

**П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко**

**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНІ  
МЕРЕЖІ**

*Затверджено Міністерством освіти і науки України  
як підручник для студентів  
вищих навчальних закладів*

**Київ  
САММІТ-Книга  
2010**

**УДК**

**ББК**

**Рецензенти: Балашов В.А.**, доктор техн. наук, професор,  
**Курмашев Ш.Д.**, доктор фіз-мат. наук,  
професор

Телекомунікаційні та інформаційні мережі : Підручник  
[для вищих навчальних закладів] / П.П. Воробієнко,  
Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: САММІТ-Книга, 2010. –  
708 с.: іл.

**ISBN**

У підручнику системно розглянуто: принципи побудови, функціонування мереж та мережевих сегментів, механізми надання ними послуг; базові телекомунікаційні технології; динаміка розвідку мережевих концепцій. Наведено технологічні особливості і обладнання транспортних мереж, мереж доступу, інтермереж, мереж підприємств та установ. Значна увага надається мережевим стандартам й питанням коректної, професійної термінології.

Для студентів вузів, які навчаються за напрямом «Телекомунікації» (Гриф МОН України від 19.12.08, № 14/18-п 2757). Може бути корисним для аспірантів і робітників підприємств зв'язку.

# Стислий зміст

Звернення до студентів

Вступ

## **Частина I. Загальні принципи побудови мереж**

Розділ 1. Загальні відомості

Розділ 2. Основні поняття і визначення

Розділ 3. Моделі системного опису мережевої архітектури

Розділ 4. Стандарти протокольних моделей

Розділ 5. Принципи побудови телекомунікацій

Розділ 6. Математичні моделі та методи синтезу і аналізу телекомунікаційних мереж

## **Частина II. Принципи функціонування мереж**

Розділ 7. Базові телекомунікаційні технології

Розділ 8. Мережеві концепції. Динаміка розвитку мереж

Розділ 9. Транспортні мережі

Розділ 10. Мережі доступу

Розділ 11. Інтермережі

Розділ 12. Мережі підприємств

## **Частина III. Мережеві служби. Послуги мережі. Мережеві застосовання.**

Розділ 13. Загальні поняття та визначення

Розділ 14. Мережеві служби

Розділ 15. Послуги мережі

Розділ 16. Конвергентні платформи надання послуг

Розділ 17. Відкритий доступ до послуг

Розділ 18. Мережеві застосовання

Бібліографічний список

Список скорочень

Предметний покажчик

# Зміст

Звернення до студентів .....	
Вступ .....	
<b>Частина I. Загальні принципи побудови мереж .....</b>	
<b>Розділ 1. Загальні відомості .....</b>	
1.1 Мережі операторів.....	
1.2. Інтернет-сервіс-провайдинг .....	
1.3. Мережі підприємств та установ.....	
Контрольні питання.....	
<b>Розділ 2. Основні поняття і визначення .....</b>	
2.1. Телекомунікаційна мережа.....	
Параметри ефективності телекомунікаційної мережі .....	
2.2. Інформаційна мережа.....	
Інформаційні процеси .....	
Кінцеві системи .....	
Ресурси інформаційної мережі .....	
Параметри оцінки ефективності інформаційної мережі .....	
2.3. Конвергенція мереж, технологій та послуг .....	
2.4. Інфокомунікаційна мережа.....	
2.5. Глобальна інформаційна інфраструктура .....	
Контрольні питання .....	
<b>Розділ 3. Моделі системного опису мережевої архітектури</b>	
3.1. Поняття архітектури мережі.....	
3.2. Моделі топологічної структури .....	
Топологія фізичних зв'язків.....	
Топологія логічних зв'язків .....	



3.3	Моделі організаційної структури мережі .....
	Елементи моделі організаційної структури .....
	Рольове призначення вузлових пунктів в моделі організаційної структури.....
3.4.	Моделі логічної структури мережі .....
	Функціональна модель.....
	Функціональні модулі .....
	Протокольна модель .....
	Модель програмного забезпечення .....
3.5.	Компоненти і моделі фізичної структури мережі .....
	Узагальнена модель апаратурної реалізації функцій та об'єктів .....
	Активне обладнання мережі .....
	Пасивне обладнання мережі .....
	Контрольні питання.....
<b>Розділ 4.</b>	<b>Стандарти протокольних моделей .....</b>
4.1.	Проблеми стандартизації мереж.....
4.2.	Розробники стандартів.....
4.3.	Еталонна модель OSI/ISO .....
4.4.	Принцип інкапсуляції даних в моделі OSI/ISO..
4.5.	Промисловий стандарт стека протоколів TCP/IP
4.6.	Переваги та недоліки моделей ISO/OSI і TCP/IP
	Переваги моделі OSI .....
	Недоліки моделі OSI .....
	Переваги моделі TCP/IP.....
	Недоліки моделі TCP/IP .....
	Контрольні питання.....

<b>Розділ 5.</b>	Принципи побудови телекомунікацій.....
5.1.	Сегментний підхід в побудові мереж.....
	Виокремлення сегментів за масштабом охоплюваної території .....
	Виокремлення сегментів на основі декомпозиції транспортної функції .....
	Виокремлення сегментів за технологічною ознакою.....
5.2.	Побудова сегментів фізичного рівня.....
	Повнозв'язна топологія .....
	Спільне комунікаційне середовище .....
	Вузлоутворення .....
5.3.	Побудова сегментів канального рівня.....
5.4.	Побудова сегментів мережевого рівня.....
5.5.	Узагальнені характеристики сегментів .....
5.6.	Поєднання сегментів мережі .....
	Контрольні питання.....
<b>Розділ 6.</b>	Математичні моделі та методи синтезу і аналізу телекомунікаційних мереж .....
6.1.	Загальне поняття про задачі синтезу та аналізу
6.2.	Моделювання зв'язувальної мережі як об'єкта синтезу та аналізу .....
6.3.	Задачі синтезу телекомунікаційних мереж.....
	Синтез зв'язувальної мережі мінімальної вартості .....
	Визначення оптимального місця розташування опорного вузла в кабельній мережі абонентського доступу .....

Визначення оптимального місця розташування базової станції в мережі стаціонарного радіодоступу .....	
Визначення циклу найменшої довжини для організації транспортного кільця.....	
6.4. Задачі аналізу телекомунікаційних мереж.....	
Знаходження найкоротшого шляху в зв'язувальній мережі.....	
Визначення множини шляхів заданої транзитності .....	
6.5. Задачі про потоки .....	
Контрольні питання.....	

## **Частина II. Принципи функціонування мереж .....**

### **Розділ 7. Базові телекомунікаційні технології .....**

7.1 Поняття технології в телекомунікація.....	
7.2. Технології синхронного режиму перенесення ...	
Синхронне часове мультиплексування .....	
Мультиплексування мовленнєвих сигналів .....	
Мультиплексування потоків даних .....	
Комутація каналів .....	
Технологія ISDN .....	
7.3 Технології асинхронного режиму перенесення .	
Принцип комутації пакетів .....	
Способи передавання пакетів у телекомунікаційній мережі .....	
Технологія X.25 .....	
Особливості формування пакетів мовленнєвих повідомлень .....	

Технологія ретрансляції фреймів (Frame Relay) .	
Передавання й комутація комірок.	
Технологія АТМ .....	
Технологія Ethernet .....	
Безпроводові локальні мережі Ethernet .....	
Контрольні питання.....	
<b>Розділ 8. Мережеві концепції. Динаміка розвітку мереж ....</b>	
8.1 Концепція Єдиної автоматизованої мережі зв'язку (ЄАМЗ).....	
8.2 Концепція цифрової мережі інтегрального обслуговування (ISDN).....	
Вузькосмугова ISDN .....	
Засоби реалізації N-ISDN .....	
Інтерфейси N-ISDN .....	
Термінали ISDN. Еталонна конфігурація інтерфейсу користувач-мережа» .....	
Широкосмугова ISDN .....	
Види широкосмугового сервісу .....	
Еталонна конфігурація інтерфейсу “користувач-мережа” .....	
Еталонна модель протоколів В-ISDN .....	
8.3 Концепція інтелектуальної мережі (IN).....	
Елементи мережі .....	
Модель обслуговування IN-виклику .....	
Концептуальна модель IN .....	
8.4 Концепції керування мережами (TMN і TINA)..	
Основні положення концепції TMN .....	
Основні положення концепції TINA .....	
8.5. Концепції мереж наступного покоління (NGN).	

8.6. Основні тенденції розвитку телекомунікацій....	
Контрольні питання.....	
<b>Розділ 9.</b> Транспортні мережі.....	
9.1. Різновиди транспортних сегментів.....	
9.2. Організація транспорту в сегментах LAN .....	
СФТТ на основі розподільчих середовищ .....	
СФТТ на комутованій топології .....	
9.3. Транспортні мережі METRO.....	
Телекомунікаційні технології та устаткування	
фізичного рівня METRO .....	
Цифрова ієрархія .....	
Технологія PDH .....	
Технологія SDH .....	
Щільне хвильове мультиплексування DWDM	
Фотонні технології та обладнання оптичних	
мереж .....	
Телекомунікаційні технології та обладнання	
канального рівня METRO .....	
Магістральні комутатори .....	
9.4. Транспортні мережі METRO на основі	
обладнання повністю оптичних мереж.....	
Проста багатохвильова лінія зв'язку .....	
AON із комутацією каналів .....	
AON із комутацією пакетів .....	
9.5. Транспортні мережі CORE .....	
Технологія MPLS .....	
Технологія GMPLS .....	
9.6. Мультисервісні транспортні мережі.....	
Контрольні питання.....	

<b>Розділ 10.</b>	Мережі доступу .....
10.1.	Мережі абонентського провідного доступу..
	Технології та обладнання цифрової
	абонентської лінії .....
	Широкопasmовий доступ через систему
	SATV .....
	Широкопasmовий доступ на основі волоконно-
	оптичного кабелю.....
10.2.	Мережі абонентського безпроводного доступу
	.....
	Вузькопasmові безпроводні закінчення .....
	Широкопasmові безпроводні абонентські
	закінчення.....
	Технологія WiMAX.....
10.3.	Мережі мобільного доступу .....
	Специфікації технологій стільникового
	зв'язку .....
	Мобільний WiMAX .....
10.4.	Архітектура мереж доступу.....
	Узагальнена архітектура та модель мережі
	доступу.....
	Ієрархія мереж доступу.....
10.5.	Мультисервісний доступ .....
	Міжсегментні інтерфейси .....
	Контрольні питання.....
<b>Розділ 11.</b>	Інтермережі .....
11.1.	IP-мережі і TCP/IP-мережі.....
11.2.	Протокол міжмережевого взаємодії .....

	IP-адреси .....
	Підмережі та маски підмереж .....
	Загальні та приватні адреси.....
	Динамічні та статичні IP-адреси. DHCP .....
	Доменні імена .....
	Формат IP-пакету (датаграми) .....
	Протокол розв'язування адрес ARP .....
11.3.	Організаційна структура Інтернету .....
11.4.	Методи та протоколи маршрутизації .....
	Таблиці маршрутизації .....
	Автоматична побудова таблиць маршрутизації .....
	.....
	Алгоритми та протоколи маршрутизації .....
	Безкласова міждоменна маршрутизація CIDR .....
	Протокол BGP .....
11.5.	Протоколи транспортного рівня в мережах
	TCP/IP .....
	Протокол UDP .....
	Протокол TCP .....
	Контрольні питання.....
<b>Розділ 12.</b>	<b>Мережі підприємств.....</b>
12.1.	Особливості побудови мереж підприємств .....
12.2.	Термінальне устаткування мереж підприємств .....
12.3.	Технології та устаткування телекомунікаційних мереж підприємств.....
12.4.	Структуровані кабельні системи будівель.....
12.5.	Організація віддаленого доступу в мережах підприємств.....

Фізичні інтерфейси апаратури класів	
DTE-DCE .....	
Апаратура з'єднання DTE з фізичним середо-	
вищем зовнішнього каналу передавання .....	
Схема віддаленого доступу «комп'ютер-	
мережа».....	
Схема організації доступу до ресурсів	
глобальної мережі .....	
Схема віддаленого доступу «мережа-мережа»	
12.4. Еволюція сервісів Carrier Ethernet .....	
Технологія VPLS .....	
Контрольні питання.....	

### **Частина III. Мережеві служби. Послуги мережі.**

#### **Мережеві застосування.....**

#### **Розділ 13. Загальні поняття та визначення .....**

13.1. Послуги, служби та програми .....

13.2. Категорії клієнтів та абонентів мережі .....

Контрольні питання.....

#### **Розділ 14. Мережеві служби .....**

14.1 Хронологія розвитку мережевого сервісу .....

14.2. Специфікація служб за режимами надання  
  послуг користувачам .....

14.3. Аспекти якості обслуговування .....

  Характеристика мережевого трафіку .....

  Контрольні питання.....

#### **Розділ 15. Послуги мережі .....**

15.1. Телекомунікаційні та інформаційні послуги...

  Телекомунікаційні послуги .....



	Інформаційні послуги .....
15.3.	Послуги TCP/IP-мереж .....
	Послуги передавання даних .....
	Голосова послуга VoIP .....
	Послуга IPTV .....
15.4.	Конвергентні послуги .....
15.5.	Концепції Triple Play, Quad Play .....
15.6.	Інфокомунікаційні послуги .....
	Відмінні особливості інфокомунікаційних послуг .....
	Вимоги до платформи надання інфокому- нікаційних послуг .....
	Контрольні питання.....
<b>Розділ 16.</b>	<b>Конвергентні платформи надання послуг .....</b>
16.1.	Загальна характеристика технологій створення конвергентних платформ .....
16.2.	Концепція IMS .....
	Архітектура IMS .....
16.3.	Стандартизація IMS.....
16.4.	Перспективи впровадження UMA та IMS .....
	Контрольні питання.....
<b>Розділ 17.</b>	<b>Відкритий доступ до послуг.....</b>
17.1.	Відкриті стандарти інтерфейсів прикладного програмування .....
17.2.	Концепція відкритого доступу до послуг (OSA)
17.3.	Архітектура OSA/Parlay.....
	Контрольні питання.....
<b>Розділ 18.</b>	<b>Мережеві застосування.....</b>
18.1.	IP-телефонія .....

Стандарти IP-телефонії.....	
IP-телефонія в мережах наступного покоління	
Нові послуги IP-телефонії.....	
Інтеграція систем адресації E.164 і DNS	
на основі ENUM .....	
Централізовані розрахункові центри.....	
18.2. Глобальна система персонального зв'язку Skype	
Технологія пірінгових мереж P2P .....	
Голосові послуги системи Skype .....	
Користувацький інтерфейс Skype-клієнта .....	
Термінальне устаткування Skype .....	
18.3. Мережеве керування .....	
Контрольні питання.....	
Бібліографічний список .....	
Список скорочень .....	
Предметний покажчик .....	

## **Звернення до студентів**

### *Шановний студенте!*

Я, від імені компанії Synergia, яка представляє в Україні швейцарську торгівельну марку R&M, вітаю Вас у світі кабельних мереж. Це великий світ, який сам по собі є мережа - переплетіння різноманітних технологій, програмного забезпечення, обладнання, людей та знань. Це великий світ, який забезпечує рух та функціонування дуже складних процесів. Його можна порівняти з організмом людини, в якому кожна складова є важливою і навіть маленький елемент може вплинути на роботу цілої системи. Але це чарівний світ і Вас тут чекає дуже багато цікавого.

