шифрування паролів у файлі конфігурації
banner motd #текст#	Застережний банер, що виводиться перед входом
line console 0 password пароль login	Захист консольного підключення
interface тип номер	Перехід у режим конфігурування інтерфейсу
ip address адреса маска	Призначення інтерфейсу IPv4-адреси
ipv6 address адреса/префікс	Призначення інтерфейсу IPv6-адреси
description текст	Текстовий опис призначення інтерфейсу

Команда	Призначення
bandwidth значення	Задання пропускної здатності інтерфейсу, Кбіт/с
delay значення	Задання затримки інтерфейсу, десятки мікросекунд
no shutdown	Переведення інтерфейсу в активний стан
ip route ***мережа маска шлюз***	Створення статичного маршруту
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 ***шлюз***	Створення маршруту за замовчуванням
copy running-config startup-config	Збереження поточної конфігурації в NVRAM

1.8 Базове налагодження комутатора

Комутатор працює на канальному рівні і не потребує IP-адрес на портах. Проте для віддаленого керування комутатору призначають адресу на **віртуальному інтерфейсі мережі** (SVI, Switched Virtual Interface), який відповідає одній з мереж VLAN, а також задають шлюз за замовчуванням. Основні команди наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Основні команди базового налагодження комутатора

Команда	Призначення
interface vlan 1	Перехід у режим конфігурування віртуального інтерфейсу
ip address адреса маска	Призначення адреси керування комутатором
ip default-gateway адреса	Задання шлюза за замовчуванням
interface range тип перелік	Одночасне конфігурування групи портів
switchport mode access	Переведення порту в режим доступу
switchport access vlan номер	Призначення порту мережі VLAN
switchport mode trunk	Переведення порту в магістральний режим
vlan номер name ім'я	Створення мережі VLAN та задання її імені
show vlan brief	Перегляд переліку мереж VLAN та розподілу портів
show mac address-table	Перегляд таблиці комутації

1.9 Налагодження стільникового інтерфейсу маршрутизатора

Стільниковий інтерфейс налагоджується у три кроки: вибір інтерфейсу, задання режиму отримання адреси та активація. Точне ім'я інтерфейсу залежить від того, у яке гніздо PIM встановлено стільниковий модуль, тому перед налагодженням слід переглянути перелік наявних інтерфейсів командою `show ip interface brief`.

Router(config)# interface Cellular0/4/0
Router(config-if)# ip address negotiated
Router(config-if)# no shutdown

Після активації інтерфейс встановлює зв'язок із базовою станцією та отримує адресу від сервера центрального вузла оператора. Переконатися в цьому можна повторним виконанням команди `show ip interface brief`: у стовпці **IP-Address** має з'явитися адреса з діапазону підмережі оператора, а стовпці **Status** і **Protocol** мають містити значення `up`.

1.10 Налагодження мережних служб

1.10.1 Служба DHCP на маршрутизаторі

Маршрутизатор Cisco може виконувати роль сервера DHCP для під'єднаних до нього мереж. Спершу з динамічного розподілу вилучають адреси, призначені вузлам статично, після чого створюють пул адрес.

```
Router(config)# ip dhcp excluded-address 10.7.1.1 10.7.1.9
Router(config)# ip dhcp pool POOL-OT
Router(dhcp-config)# network 10.7.1.0 255.255.255.192
Router(dhcp-config)# default-router 10.7.1.1
Router(dhcp-config)# dns-server 10.7.2.3
Router(dhcp-config)# domain-name plant.local
```

Перевірити роботу служби можна командами `show ip dhcp pool` та `show ip dhcp binding`, а на робочій станції - командою `ipconfig /all` у вкладці **Desktop → Command Prompt**.

1.10.2 Служби сервера: DNS, HTTP, NTP

Служби сервера налагоджуються у графічному інтерфейсі на вкладці **Services**.

– **DNS** - служба знаходження доменних імен. Вмикається перемикачем **On**, після чого додаються записи типу **A** (відповідність доменного імені IPv4-адресі). У полі **Name** вказують повне доменне ім'я, у полі **Address** - адресу вузла, після чого натискають **Add**;

– **HTTP** - веб-служба. Вмикається перемикачем **On**; вміст сторінки `index.html` можна відредагувати кнопкою **(edit)**;

– **NTP** - служба синхронізації системного часу. Вмикається перемикачем **On**; за потреби вмикається автентифікація та задається ключ.

Клієнтські вузли отримують адресу сервера DNS автоматично - через службу DHCP, або вона задається вручну на вкладці **Desktop → IP Configuration**. Для синхронізації часу маршрутизатора із сервером NTP застосовують команду `ntp server адреса`.

1.10.3 Служба сервера Data Historian

На вкладці **Services** сервера Data Historian службу вмикають перемикачем **On**, задають розмір таблиці бази даних та імпортують підготований файл формату CSV. Після успішного імпорту записи відображаються у таблиці бази даних; їх можна відсортувати за ім'ям пристрою, ім'ям тега або міткою часу.

1.11 Команди моніторингу та діагностики

Таблиця 5

Основні команди моніторингу та діагностики

Команда	Призначення
show version	Модель пристрою, версія та образ IOS, обсяг пам'яті, конфігураційний регістр
show running-config	Поточна конфігурація пристрою
show ip interface brief	Стислий перелік інтерфейсів, їх адрес і станів
show interfaces тип номер	Докладні параметри інтерфейсу: апаратна адреса, MTU, пропускна здатність, затримка, лічильники
show ip route	Таблиця маршрутизації
show cdp neighbors detail	Відомості про безпосередньо під'єднані пристрої Cisco
ping адреса	Перевірка досяжності вузла
traceroute адреса	Визначення маршруту до вузла (`tracert` у Windows)
show ip dhcp binding	Перелік виданих службою DHCP адрес

1.12 Модельний приклад розроблення схеми адресації та налагодження

Розглянемо послідовність дій для варіанта № 7. За вихідними даними (табл. 9) для цього варіанта префікс мережі A дорівнює /26, префікс мережі B - /24, шлюз отримує першу вільну адресу з діапазону.

Крок 1. Обчислення параметрів підмереж.

Мережа	Адреса мережі	Маска	Перша адреса	Остання адреса	Широкомовна
A	10.7.1.0	255.255.255.192	10.7.1.1	10.7.1.62	10.7.1.63
B	10.7.2.0	255.255.255.0	10.7.2.1	10.7.2.254	10.7.2.255

Мережа	Адреса мережі	Маска	Перша адреса	Остання адреса	Широкомовна
C	10.7.3.0	255.255.255.252	10.7.3.1	10.7.3.2	10.7.3.3
D	10.7.3.4	255.255.255.252	10.7.3.5	10.7.3.6	10.7.3.7
E	192.168.7.0	255.255.255.0	192.168.7.1	192.168.7.254	192.168.7.255

Крок 2. Розподіл адрес між вузлами відповідно до правил табл. 12:

– R1, інтерфейс Gi0/0/0 (мережа A) - 10.7.1.1; SW1 - 10.7.1.2; SW2 - 10.7.1.3; DH - 10.7.1.4; PLC1 - 10.7.1.5; HMI1 - 10.7.1.6;

– R3, інтерфейс Gi0/0/1 (мережа B) - 10.7.2.1; SW3 - 10.7.2.2; SRV1 - 10.7.2.3;

– канал C: R1 Gi0/0/1 - 10.7.3.1, R2 Gi0/0 - 10.7.3.2;

– канал D: R2 Gi0/1 - 10.7.3.5, R3 Gi0/0/0 - 10.7.3.6;

– мережа оператора E: R2 Gi0/2 - 192.168.7.1, CO1 - 192.168.7.2; інтерфейс Cellular0/4/0 маршрутизатора R1 та ноутбук NB1 отримують адреси динамічно.