Працюючи на ринку структурованих кабельних мереж більше 15 років, я хочу звернути Вашу увагу, що це дуже перспективний напрямок і отримані Вами знання знадобляться Вам, коли Ви вийдете на ринок праці. Такі фахівці мають попит, потрібні сьогодні і цей попит з роками буде тільки зростати. Здебільшого, Ви будете отримувати сучасні знання і йти в ногу з науково-технологічним прогресом, отримуючи інформацію з перших рук. Компанії Synergia активно співпрацює з Одеською Національною Академією Зв'язку вже більше 5 років. Разом ми облаштували спеціальний навчальний клас, де представлене обладнання швейцарської торгівельної марки R&M. Тут є все необхідне, щоб вчитися працювати на найсучаснішому обладнанні найвищої якості.

Крім того, компанія Synergia та ОНАЗ має спеціальну заохочувану програму, тобто ми готові підтримувати та надавати додаткові стипендії тим, хто показує гарні результати в навчанні.

І на цьому ми не зупиняємось. Ми завжди готові працювати з молодими, перспективними студентами. І в нашій компанії вже працюють випускники Одеської Національної Академії Зв'язку. Ми можемо почати співпрацювати з Вами будь-якої миті. Якщо Ви маєте пропозиції або цікаві ідеї, пишіть нам на електронну адресу: [marketing@synergia.ua](mailto:marketing@synergia.ua).

Тепер ми з Вами в одній мережі і тому я хочу побажати Вам успіхів та настроїти Вас на активну роботу!

**З повагою,**



**Петро Резніченко,  
Директор компанії  
SynergiaSE  
Ексклюзивний  
дистрибутор  
R&M рішень в  
Україні**

## Вступ

Розгортаючи цей підручник, Ви прилучаєтеся до надзвичайно цікавої та важливої сфери людських знань, яку останнім часом називають інфокомунікаціями. Засвоєння здобутків цієї галузі допоможе Вам отримати престижну та перспективну ще багато років професію зв'язківця, що, у свою чергу, може стати основою успішності Вашого життя та добробуту.

Сучасний зв'язківець – це не просто інженер, це будівельник глобального інформаційного суспільства (ГІС), від зусиль якого залежить науково-технічний прогрес як його країни, так і всього людства.

Рівень інформатизації будь-якої країни, ступінь її залучення до ГІС визначається передусім розвитком інфокомунікацій. Основу інфокомунікацій формують інформаційні мережі, які, у свою чергу, базуються на телекомунікаційних мережах. Це найскладніші й найбільш інтелектуально насичені витвори людського розуму та рук.

На шляху еволюційного розвитку телекомунікаційних мереж прийнято виокремлювати три етапи: аналоговий, цифровий та етап телекомунікаційно-комп'ютерної інтеграції.

Перший етап характеризує епоху аналогової телефонії. Зусиллями багатьох поколінь науковців і виробників було створено світову мережу телефонного зв'язку, де середовищем передавання переважно були мідні кабелі. Багатоканальні системи передавання будували за принципом частотного розподілу телефонних каналів. Розподіл інформації здійснювався за принципом комутації каналів із

використанням електромеханічних (декадно-крокових, координатних) або в кращому випадку квазіелектронних автоматичних телефонних станцій. В Україні до 1991 року також існувала аналогова мережа зв'язку, яка в основному задовольняла потреби населення, народного господарства, громадських інститутів у послугах електричного зв'язку.

Зародження етапу цифрового зв'язку розпочато з моменту формулювання та доведення теореми Котельникова (1933 рік), яка оголосила принцип дискретизації аналогового сигналу та розробки основ теорії потенційної завадостійкості (1946 рік). Цифрове кодування дискретних відліків амплітуд аналогового сигналу та подальше передавання їх каналами зв'язку дали змогу реалізувати принципово інший, не аналоговий, а цифровий спосіб передавання сигналів.

На початковому етапі теоретичні та експериментальні дослідження в галузі цифрового зв'язку проводилися без будь-якого впровадження, тому що практична реалізація незмінно наштовхувалася на величезні габарити, високу вартість та низьку надійність апаратури цифрового зв'язку. Однак наукові результати були вражаючими: засновано потужну теорію цифрового зв'язку. І коли досягнення мікро-, нано- та оптоелектроніки уможливили створення апаратури цифрового зв'язку, яка за розмірами стала набагато мініатюрнішою, ніж апаратура аналогового зв'язку, до того ж більш надійною та дешевою, розпочався етап її бурхливого впровадження. Це було яскравим прикладом того, як наука значніше випередила практику. Досягнення в цих сферах і сьогодні залишаються дуже актуальними та необхідними. За розробку високоефективних технологій у галузі оптоелектроніки та

побудову комунікаційних мереж на їх основі ряду вчених Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова нагороджено Державною премією у сфері науки та техніки України у 2009 році.

Із появою нових телекомунікаційних технологій, орієнтованих на пакетний спосіб передавання інформації, використання різних середовищ передавання (оптичне волокно, радіочастотний ресурс) та забезпечення мобільності зв'язку, виникла можливість суттєво підвищити продуктивність, ефективність та якість обслуговування телекомунікаційних мереж, а також розширити діапазон послуг, які ними надаються.

Етап телекомунікаційної-комп'ютерної інтеграції ознаменувався успіхами як у галузі електроніки, так і комп'ютерних технологій. Створення високопродуктивних, малогабаритних і відносно недорогих комп'ютерів, інтеграція їх із телекомунікаціями у якості термінальних і комунікаційних пристроїв, а також досягнення в галузі інформаційних технологій стали підґрунтям створення інформаційних мереж. Це дало змогу накопичувати в електронному вигляді, зберігати й обробляти величезні ресурси інформації та надавати її користувачам за їх запитом у зручний для них час. Бурхливий розвиток і глобалізація інформаційних мереж дали людству Інтернет, без якого ми сьогодні не можемо уявити свого існування.

Цей підручник є підсумком багаторічного викладання однойменної дисципліни в Одеській національній академії зв'язку (ОНАЗ) ім. О.С. Попова. Дисципліна «Телекомунікаційні та інформаційні мережі» належить до

циклу базових дисциплін підготовки бакалаврів за напрямом «Телекомунікації». Оскільки ОНАЗ ім. О.С. Попова є провідним вищим навчальним закладом із розробки навчальних планів даного напрямку в Україні, автори визнали за необхідне взяти на себе особливу відповідальність за підбір матеріалів для підручника та його написання. Зміст підручника багаторазово обговорювався як на семінарах і конференціях, так і в студентських аудиторіях та неформальних дискусіях.

Підручник має на меті подати *загальносистемне уявлення* про телекомунікаційні та інформаційні мережі, про технології, які застосовують для їх побудови та послуги, які вони можуть надавати.

Підручник складається з трьох частин, кожна з яких містить шість розділів. Кожен розділ завершено контрольними питаннями для перевірки знань.

У першій частині викладено загальні принципи побудови мереж, роз'яснено основні поняття та визначення, моделі опису мережевої архітектури, стандарти протокольних моделей, принципи побудови телекомунікацій, а також математичні моделі, методи аналізу та синтезу телекомунікаційних мереж.

У другій частині подано принципи функціонування мереж, вивчаються базові телекомунікаційні технології та мережеві концепції де вони використовуються. Особливу увагу зосереджено на технологіях та устаткуванні основних сегментів телекомунікаційних мереж, а саме: мережах доступу та транспортних мереж, а також на принципах і протоколах міжмережевої взаємодії в глобальній мережі Інтернет. В останньому розділі цієї частини вивчаються особливості



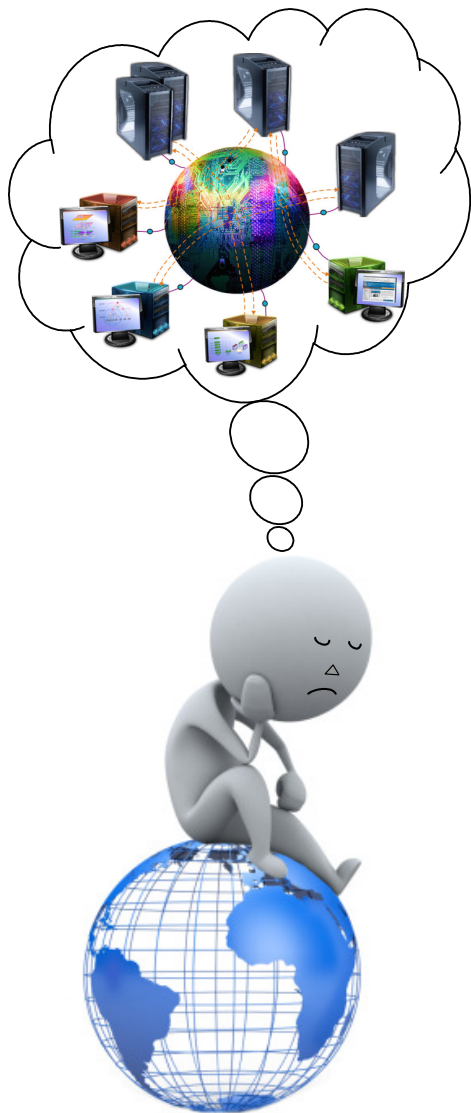
організації та функціонування мереж підприємств та установ, які на сучасному етапі виокремлено в самостійний клас.

Третю частину присвячено дуже важливій проблемі, яка зараз є особливо актуальною. Це мережеві служби та послуги, а також мережеві застосовання. Тут детально розглядаються всі аспекти мережевого сервісу, зокрема якість обслуговування, бізнес-моделі та ресурсні платформи надання послуг наявних і перспективних мереж зв'язку та їх конвергенція.

Особлива увага надається організації відкритого доступу до послуг, що є одним із найбільш важливих напрямків розробки стандартів для впровадження нових послуг та застосовань. Саме стандартизація відкритого доступу дає змогу розробляти необмежену кількість нових застосовань, без урахування особливостей мережевих середовищ. В останньому розділі цієї частини розглядаються найбільш типові та розвинені мережеві застосовання.

Автори щиро вдячні Пономаренко Інні Валеріївна за допомогу в підготовці рукопису до друку, а також Шулаковій Катерині Сергіївні за художнє оформлення графічного матеріалу.

Професор, доктор технічних наук Воробієнко П.П.



# ЧАСТИНА І

## Загальні принципи побудови мереж

**Розділ 1.** Загальні відомості

**Розділ 2.** Основні поняття і  
визначення

**Розділ 3.** Моделі системного  
опису мережевої  
архітектури

**Розділ 4.** Стандарти  
протокольних моделей

**Розділ 5.** Принципи побудови  
телекомунікацій

**Розділ 6.** Математичні моделі та  
методи синтезу і  
аналізу  
телекомунікаційних  
мереж

## Розділ 1. Загальні відомості

В умовах ринкової економіки суб'єктами підприємницької діяльності у галузі телекомунікацій виступають *мережеві оператори та сервіс-провайдери* (постачальники послуг). Вони забезпечують побудову мереж зв'язку *загального користування*, так званих **публічних мереж** (Public Network). Ці мережі призначені постачати послуги зв'язку широкому колу користувачів різних категорій.

Окремим класом виділяють **мережі підприємств**, що належать компаніям та установам, бізнес-інтереси яких, виходять за межі ринку телекомунікацій.

Нижче розглядаються відмінні риси мереж суб'єктів діяльності на ринку телекомунікацій.

### 1.1. Мережі операторів

**Оператором мережі** (Network Operator) називається компанія, яка є власником телекомунікаційної інфраструктури та бере на себе всі витрати щодо забезпечення її працездатності з заданим рівнем якості обслуговування. Її ще називають *мережевим оператором*, або просто *оператором*.

Кінцевим продуктом діяльності мережевого оператора є надання послуг з транспортування інформації його мережею. Ці послуги називаються **телекомунікаційними послугами** (Telecommunication Services ) та надаються як кінцевим користувачам мережі, так і іншим мережевим операторам, забезпечуючи їх транзитною можливістю з передачі трафіку через свої мережі.

У зв'язку з цим мережі операторів прийнято називати **телекомунікаційними мережами** (“теле-” в перекладі з давньогрецької означає “далеко”). Їх основним завданням є забезпечення можливості віддаленорозташованих об'єктів обмінюватися інформаційними повідомленнями (див. розділ 2).

Створюючи мережу загального користування, оператор зобов'язаний забезпечити в будь-якому місці мережі, до якого під'єднано кінцеві пристрої, *стандартний інтерфейс* (точку з'єднання).

Розрізняють операторів *фіксованого* та *мобільного* (стільникового) зв'язку.

**Оператори фіксованого зв'язку** (Fixed Communication Operators) організують стаціонарні мережі, в яких комунікаційне обладнання та пристрої користувачів розміщуються в стаціонарних пунктах мережі.

**Оператори мобільного зв'язку** (Mobile Communication Operators) створюють мережеве покриття території, розміщуючи свої базові станції за стільниковою схемою в стаціонарних або рухомих пунктах, забезпечуючи тим самим можливість вільного переміщення абонентів у зоні покриття.

Серед основних тенденцій розвитку ринку стільникового зв'язку найприкметнішою є поява так званих **віртуальних операторів** (Virtual operators). Це компанії, які не мають власних мережевих ресурсів, займаються в основному маркетинговою діяльністю й у вигляді пакетів популярних послуг на основі гнучкої тарифної сітки реалізують їх клієнтам під своєю торговою маркою. Реалізацію ж послуг виконує мережевий оператор, з яким віртуальний оператор вступає у договірні відносини з частковою участю в прибутку від

продажу послуг. Оператор, якому належить мережеве обладнання, при цьому повністю зосереджує свою діяльність на підтримці високого рівня його працездатності.

У період лібералізації ринків основні інтереси всіх операторів зосереджуються на пошуку нових ринкових форм комплексних рішень щодо розширення послуг, які надаються користувачам. Для операторів фіксованих мереж таким рішенням є надання мобільного доступу своїм абонентам. Операторові мобільного зв'язку фіксована мережа дозволяє стати постачальником повного набору послуг. Доступність комбінації мобільного та фіксованого доступу, надання широкосмугового доступу, а також послуг передачі даних забезпечують ідеальні умови виживання операторів зв'язку в умовах високої конкуренції на ринку телекомунікацій (див. рис. 1.1).

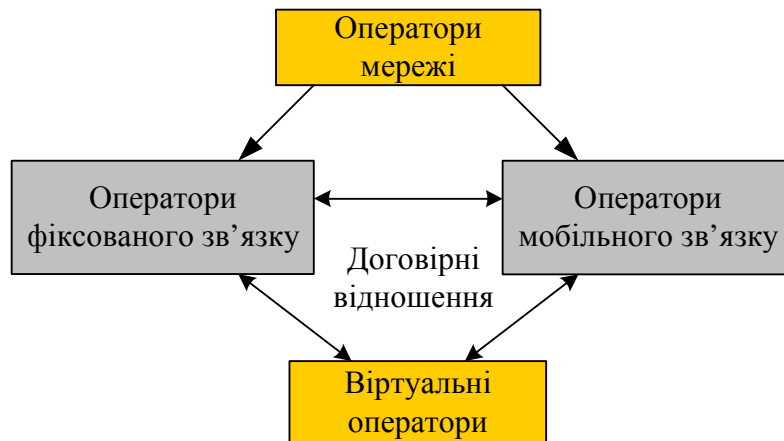


Рисунок 1.1. Класифікаційна схема взаємодії між операторами

## 1.2. Інтернет-сервіс-провайдинг

У зв'язку з бурхливим розвитком Інтернету стрімко зростає популярність ще одного виду підприємницької діяльності на ринку мережевих послуг – це **інтернет-сервіс-провайдинг** (Internet Service Providing, **ISP**). Сервіс-провайдерами, або постачальниками послуг, називають фірми, які надають послуги доступу в Інтернет.