Крок 3. Налагодження маршрутизатора R1.

```
Router> enable
Router# configure terminal
Router(config)# hostname R1
R1(config)# no ip domain-lookup
R1(config)# enable secret Network#2026
R1(config)# service password-encryption
R1(config)# banner motd #Authorized access only!#
R1(config)# line console 0
R1(config-line)#  password Console#2026
R1(config-line)#  login
R1(config-line)# exit
R1(config)# interface GigabitEthernet0/0/0
R1(config-if)#  description --- OT LAN (merezha A) ---
R1(config-if)#  ip address 10.7.1.1 255.255.255.192
R1(config-if)#  no shutdown
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface GigabitEthernet0/0/1
R1(config-if)#  description --- kanal do R2 (merezha C) ---
R1(config-if)#  ip address 10.7.3.1 255.255.255.252
R1(config-if)#  bandwidth 20000
R1(config-if)#  delay 1500
R1(config-if)#  no shutdown
R1(config-if)# exit
R1(config)# interface Cellular0/4/0
```

```
R1(config-if)#  description --- merezha operatora (merezha
E) ---
R1(config-if)#  ip address negotiated
R1(config-if)#  no shutdown
R1(config-if)# exit
R1(config)# ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 10.7.3.2
R1(config)# end
R1# copy running-config startup-config
```

Крок 4. Налагодження служби DHCP для мережі A на маршрутизаторі R1.

```
R1(config)# ip dhcp excluded-address 10.7.1.1 10.7.1.9
R1(config)# ip dhcp pool POOL-OT
R1(dhcp-config)#  network 10.7.1.0 255.255.255.192
R1(dhcp-config)#  default-router 10.7.1.1
R1(dhcp-config)#  dns-server 10.7.2.3
R1(dhcp-config)#  domain-name plant7.local
```

Унаслідок такого налагодження робоча станція `PC1` отримає адресу з діапазону `10.7.1.10 – 10.7.1.62`.

Крок 5. Налагодження комутатора SW1.

```
Switch> enable
Switch# configure terminal
Switch(config)# hostname SW1
SW1(config)# interface vlan 1
SW1(config-if)#  ip address 10.7.1.2 255.255.255.192
SW1(config-if)#  no shutdown
SW1(config-if)# exit
SW1(config)# ip default-gateway 10.7.1.1
SW1(config)# end
SW1# copy running-config startup-config
```

Крок 6. Перевірка. Після налагодження всіх пристроїв перевіряють досяжність вузлів командою `ping` та переглядають таблицю маршрутизації:

```
R1# ping 10.7.2.3
R1# show ip route
R1# show ip interface brief
```

Успішним результатом вважається отримання відповіді від усіх вузлів мережі, зазначених у табл. 15, а також наявність у таблиці маршрутизації записів про безпосередньо під'єднані мережі (позначка `C`) та маршрут за замовчуванням (позначка `S*`).

2. ЗАВДАННЯ НА ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ

Номер варіанта **N** відповідає порядковому номеру студента у списку групи. Проєкт мережі (рис. 2) надається викладачем у вигляді файла Packet Tracer із побудованою топологією; будувати топологію самостійно не потрібно.