Унікальність Інтернету полягає в неосяжному наповненні інформаційними ресурсами та широкому застосуванні інформаційних технологій, таких як *накопичення, зберігання, обробка інформації* та подання її у формі *Web-сторінок*. Завдяки цьому Інтернет називають глобальною **інформаційною мережею**.

**Інформаційні послуги** (Information Services) Інтернету полягають у тому, щоб забезпечити користувачів можливістю пошуку в мережі найрізноманітнішої інформації (контенту). Окрім того в Інтернеті, технологічною особливістю якого є пакетний спосіб передачі інформації, можливою є організація різних служб, зокрема з надання користувачам недорогих телекомунікаційних послуг, найпоширенішою серед яких електронна пошта.

Діяльність сервіс-провайдерів зосереджена на організації так званих **сервісних вузлів** (Service Nodes), за допомогою яких реалізується доступ користувачів до різних мережевих служб та інформаційних ресурсів як даного вузла, так і віддалених вузлів Інтернету. При цьому постачальники послуг (провайдери) також є споживачами телекомунікаційних послуг (послуг з транспортування інформації), які надаються мережевими операторами.

Доступ користувачів до сервісного вузла, як правило, здійснюється через місцеві мережі операторів, однак окремі провайдери можуть мати власні мережі абонентського доступу.

Прийнято розрізняти сервіс-провайдерів різних рівнів: місцевого рівня, регіонального рівня та національного рівня (рис. 1.2).

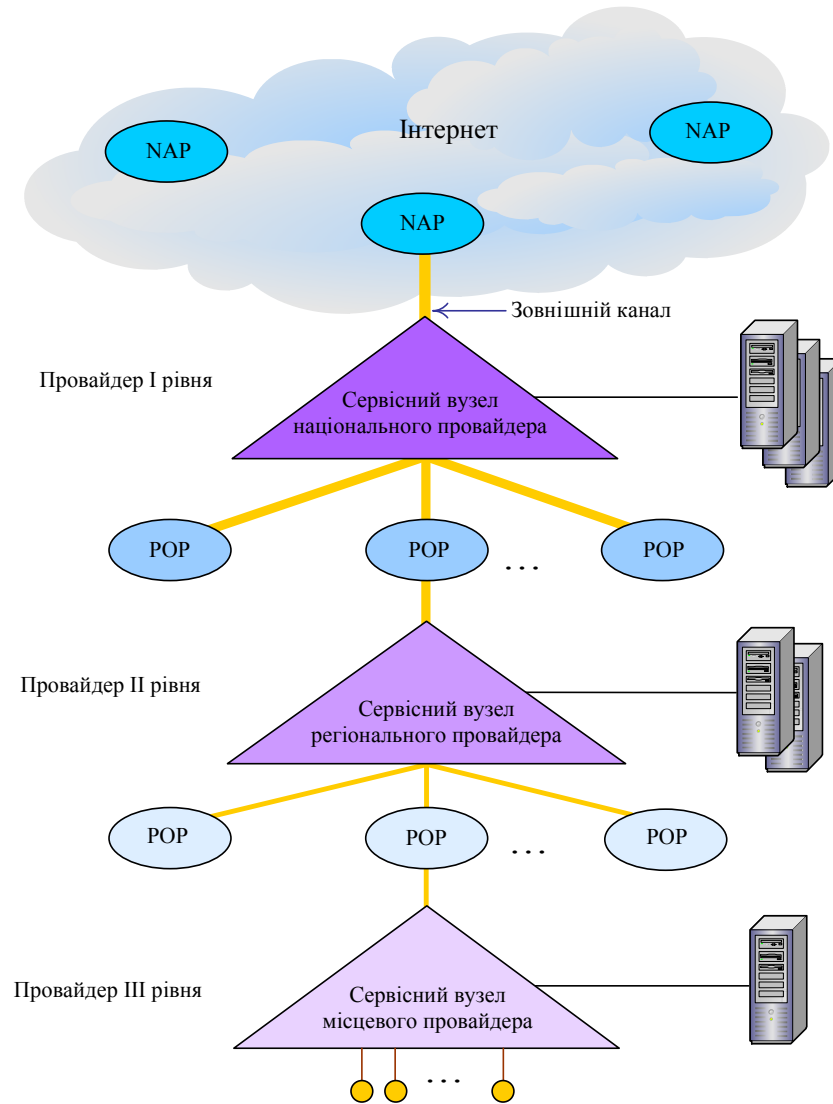


Рисунок 1.2. Інтернет-сервіс-провайдинг

Сервісний вузол **провайдера місцевого рівня** (рівня III) зовнішнім каналом, орендованим у мережевого оператора, під'єднується до так званої **точки мережевої присутності** (Point of Presence, **POP**), у якій розміщується обладнання мережевого доступу регіонального провайдера.

**Регіональний провайдер** (рівень II) зазвичай розміщує в своєму регіоні кілька точок мережевої присутності, забезпечуючи користувачів місцевих провайдерів доступом як до своїх інформаційних ресурсів (свого сервісного вузла), так і до зовнішніх ресурсів Інтернету.

**Регіональний провайдер** аналогічним чином, орендує канал у мережевого оператора, під'єднується до мережі доступу **національного провайдера** (рівень I). І тільки національний провайдер має право під'єднання до **точки мережевого доступу** (Network Access Point, **NAP**). NAP – це міжнаціональні точки доступу в Інтернет.

Таким чином, створюється *логічно функціонуюча мережа* «провайдерського класу».

За такою схемою сервіс-провайдер зосереджує фінансові ресурси на маркетингу та створенні потужної клієнтської бази. Орендує канали доступу та обладнання у посередника (мережевого оператора), а також використовує його служби технічної підтримки, сервіс-провайдер мінімізує свої експлуатаційні витрати.

Слід зазначити, що на практиці функції вищевказаних суб'єктів діяльності часто поєднуються в одній компанії з метою збільшення прибутків.



### 1.3. Мережі підприємств та установ

**Мережами підприємств** (Enterprise Networks), або **приватними мережами** (Private Networks), називають мережі, які належать установам і компаніям, інтереси бізнесу яких виходять за межі ринку телекомунікацій.

Відмінною особливістю приватних мереж є те, що всі ресурси мережі використовуються виключно співробітниками підприємства, яке є власником мережі. Крім того під терміном «приватна» мережа розуміють також *закриту мережу*, призначену для конфіденційного зв'язку. У цьому розумінні поняття «приватна мережа» частіше вживається відносно мереж великих корпорацій, що мають філії в різних містах, країнах і навіть континентах. Мережі підприємств меншого масштабу завжди сприймаються як приватні.

Поєднання комп'ютерів в мережу дозволяє підприємству оптимізувати його інформаційну інфраструктуру (роботу програм, застосовань, баз даних, тощо), що в результаті підвищує ефективність бізнес-процесу в цілому.

Залежно від масштабу виробничого підрозділу, в межах якого діє мережа, розрізняють *мережі робочих груп, мережі відділів, мережі кампусів і корпоративні мережі*.

**Мережі робочих груп** зазвичай характеризуються малою кількістю робочих місць (до 10) та використовуються невеликими групами співробітників підприємства, які виконують спільне виробниче завдання. Метою створення мережі в даному випадку є поділ дорогого периферійного обладнання та даних, спільне використання застосовань, а

також надання універсальних засобів комунікацій як для внутрішнього, так і зовнішнього зв'язку (рис. 1.3).

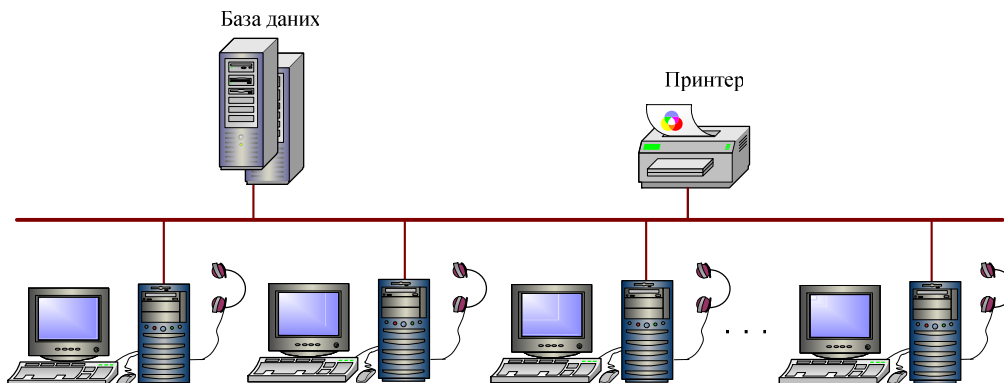


Рисунок 1.3. Мережа робочої групи

**Мережі відділів** можуть об'єднувати від 30 до 100 робочих місць і призначені для забезпечення спільної роботи співробітників одного відділу. Ці співробітники зазвичай вирішують ряд взаємопов'язаних завдань, наприклад, займаються планово-фінансовою діяльністю підприємства, ведуть облік матеріально-технічних цінностей та ін. Завдяки мережі забезпечується робота в режимі розподілу лазерних принтерів, модемів, інформаційних ресурсів відділу та мережевих застосовань.

Комп'ютерно-телефонна інтеграція зумовила появу нових ознак, властивих сучасним мережам відділів. Робочі місця співробітників поповнилися спеціалізованими телефонними апаратами, під'єднаними до послідовних портів персональних комп'ютерів (ПК). Крім того з'явилася можливість емуляції телефонного апарата за допомогою плат розширення в

стандарті *програмного інтерфейса телефонного застосування* (Telephony Application Programming Interface, **TAPI**).

Факс як необхідний елемент ділового життя будь-якого офісу або відділу завдяки новим стандартам також інтегрувався в телефонно-комп'ютерну систему.

У зв'язку з переходом на високошвидкісні технології стало можливим під'єднання до мережі широкосмугового мультимедійного обладнання, яке забезпечує організацію відеоконференцзв'язку (рис. 1.4).

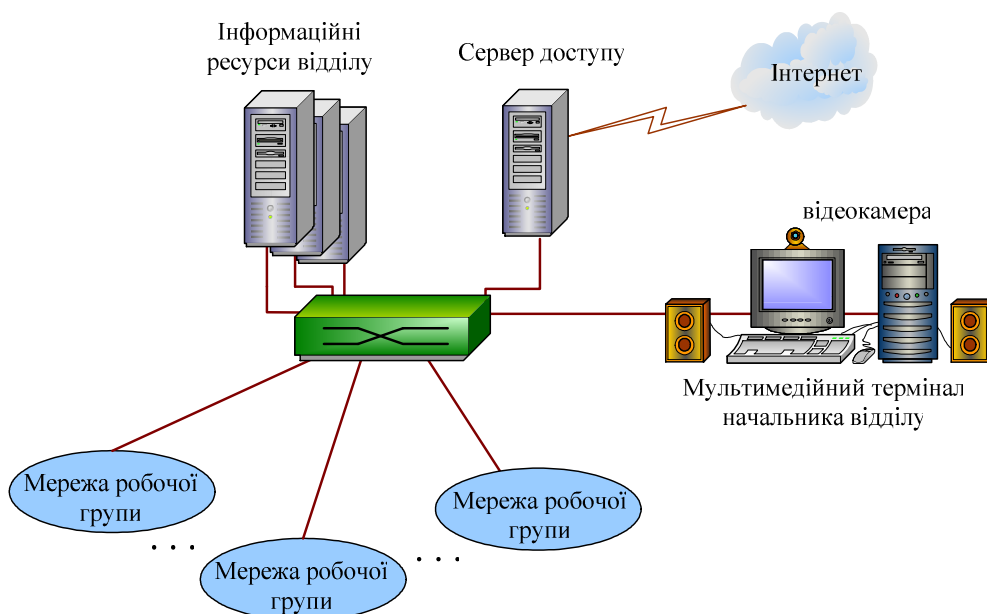


Рисунок 1.4. Мережа відділу

Мережі нового типу засновують як на базі УАТС (з використанням станцій Ніcom, Siemens), так і на базі технологій ІР-мереж, що забезпечує можливість створення гібридних застосувань, наприклад, таких, як уніфікований обмін повідомленнями.

**Мережа будівлі або кампусу** об'єднує мережі різних відділів великого підприємства. Мережі відділів можуть розташовуватися як у межах одного багатоповерхового будинку, так і в декількох будинках, розміщених неподалік один від одного, які утворюють кампус (невелике містечко) (рис. 1.5).

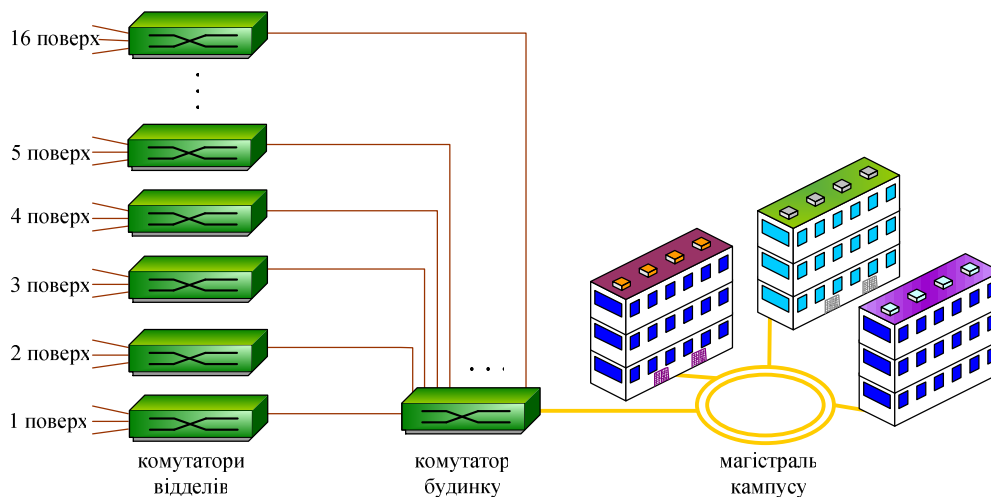


Рисунок 1.5 Мережа кампусу

Мережі кампусів налічують близько декількох сотень комп'ютерів. Вони використовують спеціальні служби мережевої взаємодії, що забезпечує доступ до загальних баз даних підприємства, факс-серверів, високошвидкісних модемів та ін. Завдяки цьому співробітники одних відділів отримують доступ до мереж та ресурсів інших відділів.

Кампусна мережа може складатися з різних типів комп'ютерів, неоднорідного апаратного й програмного забезпечення, різних мережевих технологій, що є прикладом *гетерогенного* мережевого середовища. Усе це створює проблему, пов'язану зі складністю керування кампусними

мережами, а також вимагає високої кваліфікації мережевих адміністраторів.

**Корпоративні мережі**, як правило, належать великим компаніям, які складаються з головної штаб-квартири (центрального офісу), а також віддалених філій в інших містах, країнах і навіть на різних континентах. Кількість користувачів і комп'ютерів у такій мережі досягає декількох тисяч.

Підрозділи корпорації можуть мати різний масштаб: від малого з одним або кількома працівниками компанії до філії масштабу кампусу, а тому об'єднання мереж корпоративних підрозділів є можливим лише з використанням *зовнішніх телекомунікацій* які, не належать даному підприємству (рис. 1.6).

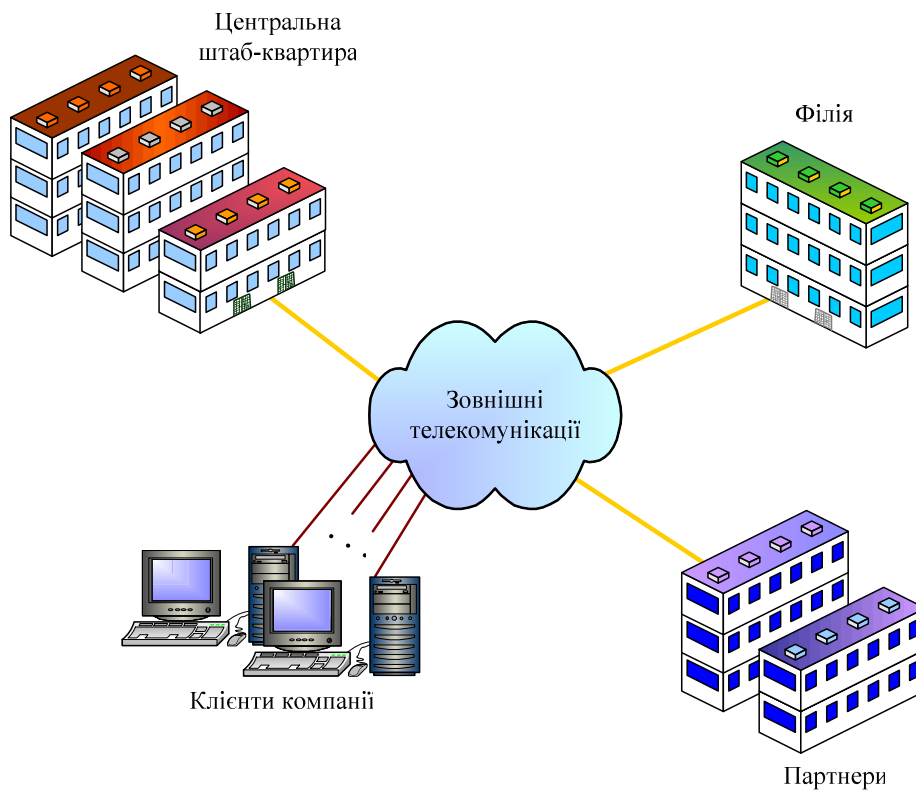


Рисунок 1.6 Корпоративна мережа

Корпоративна мережа може обслуговувати не лише підрозділи однієї великої компанії, але й певну групу користувачів, до якої крім працівників компанії входять бізнес-партнери та основні клієнти компанії. У будь-якому випадку санкціонований доступ до корпоративної мережі має лише *обмежений контингент* користувачів, група конкретних осіб.

Корпоративні мережі включають усю комунікаційну інфраструктуру, що забезпечує взаємодію між користувачами: різні типи термінальних пристроїв, кабельні системи в місцях розташування офісів, глобальні комунікації на базі ресурсів мережевих операторів і функціональні елементи керування мережею.

Оскільки об'єкти нерухомості, в яких інсталиються мережі, поділяються на виробничі будівлі та житловий сектор, розрізняють *мережі офісного типу, неофісного типу*, а також *мережі малих офісів і домашні мережі* (так званий сектор SOHO).

**Мережі офісного типу** монтують на об'єктах, споруджених з урахуванням специфічних виробничих умов (промислові підприємства, бізнес-центри, банки, органи державного управління). У переважній більшості такі підприємства мають у своєму розпорядженні розвинену комунікаційну інфраструктуру на основі спеціально виділених для цього кабелів зв'язку та відповідного комунікаційного устаткування. Відмінною особливістю мереж офісного типу є те, що кабельна розводка для них будується практично завжди у формі структурованих кабельних систем (СКС), які розглядаються в розділі 12. Різні аспекти реалізації таких систем, які є технічними об'єктами, добре опрацьовано та

закріплено відомими національними й міжнародними стандартами.

**Мережі неофісного типу** характеризуються слабкострумовою кабельною розводкою, великою кількістю працюючих в системі застосовань (телефонії, охоронної сигналізації, відеоспостереження та ін.) у поєднанні з ефірним і кабельним телебаченням.

Типовими об'єктами неофісного призначення є житловий сектор (квартири, котеджі, мікрорайони в межах міста або сучасні селища в заміській зоні), а також лікарні та готелі в секторі громадських будівель.

**Сектор малих офісів** (Small Office/Home Office, **SOHO**) містить у собі категорію об'єктів неофісного типу, таких, як мережі малих фірм і домашні мережі. Прикметною особливістю цього сектору є мала кількість працівників або тих співробітників підприємства, які працюють вдома та взаємодіють з центральним офісом. Організація такої взаємодії є самостійним колом задач, об'єднаних загальним поняттям «віддалений доступ», які детально вивчаються також в розділі 12.

## Контрольні питання

1. Які суб'єкти підприємницької діяльності представлені сьогодні на ринку телекомунікацій?
2. У чому полягає відмінність між мережами операторів та сервіс-провайдерів?
3. Які завдання мають на меті вирішувати мережі підприємств та установ?
4. Наведіть класифікацію мереж підприємств.
5. У чому полягають технологічні особливості організації корпоративних мереж?
6. У чому полягає відмінність мереж офісного типу від мереж неофісного типу?
7. Що являє собою сектор SOHO?



## Розділ 2. Основні поняття і визначення

Як впливає з попереднього розділу, сучасні мережі зв'язку є, мабуть, найскладнішими штучними системами, які вдалося створити сучасній цивілізації. Вивчення таких систем вимагає мобілізації зусиль у багатьох сферах інтелектуальної діяльності людини. Не будемо зараз їх тут перелічати, щоб Ви не гаяли час на визначення свого «IQ». У подібних ситуаціях завжди варто пам'ятати відому тезу: - «Те, що створене людським інтелектом, йому ж і під силу збагнути та пізнати».

Телекомунікаційні та інформаційні технології, які швидко розвиваються, випереджаючи одна одну, постійно змінюють ідеологію побудови мереж зв'язку, породжуючи все нові й нові мережеві концепції. Незважаючи на все їхнє різноманіття, вивчення та дослідження мереж, як показує досвід, доцільно здійснювати в двох аспектах: *телекомунікаційні мережі та інформаційні мережі*.

Спробуймо розкрити суть цих понять, а також з'ясувати, в чому полягає їхня відмінність і що їх об'єднує, в межах нашого уявлення про глобальне інформаційне співтовариство.

ПРИМІТКА. У цьому розділі наведено багато нових термінів і понять. З кожним з них рекомендуємо ретельно розібратися, щоб врешті-решт в Вашій голові не утворилась “каша”, яку тяжко опанувати. (Дружня порада авторів).

## 2.1. Телекомунікаційна мережа

Загальне поняття «телекомунікації» базується на уявленні про засоби, які дозволяють організувати зв'язок між двома і більше віддаленими пунктами.

Секція телекомунікацій **Міжнародного союзу електровз'язку** (Telecommunications Standardization Sector of International Telecommunications Union, **ITU-T**) у Рекомендаціях серії I (I.110, I.112) визначає термін «**телекомунікації**» (Telecommunications) як *сукупність засобів, які забезпечують перенесення інформації, поданій у необхідній формі, на значну відстань за допомогою поширення сигналів в одному з середовищ (міді, оптичному волокні, ефірі) або сукупності середовищ.*

Засобами, визначеними загальним поняттям «**засоби телекомунікацій**», є лінії зв'язку, пристрої з'єднання середовищ, системи передачі, комунікаційні пристрої мережі, обладнання сигналізації, синхронізації та ін.

Ґрунтуючись на цих поняттях, дамо визначення телекомунікаційній мережі.

**Телекомунікаційна мережа** (Telecommunication Network, **TN**) – *це системоутворююча сукупність засобів телекомунікацій, що надає територіально віддаленим об'єктам можливість інформаційної взаємодії шляхом обміну сигналами (електричними, оптичними або радіо).*

Об'єктами при цьому можуть виступати як термінальні пристрої користувачів та кінцеві системи мережі, так і окремі мережі.

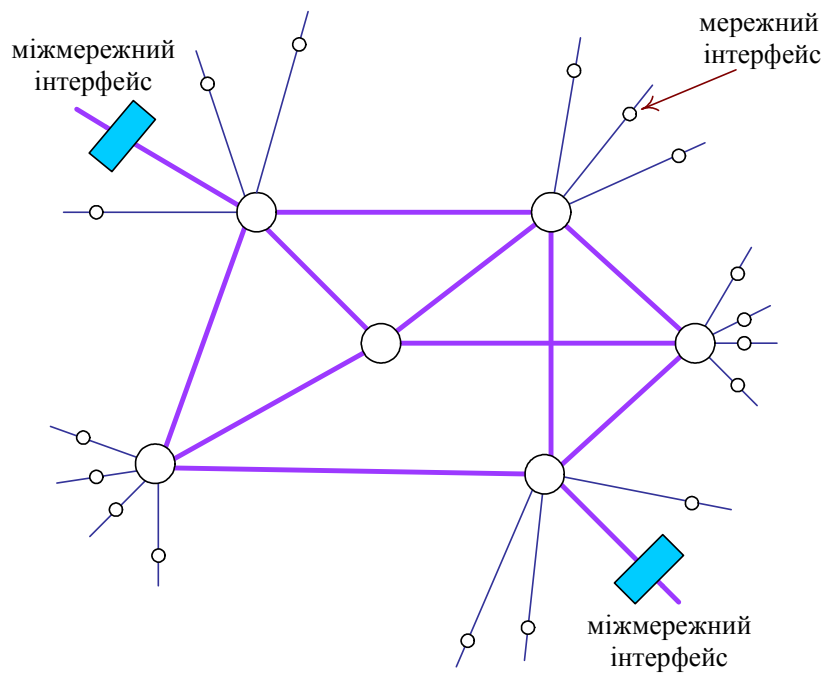


Рисунок 2.1. Телекомунікаційна мережа

Кінцем (інтерфейсною точкою) телекомунікаційної мережі є або телекомунікаційний роз'єм, до якого під'єднано пристрій користувача (мережевий інтерфейс), або кінцеве мережеве обладнання, яке забезпечує з'єднання мереж (міжмережевий інтерфейс) (див. рис. 2.1).

У англomовній науковій літературі, акцентуючи саме на цьому аспекті, телекомунікаційну мережу називають **Carrier Network** (мережа-переносник).

**Транспортування** (Transfer) інформації в мережевій термінології означає *перенесення інформації*, перетвореної в сигнал з кінця в кінець, тобто від джерела до одержувача. Його слід відрізнити від терміна «**передача**» (Transmission), під яким розуміється *процес поширення сигналу* у фізичному середовищі між двома суміжними пунктами мережі.

Транспортуючи інформацію, необхідно контролювати такі важливі мережеві функції, як якість обслуговування з кінця в кінець, керування потоками з метою запобігання перевантажень у мережі та ін.

Телекомунікаційні мережі можна класифікувати за типом режиму перенесення інформації (синхронні, асинхронні) та технологічними характеристиками (середовищем передавання, заданою шириною смуги пропускання, якістю передавання сигналів, швидкістю передавання та ін.).

### ***Параметри ефективності телекомунікаційної мережі***

Телекомунікаційні мережі характеризують за показниками, які відображають у цілому *можливість і ефективність транспортування інформації*. Можливість транспортування інформації в телекомунікаційній мережі пов'язана зі ступенем її функціональності в часі, тобто виконанням заданих функцій в повному обсязі з необхідним рівнем якості протягом певного періоду експлуатації мережі або в конкретний момент часу.

Працездатність мережі пов'язана з поняттями *надійності* та *живучості*. Різниця між цими поняттями зумовлена, насамперед, відмінностями причин та факторів, які порушують нормальну роботу мережі, та специфікою порушень.

**Надійність** мережі зв'язку характеризується здатністю забезпечувати зв'язок, зберігаючи в часі значення встановлених показників якості в заданих умовах експлуатації.

Вона відображає вплив на працездатність мережі передусім внутрішніх чинників: випадкових відмов технічних засобів, спричинених процесами старіння, дефектами технології виготовлення або помилками обслуговуючого персоналу. Показниками надійності є, наприклад, відношення часу працездатності мережі до загального часу її експлуатації, ймовірність безвідмовного зв'язку та ін.

Важливим показником є також кількість незалежних шляхів передавання інформаційного повідомлення, які можуть бути визначені між парою пунктів мережі.

**Живучість** мережі зв'язку характеризується здатністю зберігати повну або часткову функціональність під впливом руйнуючих причин, які виникають поза межами мережі й призводять до виходу з ладу чи значних пошкоджень деякої частини її елементів (пунктів і ліній зв'язку). Виокремлюють два типи таких причин: стихійні й навмисні. До стихійних чинників відносяться: землетрус, повіні та інші форсмажорні обставини, до навмисних – пошкодження мережі в наслідок злочинних дій.

Живучість мережі можуть характеризувати такі показники, які визначають: вірогідність того, що між будь-якою заданою парою пунктів мережі можна передати обмежений обсяг інформації після впливу руйнівних факторів; мінімальну кількість пунктів, ліній мережі (або тих та інших), вихід з ладу яких призводить до порушення зв'язності мережі відносно довільної пари пунктів; середню кількість пунктів, які залишаються зв'язними при одночасному пошкодженні декількох ліній зв'язку та ін.

**Пропускна здатність мережі.** У тих випадках, коли мережа не може обслуговувати (реалізувати) необхідне навантаження, говорять про обсяг реалізованого навантаження в мережі. Величина реалізованого мережею навантаження визначає її пропускну здатність і в ряді випадків може бути оцінена кількісно апріорі. Наприклад, можна визначити величину максимального потоку інформації між двома пунктами (джерело-стік), або пропускну спроможність перетину мережі, що є найвужчим місцем при поділі мережі між джерелом і стоком на дві частини. Оцінка пропускну здатності мережі значною мірою пов'язана з параметрами якості обслуговування, тому що реалізація конкретного навантаження має здійснюватися відповідно до заданих параметрів якості.

**Якість обслуговування** визначається сукупністю показників, які вказують на рівень відповідності телекомунікаційної мережі нормам експлуатації та вимогам користувачів.

**Рентабельність і вартість.** Телекомунікаційна мережа є рентабельною, як що витрати на її організацію і забезпечення працездатності окупаються доходом від наданих користувачам послуг. Основна економічна характеристика мережі - це зведені (загальномережеві) витрати, які визначають її вартість з урахуванням експлуатації й керування.

## **2.2. Інформаційна мережа**

Поняття «**інформаційна мережа**» (Information Network, **IN**) передбачає розгляд телекомунікаційної мережі в

сукупності зі взаємодіючими за допомогою неї об'єктами. У такому розумінні інформаційна мережа – це «**навантажена**» телекомунікаційна мережа.

Поняття «інформаційна мережа», на відміну від поняття «телекомунікаційна мережа», є більш містким та узагальненими й відображає різноманіття *інформаційних процесів*, які протікають в мережі. Ці процеси виникають у результаті взаємодії кінцевих систем, під'єднаних до телекомунікаційної мережі.

### ***Інформаційні процеси***

Інформаційні процеси в мережі можна поділити на дві групи: *прикладні процеси* та *процеси взаємодії*.