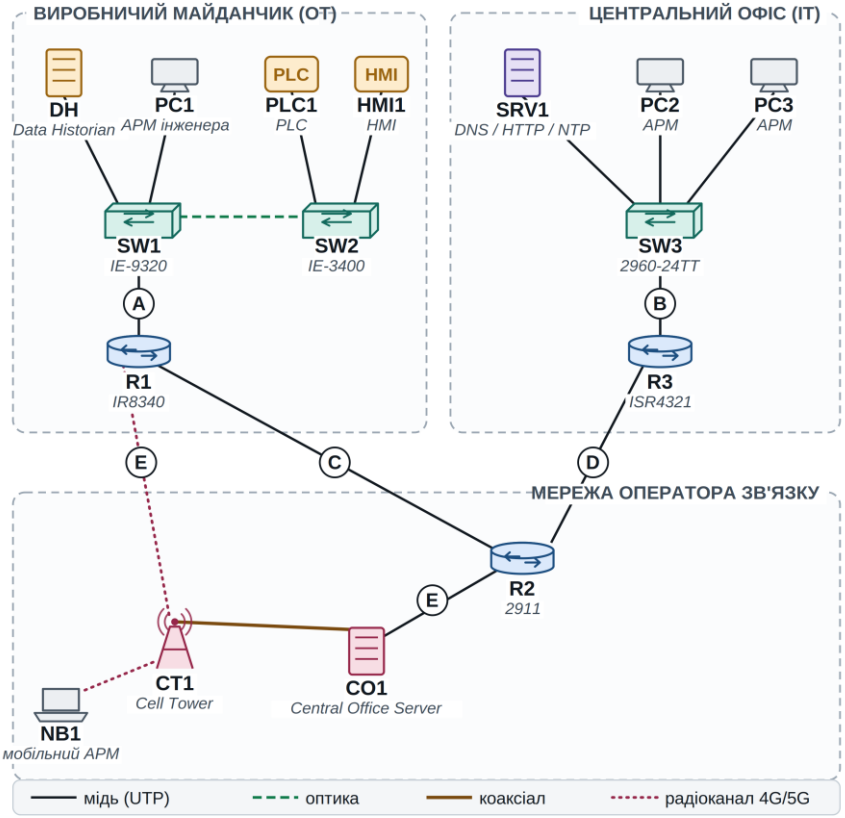


Рис. 2. Топологія мережі

1. Відкрити наданий викладачем файл проєкту мережі. Дослідити топологію: визначити склад обладнання, моделі пристроїв, типи встановлених модулів та типи кабельних з'єднань. Результати навести у вигляді табл. 6 і табл. 7.

2. Визначити основні параметри апаратної частини маршрутизаторів і комутаторів та відомості про встановлені операційні системи. Результати навести у вигляді табл. 14.

3. За вихідними даними табл. 8 і табл. 9 обчислити параметри підмереж A–E: адресу мережі, маску підмережі, першу та останню придатні адреси, широкомовну адресу і кількість придатних адрес. Результати навести у вигляді таблиці.

4. Розробити схему адресації пристроїв мережі відповідно до правил табл. 12. Результати навести у вигляді табл. 13.

5. Виконати базове налагодження маршрутизаторів R1, R2, R3: задати імена пристроїв у вигляді **R чи SW -N-X**, де **N –** номер варіанту за журналом оцінок, X – порядковий номер пристрою у проєкті; паролі доступу, застережний банер. Використати значення пропускної здатності та затримки для каналу C згідно з табл. 10.

6. Налагодити параметри IP-адресації інтерфейсів маршрутизаторів та віртуальних інтерфейсів керування комутаторів SW1, SW2, SW3 відповідно до розробленої схеми адресації.

7. Налагодити стільниковий інтерфейс маршрутизатора R1. Визначити ім'я інтерфейсу, отриману від оператора IP-адресу та стан інтерфейсу. Перевірити досяжність сервера центрального вузла оператора CO1 та мобільного АРМ NB1.

8. Налагодити статичну маршрутизацію між усіма підмережами. Навести вміст таблиць маршрутизації всіх трьох маршрутизаторів.

9. Налагодити службу DHCP для мереж A та B (на маршрутизаторах R1 і R3) і для мережі оператора E (на сервері CO1). Переконатися, що робочі станції PC1, PC2, PC3 та ноутбук NB1 отримали адреси динамічно.

10. Налагодити на сервері SRV1 служби DNS, HTTP та NTP. **Створити записи типу A для всіх серверів мережі у домені `plantN.local`, де *N* - номер варіанта**. Як сервери пересилання вказати адреси публічних серверів DNS свого варіанта (табл. 10 і табл. 11). Перевірити роботу служб із робочої станції PC2.

11. Налагодити сервер Data Historian: увімкнути службу, задати розмір таблиці бази даних. Підготувати у текстовому редакторі файл формату CSV, що містить не менше п'яти записів про значення технологічних тегів, та імпортувати його на сервер. Як ім'я пристрою-джерела вказати **`PLC1`**, як імена тегів - **`TEMP`, `PRESSURE`, `FLOW`.**

12. Перевірити працездатність мережі. Результати перевірки досяжності вузлів навести у вигляді табл. 15. Для двох будь-яких пар вузлів, розташованих у різних сегментах, визначити маршрут проходження пакетів командою **`tracert`**.

13. **Додаткове завдання (за бажанням).** Виконати сегментацію операційної мережі засобами VLAN: створити на комутаторах SW1 і SW2 мережі VLAN з номерами `100 + N` (сегмент керування технологічним процесом) та `200 + N` (сегмент інженерних АРМ), розподілити між ними порти, налагодити магістральний канал між комутаторами та маршрутизацію між мережами VLAN. Навести результати виконання команд `show vlan brief` та `show interfaces trunk`.