**Прикладні процеси** (Application Processes, **AP**) ініціюються кінцевими системами під час запуску програм користувача, які ще називаються **застосованнями** (Applications).

**Процеси взаємодії** (Interworking Processes) – це процеси в мережі, призначені для обслуговування прикладних процесів. Наприклад, визначення форматів подання інформації для передачі мережею, встановлення режимів передавання даних, визначення маршрутів просування інформації та ін. Прикладні процеси та процеси взаємодії підтримуються *мережевими операційними системами* (MOS).

## *Кінцеві системи*

Кінцеві системи інформаційної мережі можуть бути класифіковані наступним чином:

- *термінальні системи* (Terminal System) – комп'ютери користувачів мережі;
- *хостингові системи* (Host System) – комп'ютери, на яких розміщено інформаційні та програмні ресурси мережі;
- *сервери* (Servers) – комп'ютери, на яких інстальовано спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє надавати мережеві сервіси. Наприклад, керування доступом для великої кількості користувачів до інформаційних ресурсів, пристроями колективного користування (принтерів, плотерів), реєстрація користувачів та контроль за їх правами доступу в мережу та ін. Серверний комп'ютер, залежно від можливості його операційної системи, може бути налаштований як для роботи в режимі хосту (інформаційний сервер), так і в режимі комунікаційного пристрою (наприклад, шлюзу);
- *адміністративні системи* (Management System) – комп'ютери, які забезпечують роботу застосовань керування мережею та окремих її частин.

ПРИМІТКА. Оскільки кінцевими системами інформаційної мережі є комп'ютери, то таку систему ще називають «комп'ютерною мережею». Телекомунікаційна



мережа при цьому класифікується як «мережа передачі даних».

### ***Ресурси інформаційної мережі***

Інформаційну мережу доцільно характеризувати за складом ресурсів. Ресурси інформаційної мережі поділяють на *інформаційні, ресурси обробки та зберігання даних, програмні та комунікаційні*.

**Інформаційні ресурси** – це інформація та знання, накопичені в усіх галузях науки, культури й життєдіяльності суспільства, а також продукція індустрії розваг. Все це систематизується в мережевих банках даних, з якими взаємодіють користувачі мережі. Ці ресурси визначають споживчу цінність інформаційної мережі, тому їх необхідно не лише постійно створювати та поповнювати, але й вчасно архівувати та оновлювати, а користування мережею повинно забезпечувати можливість отримувати актуальну інформацію саме тоді, коли в ній виникає необхідність.

**Ресурси обробки та зберігання даних** – це продуктивність процесорів та обсяги пам'яті комп'ютерів, які працюють у мережі, а також час, протягом якого вони використовуються.

**Програмні ресурси** – мережеве програмне забезпечення (ПЗ): мережеві операційні системи, серверне ПЗ, ПЗ робочих станцій; прикладне ПЗ; інструментальні засоби: утиліти, аналізатори проходження трафіку, засоби мережевого контролю, а також програми додаткових функцій, основними серед яких є виписка рахунків, облік оплати послуг, навігація

(забезпечення пошуку інформації в мережі), обслуговування мережевих електронних поштових скриньок, організація мостів для телеконференцій, перетворення форматів переданих інформаційних повідомлень, криптозахист інформації (кодування й шифрування), автентифікація (зокрема, електронний підпис документів, що засвідчує їх справжність).

**Комунікаційні ресурси** – це ресурси, які беруть участь у транспортуванні й перерозподілі потоків інформації в мережі (іншими словами – ресурси телекомунікаційної мережі), основними серед яких є пропускні спроможності ліній зв'язку та устаткування вузлових пунктів, а також час їх використання під час взаємодії користувача з мережею. Вони класифікуються відповідно до типу використаного середовища передачі та телекомунікаційної технології.

Усі перераховані ресурси в інформаційній мережі можуть використовуватися одночасно кількома прикладними процесами, тобто *розділятися* в часі.

Ресурси інформаційної мережі сукупно дозволяють виконувати обробку інформації, забезпечувати ефективний пошук її в будь-якому місці мережі, а також уможлиблюють її накопичення й зберігання. Усі зазначені дії мають назву **«інформаційні послуги»**.

Отже, під **інформаційною мережею** як *фізичним об'єктом* слід розуміти *сукупність територіально розрізаних кінцевих систем, об'єднаних телекомунікаційною мережею, за допомогою якої забезпечується взаємодія прикладних процесів, активізованих у кінцевих системах, та їх колективний доступ до ресурсів мережі.*

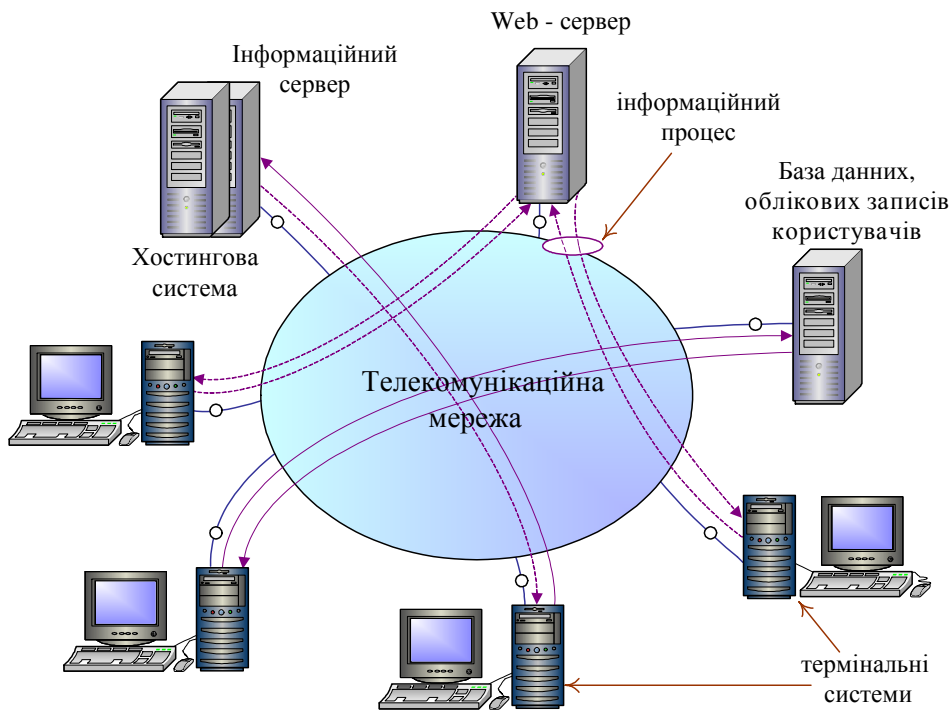


Рисунок 2.2. Інформаційна мережа

Уся інтелектуальна робота в інформаційній мережі виконується на периферії, тобто в кінцевих системах мережі, а телекомунікаційна мережа, хоча й займає центральне положення, є лише з'єднувальним компонентом (див. рис. 2.2). Телекомунікаційна мережа, як їй і належить, у складі інформаційної мережі виконує функції *транспортувальної системи*.

Отже, поняття «інформаційна мережа» зосереджує увагу на *інформаційних процесах*, які виникають у мережі під час взаємодії кінцевих систем через телекомунікаційну мережу. Опис цієї взаємодії демонструє всю складність організації зв'язку в мережі як у режимі «запит-відповідь», так і в реальному масштабі часу.

Основною вимогою, якій має відповідати інформаційна мережа, є забезпечення користувачів *ефективним доступом до ресурсів, які можуть розділятися* (тобто колективного використовуватися). Усі інші вимоги – пропускна здатність, надійність, живучість – лише забезпечують якісне виконання цієї основної вимоги.

### ***Параметри оцінки ефективності інформаційної мережі***

Уявлення користувача про рівень продуктивності інформаційної мережі як системи розподільчих ресурсів складається з оцінки таких параметрів, як *час реакції мережі, затримка передачі і варіація затримки передачі, а також прозорість*.

**Час реакції мережі** визначається як інтервал часу між поданням запиту користувача до певної мережевої служби (наприклад, передачі файлів) і отриманням відповіді на цей запит. Значення цього показника залежить від типу служби, до якої звертається користувач, від того, до якої категорії належить користувач та якою є продуктивність сервера, куди він звертається, а також від ступеня завантаженості елементів мережі, через які проходить його запит.

**Затримка передачі** визначається як час між моментом надходження пакету даних на вхід будь-якого мережевого пристрою або фрагмента мережі і моментом виходу з неї. Цей параметр по суті характеризує етапи тимчасової обробки пакетів при проходженні їх мережею. При цьому продуктивність мережі оцінюється, як правило, максимальною затримкою передачі та варіацією затримки.

**Варіація затримки** (джитер затримки) характеризує коливання затримки в часі. Великий діапазон в значеннях затримки негативно позначається на якості наданої користувачеві інформації при передаванні чутливих до затримки видів трафіку, таких як відеодані, мовленнєвий трафік. Це супроводжується виникненням «відлуння», нерозбірливістю мови, тремтінням зображення та ін.

**Прозорість** характеризується властивістю мережі приховувати від користувача принципи її внутрішньої організації. Користувач не повинен знати місцезнаходження програмних та інформаційних ресурсів. Для роботи з віддаленими ресурсами мережі він повинен використовувати ті ж самі команди й процедури, що й для роботи з ресурсами свого комп'ютера. Вимога до прозорості забезпечує користувачам зручність і простоту роботи в мережі.

### **2.3. Конвергенція мереж, технологій та послуг**

Розглянуті вище поняття телекомунікаційної та інформаційної мереж класифікують мережі зв'язку відповідно до категорій послуг, які надаються, основними серед яких є такі:

- телекомунікаційні або транспортні послуги;
- інформаційні послуги.

Ще в недалекому минулому проблема надання телекомунікаційних послуг вирішувалася шляхом створення окремих мереж електрозв'язку (телефонних, телеграфних, телевізійного мовлення, передачі даних).

Паралельно розвиваючись, комп'ютерні мережі як розподільчі системи обробки даних забезпечили можливість автоматизованої обробки, накопичення й зберігання в мережі будь-якої інформації, що є продуктом інтелектуальної діяльності суспільства, й видачі її на запит користувача в необхідній формі, тим самим розширюючи спектр інформаційних послуг.

Виникає закономірне питання: - «Як вже існуючим мережам електрозв'язку вдається функціонувати в умовах, коли безперервно удосконалюються концепції побудови мереж, виникають нові мережеві технології та постійно зростають потреби в найрізноманітніших послугах зв'язку? Які процеси породжують нові класифікації мереж? ».

А ось і відповідь: «Вони конвергуються!!!» Якщо щось не є зрозумілим, доведеться прочитати цей розділ до кінця.

У практиці експлуатування існуючих мереж зв'язку вже стало нормою передавати так званий «чужий» трафік. Наприклад, передача комп'ютерних даних засобами телефонних комунікацій, або передача мовного трафіку з використанням пакетного режиму переносу інформації. Внаслідок цього ускладнюється та видозмінюється звична у минулому для зв'язківців класифікація мереж зв'язку за типом переданих інформаційних повідомлень. Відбувається незворотне взаємопроникнення різних за походженням і принципами роботи мереж, таких, наприклад, як мережі передачі комп'ютерних даних і мережі передачі мовного (телефонного) трафіку. Це свідчить про те, що еволюція мереж зв'язку відбувається в напрямі *конвергенції* (від англ. convergence – зближення, сходження в одну точку).

Під **конвергенцією в телекомунікаціях** розуміють *забезпечення практично однакових наборів послуг різними за технологічними можливостями мережами, або об'єднання кінцевих пристроїв, таких, як телефон, персональний комп'ютер і TV-приймач у єдиний термінал.*

Конвергенція передбачає створення *конвергентних систем зв'язку* на основі злиття мереж, які відрізняються цілим рядом ознак. Це перш за все мережі, які використовують різні телекомунікаційні технології, локальні й територіальні мережі, провідні та безпроводові мережі, стаціонарні та мобільні мережі, мережі доступу та транспортні мережі.

Конвергенція зумовлена прагненням мати однорідну інфраструктуру для тих чи інших послуг, навіть коли ці послуги підтримуються різними технічними рішеннями. Ці рішення можуть бути засновані на телекомунікаційних або інформаційних технологіях. Важливо відзначити, що конвергенція послуг призводить також до значного збільшення можливостей однієї окремо взятої послуги, як це відбувається, наприклад, у мультимедійних комунікаціях. Закономірно, що конвергенція послуг завжди припускатиме певний рівень конвергенції в технічних системах, які забезпечують ці послуги.

Бурхливе зростання трафіку даних (у порівнянні з телефонним навантаженням) спричинило конвергентні процеси в сфері технологій.

В умовах, коли окремі сегменти телефонної мережі заміщуються мережами передачі даних, які забезпечують також і транспортування мови, виник новий підхід у телекомунікаційних технологіях – передача мови пакетами (**Voice over Internet Protocol, VoIP**).

У сфері конвергенції мереж найбільший інтерес викликає той факт, що Інтернет-послуги можна надавати через лінії доступу телефонної мережі. Отже, можна розглядати конвергенцію як взаємодію між телефонною мережею та Інтернетом на межі телефонної мережі. Забезпечення послугами телефонії між користувачами Інтернету та користувачами телефонної мережі є одним із основних напрямів конвергенції мереж.

Іншим важливим напрямком конвергенції є стирання меж між фіксованими та мобільними мережами. Йдеться як про інтеграцію комутаторів для провідних і мобільних радіомереж (так званий комбінований комутатор, Combi-Switch), так і про конвергенцію послуг, а це означає, що абоненти можуть отримувати послуги у разі будь-якого доступу до мережі.

Закономірним результатом загальних процесів конвергенції є комп'ютерно-мережева інтеграція. Можна впевнено стверджувати, що саме розвиток обчислювальної техніки та її архітектури став підґрунтям розробки принципів та системних рішень, запроваджених в сучасних мережах.

Помітними також є фактори зворотного впливу. Необхідність передавання даних на значні відстані призвела до *використання існуючих телекомунікацій як транспортного середовища* при об'єднанні локальних обчислювальних мереж (ЛОМ) та взаємодії їх з віддаленими комп'ютерами. Комп'ютер, у свою чергу, використовують не тільки як термінальний пристрій, але й як транзитний вузол телекомунікаційної мережі, який поєднує різних користувачів мережі, використовуючи мережеві процедури маршрутизації.



Фахівці з комп'ютерних систем дійшли висновку про доцільність використання в локальних мережах телекомунікаційної технології асинхронного режиму перенесення (ATM), що забезпечує передачу різнотипного трафіку необхідної якості. Спеціалісти мають намір використовувати технології синхронної цифрової ієрархії (SDH) для пришвидшення передачі інформації в мережах передачі даних, а зв'язківці на основі таких технологій створюють територіальні мережі, які поєднують локальні мережі підприємств і віддалені "домашні офіси".

Комп'ютерно-телефонну інтеграцію (Computer Telephony Integration, **СТІ**) і IP-телефонію справедливо вважаються одними з головних досягнень 90-их років в галузі телекомунікацій.