Таблиця 6

Склад обладнання мережі

Позначення	Модель	Призначення	Сегмент
R1	IR8340	Маршрутизатор виробничого майданчика	OT
R2	2911	Маршрутизатор оператора зв'язку	WAN
R3	ISR4321	Маршрутизатор центрального офісу	IT
SW1	IE-9320	Комутатор агрегації виробничого майданчика	OT
SW2	IE-3400	Комутатор рівня доступу технологічної ділянки	OT
SW3	2960-24TT	Комутатор центрального офісу	IT
DH	Data Historian	Сервер збирання технологічних даних	OT
PLC1	PLC	Програмований логічний контролер	OT
HMI1	HMI	Панель людино-машинного інтерфейсу	OT
PC1	PC	АРМ інженера-технолога	OT
SRV1	Server	Сервер служб DNS, HTTP, NTP	IT
PC2, PC3	PC	АРМ працівників офісу	IT
CT1	Cell Tower	Базова станція оператора	WAN
CO1	Central Office Server	Сервер центрального вузла оператора	WAN
NB1	Laptop	Мобільний АРМ виїзної бригади	WAN

Таблиця 7

Інтерфейси та з'єднання пристроїв мережі

Ме-режа	Пристрій 1	Інтерфейс 1	Пристрій 2	Інтерфейс 2
A	R1	Gi0/0/0	SW1	Gi1/0/1
A	SW1	Gi1/0/2	SW2	Gi1/0/1
A	SW1	Gi1/0/23	DH	FastEthernet0
A	SW1	Gi1/0/24	PC1	FastEthernet0
A	SW2	Gi1/0/3	PLC1	FastEthernet0
A	SW2	Gi1/0/4	HMI1	FastEthernet0
B	R3	Gi0/0/1	SW3	Gi0/1
B	SW3	Fa0/1	SRV1	FastEthernet0
B	SW3	Fa0/2	PC2	FastEthernet0
B	SW3	Fa0/3	PC3	FastEthernet0
C	R1	Gi0/0/1	R2	Gi0/0
D	R2	Gi0/1	R3	Gi0/0/0
E	R2	Gi0/2	CO1	FastEthernet0
E	CO1	Coaxial0/0	CT1	Coaxial0
E	R1	Cellular0/4/0	CT1	радіоканал
E	NB1	Cellular0	CT1	радіоканал

Примітка. Точні імена інтерфейсів слід перевірити у наданому файлі проєкту командою `show ip interface brief` - вони можуть відрізнятися залежно від гнізда, у яке встановлено модуль.

Таблиця 8

Параметри IP-адресації підмереж

Мережа	Призначення	Адреса мережі	Префікс
A	Мережа виробничого майданчика (OT)	10.*N*.1.0	за табл. 9
B	Мережа центрального офісу (IT)	10.*N*.2.0	за табл. 9
C	Канал R1 – R2	10.*N*.3.0	/30
D	Канал R2 – R3	10.*N*.3.4	/30
E	Мережа оператора зв'язку	192.168.*N*.0	/24

N - номер варіанта (порядковий номер студента у списку групи).

Таблиця 9

Параметри адресації за варіантами

№ варі-анта	Префікс мережі A	Префікс мережі B	Адреса шлюзу в мережах A і B
1	/24	/26	перша
2	/25	/27	остання
3	/26	/24	перша
4	/27	/25	остання
5	/24	/26	перша
6	/25	/27	остання
7	/26	/24	перша
8	/27	/25	остання
9	/24	/26	перша
10	/25	/27	остання
11	/26	/24	перша
12	/27	/25	остання
13	/24	/26	перша
14	/25	/27	остання
15	/26	/24	перша
16	/27	/25	остання
17	/24	/26	перша
18	/25	/27	остання
19	/26	/24	перша
20	/27	/25	остання
21	/24	/26	перша
22	/25	/27	остання
23	/26	/24	перша
24	/27	/25	остання
25	/24	/26	перша
26	/25	/27	остання
27	/26	/24	перша
28	/27	/25	остання
29	/24	/26	перша
30	/25	/27	остання