На сьогодні в СТІ виокремлено два підходи: «комп'ютерний» і «телефонний». В основі першого лежить концепція підтримки додаткових послуг підвищеної якості для бізнес-користувачів, яка орієнтована на конвергенцію комунікаційних та інформаційних послуг. Комп'ютерний підхід до проблеми спрямовано на обслуговування великої кількості викликів шляхом організації спеціалізованого операторського центру (Call Center), що забезпечує інтелектуальні й автоматизовані комунікаційні послуги. Ці послуги підтримуються за допомогою досить складних програмних застосовань, інстальованих на спеціальному сервері комп'ютерної телефонії, який взаємодіє з базою даних клієнтів, що знаходиться, можливо, на окремому сервері. Таке революційне технічне рішення операторського класу в галузі комп'ютерних технологій закріплено загальноприйнятим англійським терміном «Softswitch» (програмний комутатор).

Фахівці з галузі телекомунікацій дотримуються іншої точки зору на реалізацію СТІ, вважаючи, що функції Call Center можуть бути виконані комутаційною системою телефонної станції без використання додаткового сервера. Основним завданням СТІ при такому «телефонному» підході є вирішення внутрішніх завдань підприємства: підвищення культури виробництва, інтеграція різних власних баз даних з телефонною системою. При цьому поняття сервісу, що надається абоненту, трактується ширше й не обмежується специфічними послугами комп'ютерної телефонії.

Таким чином, як перший, так і другий підходи мають право на існування.

Концепція IP-телефонії передбачає доставку голосового трафіку пакетами (VoIP) в режимі реального масштабу часу мережами передачі даних за допомогою транспортних механізмів протоколів TCP/IP. Таким чином, забезпечується можливість інтеграції голосового трафіку й даних в одній мережі, що в свою чергу дозволяє спростити мережеву інфраструктуру, відмовившись від непотрібних мережевих платформ.

Процеси конвергенції та інтеграції впливають і на термінальне обладнання мереж. Відбувається об'єднання різних за призначенням кінцевих пристроїв (телефону, персонального комп'ютера і TV-приймача) в єдиний багатофункціональний термінал.

Традиційний аналоговий телефон поки залишається в арсеналі термінальних пристроїв зв'язку, однак характеризується досить низькими функціональними можливостями з обробки та зберігання інформації (в

основному – це зберігання в пам'яті телефонних номерів). Його поєднання з комп'ютером дозволяє вирішити завдання створення інтелектуального терміналу. Спеціалізовані ПК розширюють своє призначення, надаючи спектр таких послуг, як організація голосової пошти, факсимільного зв'язку, голосового набору та ін.

Можна очікувати, що побутовий телевізор скоро також стане багатофункціональним терміналом, для перетворення на який достатнім є під'єднання спеціальної TV-приставки STB (Set-Top-Box). Поява TV-приставок була зумовлена впровадженням цифрового телемовлення. Їх функція полягала в декодуванні цифрового відеосигналу. Пізніше з'явилися TV-приставки, декодуючі спеціально зашифровані платні програми. Сьогодні пропонуються TV-приставки, які можуть з використанням модемів підтримувати банківські операції та електронні покупки. Поступово функціональність TV-приставок наближається до функціональності ПК. Удосконалені TV-приставки можуть підтримувати доступ в Інтернет, включаючи електронну пошту, Web-пошук і послуги IP-телефонії.

Розвиток і зближення технологій різних галузей призвели до появи абсолютно нового класу виробів ІА (Information Appliances). Цей клас охоплює все: починаючи від телевізорів, телефонів з доступом до Web до наручних годинників, фотоапаратів, тощо. По суті, ІА визначають декілька нових видів обробки інформації. Усі вони є апаратними засобами з оперативним доступом до мереж. Розподіл ІА на категорії за основними властивостями дає можливість краще зрозуміти сфери застосування цих

пристроїв. Зараз серед ІА найбільш поширені телевізори й телефони з доступом в Web, персональні інформаційні системи (PIM) і цілий клас різноманітних надвисокотехнологічних пристроїв доступу в Web, так званих WebMisc.

Web-телефони на сьогодні пропонують понад десятки компаній. Це такі ІА, що поєднують функції класичних телефонів з доступом в Web і можливістю прийому/відправки електронної пошти. Завдяки тому, що пристрій постійно ввімкнено та під'єднано до телефонної лінії, здійснюється безперервний контроль надходження повідомлень з Інтернету.

Зближення VoIP і телефонії розпочинає еру телефонів принципово нового типу. Продукт Web Video Phone компанії Samsung – зразок Web-телефонів цього типу. Одна з переваг Web-телефонів на основі технології VoIP полягає в різкому зниженні плати за розмови. По-друге – можливість передачі Internet-мережею мовлення та зображення. Два і більше абоненти зможуть, використовуючи Web-телефони другого покоління, обговорити, наприклад, креслення, в той час, як його зображення й самі співрозмовники з'являться на екранах.

Найбільші можливості в створенні потужного мультисервісного терміналу надає персональний комп'ютер. Завдяки модульній структурі розширення його функцій зводиться до додавання різноманітних карт і спеціального програмного забезпечення. Крім використання ПК як мультисервісного пристрою для отримання послуг зв'язку в різних інформаційних середовищах, його можна використовувати як мультимедійний термінал, що поєднує текстову, звукову та відеоінформацію в одному сеансі зв'язку.

У цілому еволюція мереж у бік мультисервісної платформи фактично означає необмежені можливості розширення спектру споживчих послуг, особливо завдяки мережевим бізнес-застосуванням, які активно розвиваються (наприклад, електронна комерція, дистанційна система навчання, мережеві відеоконференції та ін.)

Підсумовуючи вищезазначене можна констатувати, що конвергенція забезпечила перехід до мереж зв'язку наступного покоління, які мають на меті якісно змінити всі сфери життя й діяльності людини.

Якщо в цьому розділі Вам не вся інформація була зрозумілою, значить, це саме та дисципліна, яку Вам необхідно більш наполегливо освоювати, щоб навчитися будувати мережі наступного покоління відповідно до вимог часу.

#### **2.4. Інфокомунікаційна мережа**

Процеси конвергенції, цифровізації та комп'ютеризації мереж зумовлені прагненням створити єдину мережу, здатну надавати телекомунікаційні та інформаційні послуги інтегровано, а також забезпечувати можливість необмеженого розширення спектру різних послуг. Підкреслюючи нерозривний зв'язок інформаційних і телекомунікаційних компонентів у формуванні та наданні послуг мережею, у технічній літературі часто використовують такі інтегруючі поняття, як **«інфокомунікації»**, **«інфокомунікаційна мережа»**.

Очевидно, що створення інфокомунікаційної мережі вимагає комплексного використання ресурсів мереж, а також

істотно відмінних технічних рішень. І саме від складу й можливостей ресурсів такої багатофункціональної мережі залежить спектр послуг, які надаються.

Сукупність ресурсів мережі, задіяних у виробництві та наданні користувачам конкретної послуги або певного набору послуг, прийнято називати **платформою надання послуг**.

Використовуючи поняття «мережеві ресурси» та «платформа надання послуг», з'ясуємо терміни «інфокомунікації» і «інфокомунікаційна мережа».

**Інфокомунікації** – це сукупність мережевих ресурсів, призначених для спільної участі у виробництві та наданні телекомунікаційних, інформаційних та інших послуг інформаційного співтовариства.

Таким чином, інфокомунікації забезпечують можливість не тільки перенесення в просторі інформаційних повідомлень та взаємодію інформаційних систем, а й виробництво нових послуг та інформації.

**Інфокомунікаційна мережа** становить комплекс термінальних пристроїв користувачів, кінцевих систем мережі та універсальної платформи виробництва та надання послуг, які відповідають різноманітним вимогам користувачів до їх типу та якості.

Інфокомунікаційну мережу як фізичний об'єкт зображено на рис. 2.3. Термінальними пристроями користувачів (Terminal System) називають пристрої, призначені для роботи в мережі, якими є як кінцеві пристрої телекомунікаційних служб: телефонні апарати (стаціонарні, системні, мобільні, IP-телефонії), пристрої телематичних служб (факсимільні апарати, телетексти, відеотермінали тощо), так і багатофункціональні термінали на основі комп'ютерів.

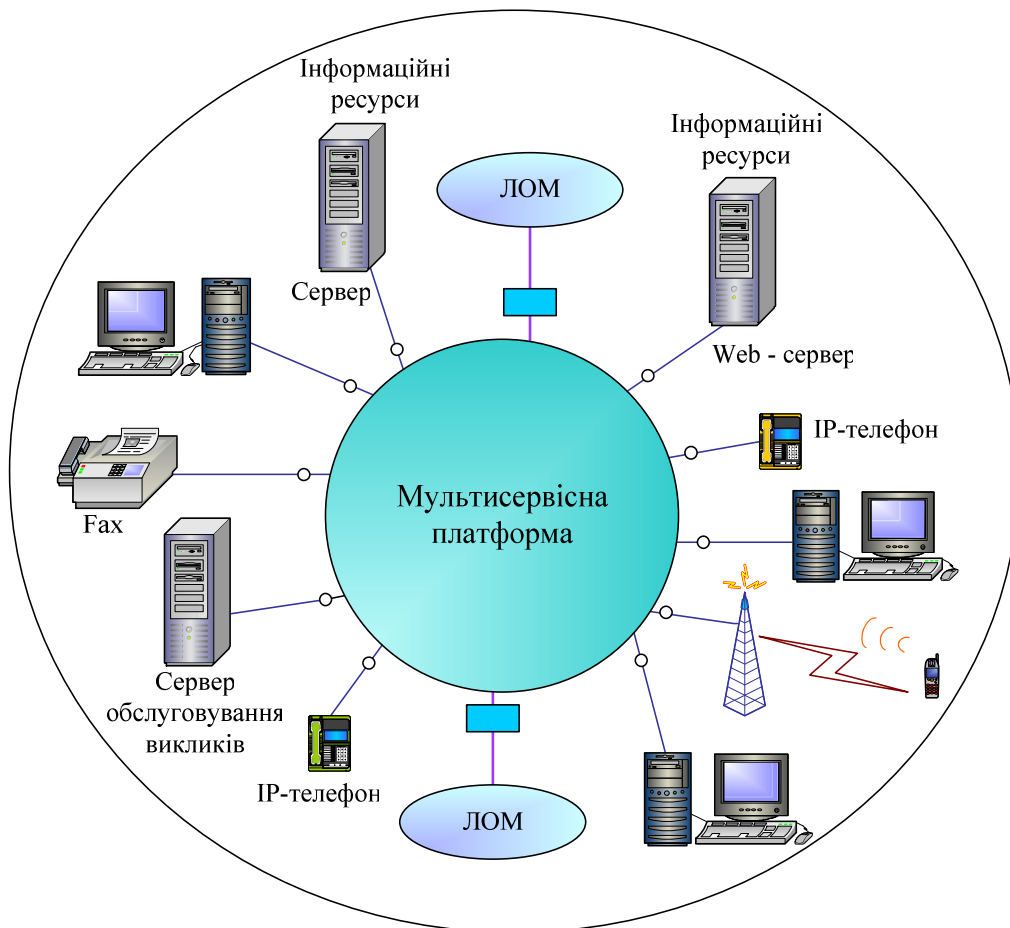


Рисунок 2.3. Інфокомунікаційна мережа

Універсальну платформу надання широкого спектру послуг інфокомунікаційної мережі ще називають «**мультисервісною мережею**». Її відмінною рисою є *мережеве закінчення з універсальним відкритим інтерфейсом*. Це питання розглядається в розділі 17.

Таким чином, інфокомунікаційна мережа дозволяє вирішувати найбільш актуальні завдання інформаційного співтовариства:

- надання користувачам можливості обміну інформаційними повідомленнями різного типу (мова, відео, дані);
- швидке та якісне отримання необхідної інформації з будь-якого віддаленого джерела в мережі;
- автоматизація процесів обробки, накопичення, зберігання великих обсягів інформації в мережі і, зрештою, самого процесу виробництва інформації.

Вирішення цих завдань завжди було і є постійним стимулом науково-технічного прогресу в галузі зв'язку.

У результаті конвергенції все сучасне цифрове мережеве та термінальне (користувальницьке) обладнання перетворюється, по суті, в набір «різнофункціональних комп'ютерів». Урешті-решт розвиток інфокомунікацій призведе до того, що мережа буде в змозі пропонувати користувачеві одну, але дуже універсальну «інфокомунікаційну послугу».

## **2.5. Глобальна інформаційна інфраструктура**

Кінцева мета розвитку інфокомунікацій – створення глобальної інформаційної інфраструктури. ІТУ-Т у Рекомендаціях Y.100, Y.110 дає таке тлумачення цьому глобальному об'єкту.

**Глобальна інформаційна інфраструктура** (Global Information Infrastructure, **ГІІ**) *пропонує користувачам набір комунікаційних послуг, які забезпечують відкриту множинність застосовань, охоплюють усі види інформації та*



*надають можливість її отримання в будь-якому місці, в будь-який час, за прийнятною ціною і з прийнятною якістю.*

Створенню ГІІ сприяють конвергенція технологій, упроваджених у галузі телекомунікацій, комп'ютерів і споживчої електроніки, а також нові можливості для бізнесу.

На Урядовій конференції країн "великої вісімки" (G8), проведеної Комісією Європейського Економічного Союзу (ЄЕС) в лютому 1995 року, було узгоджено основні принципи, на яких має базуватися розвиток ГІІ, серед яких:

- забезпечення відкритого доступу до мереж;
- гарантія забезпечення загального доступу до послуг, а саме:

*мобільності* – можливості доступу до послуг з різних місць та під час руху. При цьому визначення та локалізація джерела надходження запитів повинні забезпечуватись мережею;

*номадизму* – можливості вільного переміщення, зберігаючи при цьому доступ до послуг, незалежно від доступності або недоступності цих послуг в місцевому середовищі, тобто безперервність доступу в просторі та часі;

- забезпечення рівних можливостей для користувачів, зважаючи на культурне та мовне розмаїття;
- необхідність міжнародного співробітництва з особливою увагою до найменш розвиненим країнам;
- сприяння відкритій конкуренції та заохочення приватних інвестицій.

Ці принципи можна реалізувати завдяки:

- розвитку глобальних ринків для мереж, послуг та застосовань;
- гарантії конфіденційності та захисту даних;
- захисту прав інтелектуальної власності;
- співробітництву в науково-дослідницької діяльності та в розробці нових застосовань.

Глобальні розробки з ГП проводяться окремими консорціумами та індустріальними форумами.

## Контрольні питання

1. Поясніть терміни: «телекомунікації», «телекомунікаційна мережа», «інформаційна мережа», «інфокомунікаційна мережа».
2. Якими параметрами оцінюється ефективність телекомунікаційної мережі?
3. Охарактеризуйте кінцеві системи та ресурси інформаційної мережі.
4. Якими параметрами оцінюється ефективність інформаційної мережі?
5. У чому відмінність і що спільного в телекомунікаційному й інформаційному аспектах дослідження мереж?
6. Поясніть термін «конвергенція». За якими напрямками здійснюється процес конвергенції в галузі зв'язку?
7. Поясніть мотивацію конвергенції у зв'язку. Що є її рушійною силою?
8. Подайте визначення поняття «інфокомунікації»?
9. Що таке платформа подання послуг?
10. Яким є призначення Глобальної інформаційної інфраструктури?

## **Розділ 3. Моделі системного опису мережевої архітектури**

У цьому розділі для стислості будемо використовувати узагальнюючі терміни «мережа зв'язку» (або просто «мережа»), маючи на увазі, відповідно до контексту, навантажену або ненавантажену телекомунікаційну мережу.

### **3.1. Поняття архітектури мережі**

Усі мережі зв'язку належать до класу об'єктів, які називають великими чи складними системами. Складні системи за своїм складом є гетерогенними, тобто характеризуються величезною кількістю неоднорідних елементів і зв'язків між ними. Вивченням та дослідженням складних систем, як відомо, займається наука *системологія*.

Мережам зв'язку властиво мати всі ознаки складних систем і підпорядковуватися відповідним їм закономірностям. Перелічимо найбільш характерні з них.

**Ієрархічність** – розташування частин та елементів цілого в порядку від вищого до нижчого. Дотримуючись цієї закономірності, ми можемо розчленовувати мережу на окремі підмережі (сегменти) нижчого порядку. Наприклад, глобальна мережа може бути представлена сукупністю територіальних мереж різного масштабу: континентальних, регіональних, міських, локальних та ін.

**Комунікаційність** – закономірність, яка вказує на численність зв'язків (комунікацій) системи: зовнішніх – з навколишнім середовищем і внутрішніх – із власними

підсистемами та елементами. Це означає, що мережу будь-якого рівня ієрархії не можна розглядати ізольовано, без урахування факторів, які впливають ззовні (вищерозташованих систем) і, водночас, не можна розчленовувати її без урахування типу взаємозв'язку підмереж й елементів нижчого порядку.

**Емергентність** – закономірність, що полягає в прояві системою інтегрованої риси – цілісності, яка не притаманна окремим її елементам. Так, наприклад, у мережі ми можемо виокремити такі функціонально важливі й відносно незалежні підсистеми, як система мережевих застосовань, транспортна система, система керування мережею та ін. Жодну з цих систем не можна ототожнити з мережею зв'язку в цілому, і тільки їх взаємозв'язок відображає це поняття. З іншого боку, розглядаючи та вивчаючи структури окремих підсистем, ми поглиблюємо своє уявлення про систему.

Системний підхід, системний аналіз, як наукові методи пізнання, засновані на методологічних принципах системології, передбачають, насамперед, усебічний розгляд складної системи в багатьох аспектах. Для кожного аспекту до уваги береться група найбільш типових елементів і визначається різновид зв'язків між ними, які створюють певну, окрему структуру системи.

Процес побудови ряду окремих структур системи має назву «**структуризація**».

Отримані в результаті структуризації окремі структури системи взаємопов'язані між собою. Щоб відобразити міжструктурні зв'язки, ізольовані структури розташовують у певному порядку, наприклад, ієрархічному, де ієрархія

відбудовується відповідно до пріоритету аспектів дослідження системи.

Структуризація складної системи не піддається формалізації та є творчим процесом, тому її часто ототожнюють з найдавнішим мистецтвом проектування й будівництва – архітектурою.

Отже, **архітектура** – це *багаторівневий опис системи, отриманий шляхом структуризації*.

Уявлення про будову та функціонування мережі зв'язку, як складної системи, також може бути сформовано в результаті формування та дослідження її архітектури. При цьому доцільним є розгляд таких відокремлених структур:

- *топологічної*, яка визначає розташування пунктів мережі та ліній зв'язку;
- *організаційної*, яка визначає тип, призначення, статус елементів мережі залежно від виконуваних ними функцій;
- *логічної*, яка описує роботу мережі на рівні взаємодії мережевих функцій та правил встановлення зв'язку між кінцевими системами, взаємодіючими через телекомунікаційну мережу;
- *фізичної*, яка відображає фізичні пристрої та програмні засоби, в котрих реалізовано функціональні елементи мережі, фізичні середовища передавання сигналів.

Кожна з конкретних структур може бути відповідно змодельована. Модель дозволяє відобразити *найбільш важливі компоненти та зв'язки об'єкта*, і не враховувати несуттєві, відповідно до мети дослідження, деталі.

Сукупність таких моделей будемо називати **системним описом мережевої архітектури** (див. рис. 3.1).

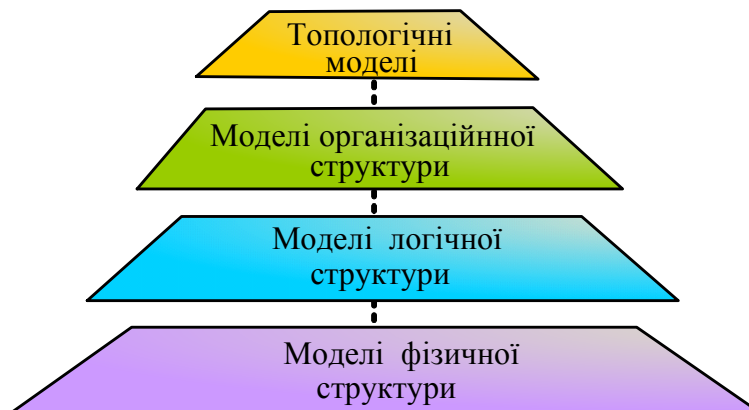


Рисунок 3.1. Системний опис мережевої архітектури

Нижче розглядаються деякі узагальнені моделі системного опису мережевої архітектури, які дозволяють з'ясувати загальні принципи побудови мереж.

### 3.2. Моделі топологічної структури

На рівні найбільш узагальненого уявлення, будь-яка мережа складається з сукупності *пунктів* і з'єднуючих їх *ліній*, взаємне розташування яких характеризує зв'язність мережі та здатність забезпечувати інформаційний обмін між різними адресатами. Така відокремлена структура мережі має назву «**топологія**».

Розрізняють топології *фізичних зв'язків* і *логічних зв'язків*.

## Топологія фізичних зв'язків

**Топологія фізичних зв'язків** відображає схему з'єднань елементів мережі.

Для дослідження топологічних особливостей мережі її зручно зображувати у вигляді *точок* і з'єднуючих їх *дуг*. Така геометрична фігура має назву **граф**. Точки в графі називають *вершинами*, а дуги, якщо не враховується їх спрямованість, – *ребрами*. Граф є моделлю топологічної структури мережі.

Вибір топології – це завдання, вирішення якого є першочерговим при побудові мережі. Він здійснюється з урахуванням таких вимог, як *економічність* і *надійність* зв'язку.

Задача вибору топології мережі вирішується порівняно нескладно, якщо відомим є набір *типових топологій (примітивів)*, які можна використовувати як окремо, так і в комбінації.

Розглянемо ряд таких типових топологій (назвемо їх базовими) та охарактеризуємо їх особливості.

**Топологія «точка - точка»** є найбільш простим прикладом базової топології й уявляє собою сегмент мережі, який зв'язує фізично й логічно два пункти (рис. 3.2).

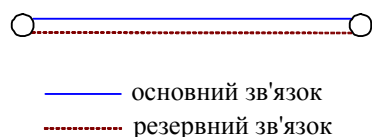


Рисунок 3.2. Топологія "точка - точка"

резервного зв'язку, який забезпечує стовідсоткове резервування, яке називають **захистом типу 1 + 1**. У разі

Надійність зв'язку в такому сегменті може бути підвищена за рахунок долучення



виходу з ладу основного зв'язку мережа автоматично під'єднується до резервного. Незважаючи на всю простоту, саме ця базова топологія найбільш широко використовується при передачі великих потоків інформації високошвидкісними магістральними каналами, наприклад, трансокеанськими підводними кабелями, які обслуговують цифровий телефонний трафік. Вона також використовується як складова частина радіально-кільцевої топології (у якості радіусів). Топологія «точка-точка» з резервуванням типу 1+1 може розглядатися як варіант топології «кільце» (див. нижче).

**Деревоподібна топологія** може мати різні варіанти (рис. 3.3).

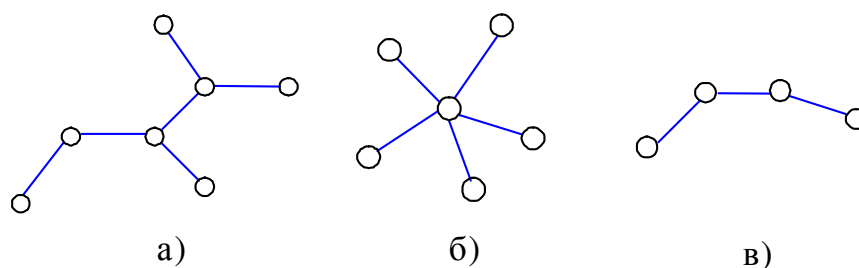


Рисунок 3.3. Деревоподібна топологія:  
 а - дерево, б - зірка, в - ланцюг

Особливістю сегменту мережі, що має деревоподібну топологію, будь-якого з перелічених варіантів, є те, що зв'язність  $n$  пунктів на рівні фізичної топології тут досягається числом ребер  $R = n-1$ , що забезпечує високу економічність такої мережі. На логічному рівні, кількість зв'язних шляхів передавання інформації між кожною парою пунктів у такому сегменті завжди дорівнює  $h=1$ . З точки зору надійності, це досить низький показник. Підвищення надійності в таких

мережах досягається введенням резервних зв'язків (наприклад, захисту типу 1 +1).

Деревоподібна топологія застосовується в локальних мережах, мережах абонентського доступу.

**Топологія «кілеце»** (рис. 3.4) характеризує мережу, в якій до кожного пункту приєднано дві (і тільки дві) лінії. Кільцева топологія широко використовується в локальних мережах, у сегментах міжвузлових з'єднань територіальних мереж, а також у мережах абонентського доступу, організованих на базі волоконно-оптичного кабелю.

Число ребер графа, яке відображає фізичну топологію, дорівнює кількості вершин:  $R = n$  і вказує на порівняно незначні витрати на мережу.

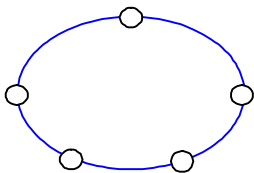


Рисунок 3.4. Топологія "кілеце"

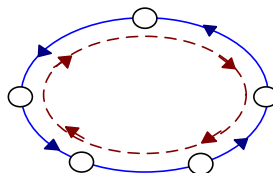


Рисунок 3.5. Топологія "подвійне кілеце"

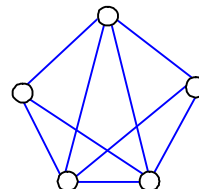


Рисунок 3.6. Повнозв'язна топологія

На логічному рівні між кожною парою пунктів можна організувати  $h=2$  незалежних зв'язних шляхи (прямий та альтернативний), що забезпечує підвищення надійності зв'язку в такому сегменті, особливо при використанні резервування типу 1 +1, так званого «подвійного кілеця» (рис. 3.5). Подвійне кілеце утворюється фізичними з'єднаннями між парами пунктів, при яких інформаційний потік направляється в двох протилежних напрямках (східному та західному), причому один напрям використовується як основний, другий – як резервний.

Повнозв'язна топологія (рис. 3.6) забезпечує фізичне та логічне з'єднання пунктів за принципом «кожен з кожним». Граф, який включає  $n$  вершин, містить  $R = n(n-1)/2$  ребер, що впливає на високу вартість мережі. Кількість незалежних зв'язних шляхів між кожною парою пунктів у такому сегменті мережі дорівнює  $h = n-1$ . Повнозв'язна топологія на логічному рівні забезпечує максимальну надійність зв'язку завдяки можливості організовувати велику кількість обхідних шляхів. Така топологія притаманна територіальним мережам при формуванні сегментів базових і опорних (магістральних) мереж. Максимальної надійності зв'язку в сегменті можна досягти, використовуючи на обхідних напрямках альтернативні середовища поширення сигналів (наприклад, волоконно-оптичний кабель і радіорелейна лінія).

**Коміркова топологія** (рис. 3.7). Кожен пункт сегмента має безпосередній зв'язок із невеликою кількістю пунктів, найближчих за відстанню.

При великій кількості вершин число ребер  $R \approx r n/2$ , де  $r$  - кількість ребер, інцидентних кожній вершині. Коміркові сегменти мають високу надійність зв'язку при меншій кількості ребер у порівнянні з повнозв'язним сегментом.

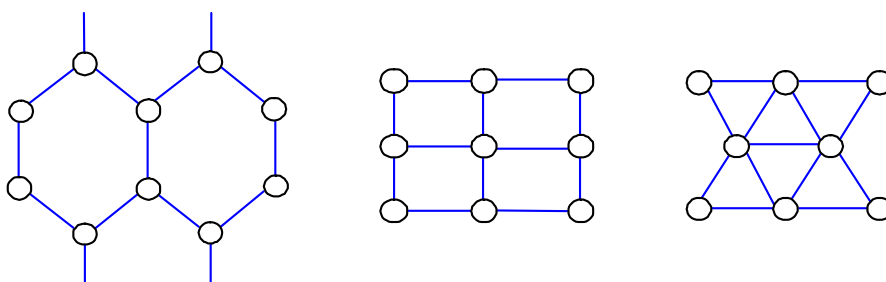


Рисунок 3.7. Комірчасті топології

Використання повнозв'язної та коміркової топологій є доцільним лише в сегментах із високою концентрацією трафіку, тому що їх реалізація пов'язана зі значними витратами.

**Складні (змішані) топології.** Реальні мережі часто мають складні топології, що є розширеннями та/або комбінаціями базових фізичних топологій (рис. 3.8). За рахунок використання складних топологій вдається забезпечувати вимоги до *розширюваності* та *масштабованості* мереж (ці питання розглядаються в розділі 5).

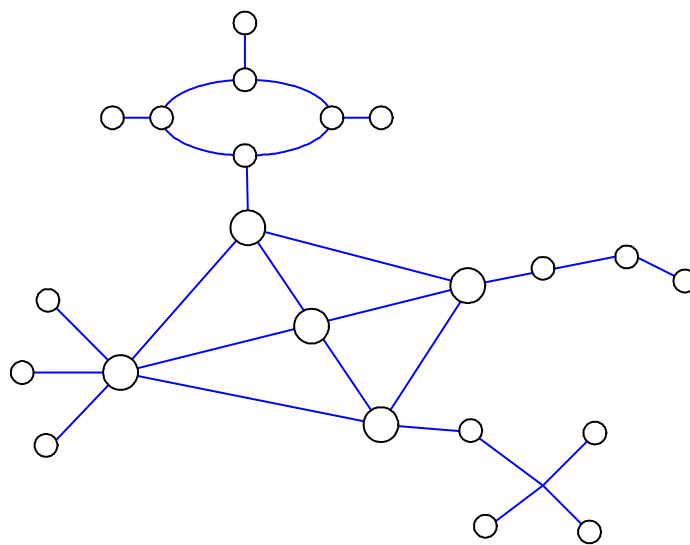


Рисунок 3.8. Складна мережева топологія

### ***Топологія логічних зв'язків***

**Топологія логічних зв'язків** дає уявлення про шляхи переміщення інформаційних повідомлень у мережі від джерел до одержувачів відповідно до адресної інформації. Зв'язані

шляхи можуть бути визначені лише в зв'язних фізичних топологіях (методи знаходження зв'язуючих шляхів із урахуванням різних критеріїв розглядаються в п. 6.4).

Під *зв'язуючим шляхом* розуміють послідовність ліній і вузлових пунктів, через які проходить маршрут перенесення інформації в мережі.

*Маршрут*, у свою чергу, вказує на спрямованість шляху (траєкторію перенесення інформації по мережі).

Сукупність потоків інформації (службової та призначеної для користувача), які переміщуються в мережі за певними маршрутами та навантажують мережу протягом певного інтервалу часу, називається **мережевим трафіком**.

Таким чином, топологія логічних зв'язків є адекватною *плану розподілу потоків мережевого трафіку*.