Таблиця 10

Параметри каналу зв'язку С та служби DNS за варіантами

№ варі-анта	Bandwidth, Кбіт/с	Delay, десятки мкс	Сервер DNS пересилання
1	1024	100	Level3 Communications
2	2048	200	Verisign
3	4096	250	Google
4	8192	500	DNS.WATCH
5	10000	750	Comodo Secure DNS
6	16384	1000	OpenDNS Home
7	20000	1500	DNS Advantage
8	32768	2000	Norton ConnectSafe
9	40000	100	SafeDNS
10	51200	200	OpenNIC
11	64000	250	Securly
12	1024	500	SmartViper
13	2048	750	Dyn
14	4096	1000	FreeDNS
15	8192	1500	Public-Root
16	10000	2000	Alternate DNS
17	16384	100	UncensoredDNS
18	20000	200	ScrubIt
19	32768	250	Quad9
20	40000	500	Neustar
21	51200	750	Cloudflare DNS
22	64000	1000	OpenDNS FamilyShield
23	1024	1500	AdGuard DNS
24	2048	2000	Level3 Communications
25	4096	100	Verisign
26	8192	200	Google
27	10000	250	DNS.WATCH
28	16384	500	Comodo Secure DNS
29	20000	750	OpenDNS Home
30	32768	1000	DNS Advantage

Таблиця 11

Основні публічні сервери DNS

№ з/п	Провайдер	Первинний сервер	Вторинний сервер
1	Level3 Communications	209.244.0.3	209.244.0.4
2	Verisign	64.6.64.6	64.6.65.6
3	Google	8.8.8.8	8.8.4.4
4	DNS.WATCH	84.200.69.80	84.200.70.40
5	Comodo Secure DNS	8.26.56.26	8.20.247.20
6	OpenDNS Home	208.67.222.222	208.67.220.220
7	DNS Advantage	156.154.70.1	156.154.71.1
8	Norton ConnectSafe	198.153.192.40	198.153.194.40
9	SafeDNS	195.46.39.39	195.46.39.40
10	OpenNIC	74.207.247.4	64.0.55.201
11	Securly	184.169.143.224	184.169.161.155
12	SmartViper	208.76.50.50	208.76.51.51
13	Dyn	216.146.35.35	216.146.36.36
14	FreeDNS	37.235.1.174	37.235.1.177
15	Public-Root	199.5.157.131	208.71.35.137
16	Alternate DNS	198.101.242.72	23.253.163.53
17	UncensoredDNS	91.239.100.100	89.233.43.71
18	ScrubIt	67.138.54.100	207.225.209.66
19	Quad9	9.9.9.9	149.112.112.112
20	Neustar	156.154.70.1	156.154.71.1
21	Cloudflare DNS	1.1.1.1	1.0.0.1
22	OpenDNS FamilyShield	208.67.222.123	208.67.220.123
23	AdGuard DNS	94.140.14.14	94.140.15.15

Таблиця 12

Правила призначення адрес вузлам мережі

Пристрій	Мережа	Адреса
R1, інтерфейс Gi0/0/0	A	1-ша адреса діапазону
SW1 (інтерфейс VLAN 1)	A	2-га адреса діапазону
SW2 (інтерфейс VLAN 1)	A	3-тя адреса діапазону
DH	A	4-та адреса діапазону
PLC1	A	5-та адреса діапазону
HMI1	A	6-та адреса діапазону
PC1	A	динамічно (DHCP)
R3, інтерфейс Gi0/0/1	B	1-ша адреса діапазону
SW3 (інтерфейс VLAN 1)	B	2-га адреса діапазону
SRV1	B	3-тя адреса діапазону
PC2, PC3	B	динамічно (DHCP)
R1, інтерфейс Gi0/0/1	C	1-ша адреса діапазону

Пристрій	Мережа	Адреса
R2, інтерфейс Gi0/0	C	2-га адреса діапазону
R2, інтерфейс Gi0/1	D	1-ша адреса діапазону
R3, інтерфейс Gi0/0/0	D	2-га адреса діапазону
R2, інтерфейс Gi0/2	E	192.168.*N*.1
CO1	E	192.168.*N*.2
R1, інтерфейс Cellular0/4/0	E	динамічно (negotiated)
NB1	E	динамічно (DHCP)

Примітка. Для мереж A і B порядок призначення адрес визначається варіантом (табл. 9). Якщо шлюз отримує **останню** придатну адресу діапазону, то всі наступні адреси відлічуються від кінця діапазону: 2-га адреса означає передостанню, 3-тя - третю з кінця і так далі. Для мереж C і D відлік завжди ведеться від початку діапазону. З динамічного розподілу вилучаються перші дев'ять адрес діапазону (або останні дев'ять, якщо шлюз отримує останню адресу): шість із них призначаються статично, три лишаються в резерві. Вилучення виконується командою **`ip dhcp excluded-address`**.

Результати виконання роботи оформити у вигляді табл. 13–15.

Таблиця 13

Схема адресації пристроїв мережі

Пристрій	Інтерфейс	IP-адреса	Маска підмережі	Шлюз

Таблиця 14

Параметри обладнання мережі

Параметр	R1	R2	R3	SW1	SW3
Модель пристрою					
Модель процесора					
Обсяг пам'яті RAM, Мб					
Обсяг пам'яті NVRAM, Кб					
Обсяг пам'яті Flash, Мб					
Конфігураційний регістр					

Параметр	R1	R2	R3	SW1	SW3
Версія IOS					
Образ IOS					
Кількість інтерфейсів Gigabit Ethernet					
Кількість інтерфейсів Cellular					

Таблиця 15

Результати перевірки досяжності вузлів мережі

Джерело	Призначення	Результат (ping)	Середній час відгуку, мс
PC1	DH		
PC1	HMI1		
PC1	SRV1		
PC2	DH		
PC2	PLC1		
PC2	R1 (Gi0/0/0)		
NB1	DH		
NB1	SRV1		
R1	R3 (Gi0/0/1)		
R1	CO1		

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Тема, мета роботи та номер варіанта.
2. Схема проєкту мережі з позначенням підмереж, пристроїв та інтерфейсів.
3. Заповнені табл. 6 і табл. 7 - склад обладнання та перелік з'єднань.
4. Розрахунок параметрів підмереж A–E за варіантом.
5. Заповнена табл. 13 - схема адресації пристроїв мережі.
6. Конфігураційні файли маршрутизаторів R1, R2, R3 (результат виконання команди `show running-config`).
7. Таблиці маршрутизації всіх трьох маршрутизаторів.
8. Знімки екрана, що підтверджують роботу служб DHCP, DNS, HTTP, NTP та сервера Data Historian.
9. Заповнені табл. 14 і табл. 15.
10. Висновки щодо виконаної роботи.

Надіслати звіт та виконаний файл проєкту (*.pka) мережі викладачу на пошту.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Інформаційні (IT) та операційні (OT) технології: призначення, відмінності у вимогах до мережі.

2. Еталонна модель Purdue: рівні та їх призначення.

3. Промислова демілітаризована зона: призначення та принципи побудови.

4. Особливості промислового мережного обладнання порівняно з офісним.

5. Маршрутизатори серії Cisco IR: моделі, інтерфейси, модулі розширення.

6. Комутатори серії Cisco IE: моделі, склад портів, функціональні можливості.

7. Моделювання мережі мобільного оператора в Packet Tracer: склад обладнання та принцип роботи.

8. Стільникові модулі маршрутизаторів Cisco. Порядок налагодження стільникового інтерфейсу.

9. Призначення та принцип роботи сервера Data Historian. Формат файла CSV для імпорту даних.

10. Протоколи промислових мереж: Modbus, CIP, PROFINET, OPC-UA.

11. Протоколи забезпечення надлишковості PRP та REP: відмінності між ними.

12. Протокол PTP: призначення та галузь застосування.

13. Порядок розроблення схеми IP-адресації мережі. Обчислення кількості придатних адрес підмережі.

14. Чому для каналів «точка - точка» застосовують префікс /30?

15. Порядок та основні команди базового налагодження маршрутизатора Cisco.

16. Віртуальний інтерфейс мережі (SVI) комутатора: призначення та налагодження.

17. Статична маршрутизація. Маршрут за замовчуванням.

18. Служба DHCP: призначення, порядок налагодження на маршрутизаторі Cisco.

19. Призначення команди `ip dhcp excluded-address`.

20. Служби DNS, HTTP та NTP: призначення та порядок налагодження в Packet Tracer.