Узагальнено **планом розподілення потоків у мережі** називають суперпозицію (накладання) маршрутів передачі інформації, визначених у мережі для кожної пари джерело-одержувач.

Елементами моделі логічної топології є *логічні вузли та маршрути, які їх поєднують*.

**Логічними вузлами**, або далі скорочено **вузлами** (Nodes) *мережі на рівні топології логічних зв'язків називаються будь-які фізичні пристрої, яким призначені адресні ідентифікатори*.

Вузол може бути комп'ютером (робочою станцією або сервером), комунікаційним пристроєм, мережним принтером – будь-яким пристроєм з *мережним інтерфейсом* (встановленою мережевою платою (Network Interface Card, NIC)).

Вузол, у якому не передбачено виконання функцій вузлових пунктів (концентрації, мультиплексування, комутації або маршрутизації), називається *хостом*.

**Хост** (Host) – це вузол, який є кінцевою системою мережі і не може виконувати функції транзитного вузлового пункту. Для уточнення саме цього аспекту далі у тексті замість терміна «вузол» використовуватиметься термін «хост».

**ПРИМІТКА.** До відома, термін «хост» широко використовується в Інтернеті. Усі комп'ютери з унікальними IP-адресами та доменними іменами, які призначено для виконання програм користувачів та під'єднано до глобальної мережі, традиційно називаються хостами.

**Адресні ідентифікатори** підрозділяються на *адреси вузлів* і *мережеві адреси*.

**Адреси вузлів** мають назву – локальні чи апаратні адреси. Слово «локальний» означає «той, що діє в межах конкретного сегменту».

У локальних сегментах локальні адреси ще називають **фізичними адресами, адресами точки доступу до середовища** (Medium Access Control, **MAC**). Це унікальні числові значення, які можуть встановлюватися як програмно, так і апаратно. Наприклад, унікальні адреси на мережевих інтерфейсних платах Ethernet встановлено компанією-виробником, а адреси плат Token Ring і ARCnet – за допомогою спеціальних перемичок або перемикачів.

У територіальних сегментах локальні розширення ідентифікують мережеві інтерфейси взаємодіючих всередині

них вузлів та формуються відповідно до схеми адресації, передбаченої використовуваною телекомунікаційною технологією (X.25, ATM, Frame Relay).

**Мережева адреса** – це логічна адреса, яка присвоюється адміністрацією (спеціальним міжнародним органом) і визначає сегмент приєднання пристрою. Повна мережева адреса складається зі спільного для всіх вузлів номера мережі й унікального в цій мережі номера вузла.

В інформаційній мережі (як логічній надбудові) застосовуються також ідентифікатори (адреси) прикладних процесів, які взаємодіють через мережу (але в даному випадку вони не розглядаються, оскільки процеси не є фізичними пристроями). Моделями топологій логічних зв'язків прийнято вважати:

- логічну шину;
- логічне кільце;
- комутовану топологію.

Принцип побудови тієї чи іншої моделі топологічних зв'язків ґрунтується на виборі механізму, який забезпечує зв'язність вузлів (це питання розглядається в розділі 5).

Узагальнюючи, варто зазначити, що топологія логічних зв'язків може збігатися з топологією фізичних зв'язків у мережі або відрізнятися. Більше того, на основі однієї й тієї ж топології фізичних зв'язків можна побудувати різні топології логічних зв'язків, використовуючи відповідне комунікаційне (мережеве) обладнання.

### **3.3. Моделі організаційної структури мережі**

**Організаційна структура мережі зв'язку** визначає *рольове призначення й статус* мережевих елементів та утворених ними структурних компонентів залежно від поставленого завдання та займаного місця в мережі. Рольове призначення характеризує, умовно кажучи, «права та обов'язки» елементів або виділених структурних фрагментів мережі під час реалізації покладених на них функціональних завдань, а статус – рівень їх значимості відповідно до ієрархічної приналежності.

Організаційну структуру мережі можна порівняти, наприклад, із моделлю адміністративного устрою підприємства. Така модель узагальнено складається з адміністрації та виробничих підрозділів різного призначення. У межах цієї структури визначено посади й функції співробітників, які беруть участь у виробничому процесі, ієрархію адміністративного управління та принципи структуризації підприємства (наявність робочих груп, відділів, філій та ін.). Крім того важливими чинниками є виробничі завдання, які вирішуються кожним підрозділом, а також його масштаб.

#### ***Елементи моделі організаційної структури***

Пункти та лінії зв'язку передусім розглядаються як елементи моделі організаційної структури мережі. Однак особлива увага зосереджується не на їх розміщенні в просторі, а на тому, як виконувані ними функціональні завдання



впливають на рольове призначення та статус, яких вони набувають в рамках моделі організаційної структури мережі.

Пункти мережі підрозділяються на *кінцеві* і *вузлові*.

**Кінцеві пункти (КП)** (Endpoints) – це пункти, в яких розміщено термінальне обладнання користувачів і кінцеві системи мережі (сервери, на яких зосереджено інформаційні ресурси й застосовання, у тому числі застосовання системи керування мережею).

Пункти, призначені для розміщення термінального обладнання користувачів, яке забезпечує доступ в мережу, функціонують у ролі **абонентських пунктів (АП)**. Пункти, у яких зосереджено інформаційні ресурси, називаються **інформаційними центрами (ІЦ)**, а пункти системи керування відповідно – **центрами керування (ЦК)**.

У кінцевих пунктах телекомунікаційна мережа представлена пристроєм **мережевого закінчення** (Network Termination Unit, **NTU**), або просто **мережевим закінченням** (Network Termination, **NT**), яке в організаційній структурі набуває статусу *точки присутності телекомунікаційної мережі*. Прикладом цього є звичайна телефонна розетка, інформаційна розетка з телекомунікаційним роз'ємом для під'єднання комп'ютера.

**Вузловий пункт (Node Points)** – це пункт мережі, в якому сходяться дві і більше ліній зв'язку.

У вузловому пункті зазвичай розміщується комунікаційне (мережеве) обладнання, за допомогою якого можуть виконуватися такі функції, як *концентрація, мультиплексування, комутація та маршрутизація*.

**Концентрація** (Concentration) передбачає поєднання декількох невеликих за потужністю вхідних інформаційних потоків з метою отримання більш потужного вихідного потоку. Функція може бути реалізована в спеціалізованому пристрої на основі статистичного ущільнення (асинхронне мультиплексування). Слід зауважити, що в концентраторі для локальних мереж, який має назву «хаб», ця функція виконується досить умовно. Повідомлення, яке надходить на один з входів хаба, передається одночасно на всі виходи.

**Розподілення** (Distribution) – функція, протилежна концентрації, тобто відгалуження від концентрованого вхідного інформаційного потоку малих за потужністю вихідних потоків і розподіл їх між виходами. Функція реалізується в пристроях, які називаються *відгалужувачі*.

**Мультиплексування** (Multiplexing) забезпечує можливість передачі декількох потоків інформації однією лінією, що здійснюється закріпленням за кожним із них фіксованої частини ресурсу лінії (смуги пропускання або часу зайняття). Фіксований розподіл ресурсу лінії залишається незмінним навіть у періоди відсутності інформації, тобто функція концентрації не спрацьовує. Зворотна функція – *демультиплексування*. Реалізація в комунікаційних пристроях (мультиплексорах) функції мультиплексування завжди поєднується з демультиплексуванням.

**Комутація** (Switching) є процесом встановлення зв'язку між входами та виходами комутаційного пристрою на основі аналізу адресної інформації повідомлень і використання інформації відповідних таблиць комутації. Комутація може бути оперативною (на час передачі одного повідомлення) та

довготривалою, яка здійснюється шляхом кросування ліній, які сходяться у вузловому пункті.

**Маршрутизація (Routing)** – це поєднання процедур пошуку зв'язних шляхів (маршрутів) між вузлами мережі з метою формування таблиць маршрутизації та встановлення зв'язку між входами та виходами пристрою на основі адресної інформації повідомлень та з урахуванням вибору найкращого (за обраним критерієм) маршруту проходження повідомлення мережею.

У комунікаційному пристрої може бути реалізована одна з перерахованих функцій, саме тоді цей пристрій відповідно називається або концентратором, або мультиплексором, або комутатором, або маршрутизатором та ін. Можливим є також суміщення декількох функцій в одному пристрої як, наприклад, у маршрутизуючому комутаторі, АТС.

Порядок відносень між елементами (їх статус) в моделі організаційної структури визначається рівнями їх ієрархії (рис. 3.9).

Найнижчий рівень займають АП. Статус вузлових пунктів визначається відповідно рівнем *доступу, розподілу та ядра*.

АП зазвичай під'єднуються до вузлових пунктів рівня доступу. Таким чином для них реалізується право доступу в мережу (до її ресурсів).

Призначення та статус вузлових пунктів рівня розподілу визначається забезпеченням інформаційного обміну між АП, під'єднаними до різних вузлових пунктів рівня доступу. Залежно від способу структуризації мережі, рівень розподілу матиме декілька підрівнів. Вузлові пункти всіх підрівнів розподілу виконують функцію концентрації трафіку у висхідних напрямках і функцію розподілу – у низхідних.

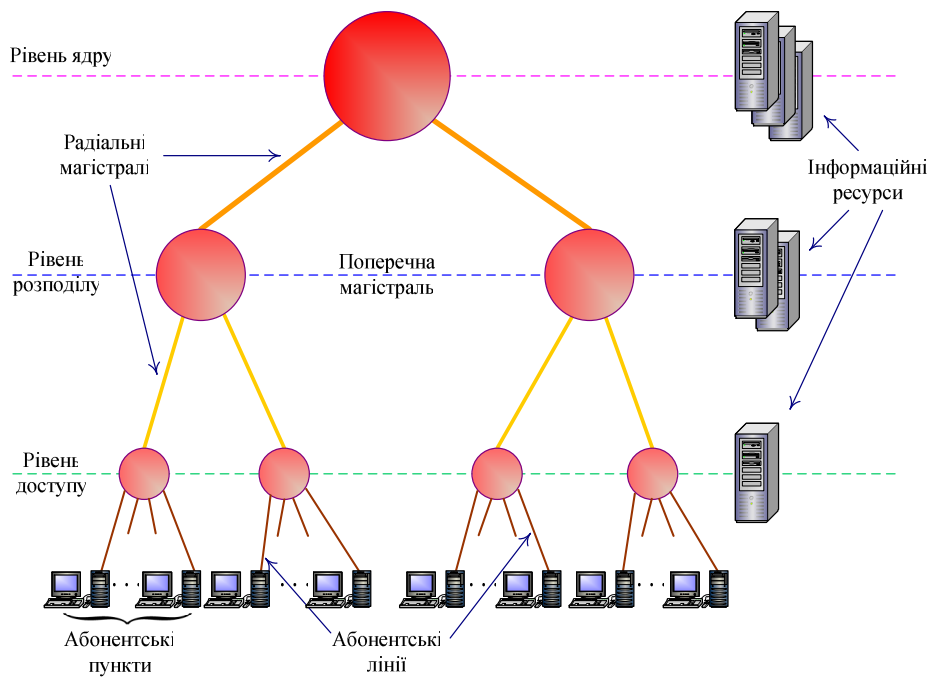


Рисунок 3.9. Узагальнена схема організаційної структури мережі

У вузлових пунктах рівня ядра інформаційні потоки досягають максимальної концентрації та перерозподіляються між усіма іншими пунктами мережі. Вузлові пункти рівня ядра мають найвищий статус, оскільки вони забезпечують зв'язність мережі в цілому за рахунок об'єднання вузлових пунктів рівня розподілу.

Точка підключення кінцевих систем (інформаційних центрів мережі) може бути організована у вузловому пункті будь-якого рівня. Це визначається масштабом контингенту користувачів, які мають загальну потребу у зверненні до інформаційного ресурсу. Чим вище сягає рівень підключення ресурсу, тим ширшою є його доступність. Те ж відноситься і до пунктів розміщення обладнання системи керування мережею – центрів керування (ЦК). Чим вищим є рівень

підключення, тим ширшою зона моніторингу технічного стану елементів мережі.

Лінії зв'язку в моделі організаційної структури також отримують відповідний статус.

Лінії, які з'єднують АП з відповідним вузловим пунктом рівня доступу, мають найнижчий статус і називаються **абонентськими лініями**.

Лінії, які з'єднують вузлові пункти між собою, називаються **магістральними**. Чим вищим є рівень ієрархії з'єднаних магістралями вузлових пунктів, тим вищим – статус самих магістралей, і, відповідно, вимоги до їх пропускної здатності, надійності.

Магістралі, що з'єднують вузлові пункти, які належать різним рівням ієрархії, називаються **радіальними магістралями**, а ті, що з'єднують вузлові пункти одного рівня, – **поперечними магістралями**.

### ***Рольове призначення вузлових пунктів в моделі організаційної структури***

Вузловий пункт відносно кінцевих пунктів, які він обслуговує, незалежно від статусу, може виступати в ролі: *опорного вузла, транзитного вузла або опорно-транзитного вузла*.

Якщо вузловий пункт забезпечує проходження трафіку тільки між КП конкретної групи, то відносно цих КП він виступає в ролі **опорного вузла**.

Якщо через вузловий пункт проходить трафік від деякої групи КП до будь-яких інших КП мережі, то він виступає в ролі **транзитного вузла**.

Якщо вузловий пункт забезпечує проходження трафіку як внутрішнього, так і зовнішнього обміну деякого конкретного числа КП мережі, то відносно цих КП він виступає у ролі **опорно-транзитного вузла**.

У практиці побудови та експлуатації телекомунікаційних та інформаційних мереж давно склалася й використовується термінологія, яка досить чітко відбиває рольове призначення вузлових пунктів.

Так, для мереж операторів і сервіс-провайдерів актуальними є терміни, що визначають призначення вузлових пунктів відповідно до реалізації функцій доступу.

Функції доступу в територіальних мережах незалежно від рівня ієрархії вузлового пункту прийнято розглядати за наступними аспектами:

- забезпечення доступу користувачів до телекомунікаційних служб та мережевих ресурсів;
- забезпечення доступу при з'єднанні сегментів телекомунікаційної мережі;
- забезпечення доступу до інформаційних ресурсів глобальної мережі Інтернет.

Вузловий пункт, у якому забезпечується доступ користувачів до служб мережі з метою отримання телекомунікаційних та інформаційних послуг, називають **сервісним вузлом** (Service Node, **SN**). Це може бути вузол рівня доступу, розподілу або ядра.

Вузловий пункт, де забезпечується з'єднання сегментів телекомунікаційної мережі, наприклад, мережі доступу та

транспортної мережі, називається **вузлом доступу** (Access Node, **AN**).

Вузловий пункт, у якому забезпечується підключення сервіс-провайдера національного рівня в глобальну інформаційну мережу Інтернет, називається **точкою мережевого доступу** (Network Access Point, **NAP**). Це вузловий пункт рівня ядра. Через NAP організується спілкування клієнтів одного національного провайдера з клієнтами інших національних провайдерів.

Сервіс-провайдер національного рівня, як правило, має в декількох регіонах вузлові пункти, які називаються **точками присутності** (Points of Presents, **POP**). До POP під'єднуються провайдери регіонального рівня, які, у свою чергу, розміщують у різних місцях регіону свої точки присутності для підключення провайдерів нижчого рівня або корпоративних клієнтів. Такі вузлові пункти мають статус рівня розподілу. Точки присутності провайдерів, де забезпечується підключення індивідуальних клієнтів, мають статус рівня доступу.

### **3.4. Моделі логічної структури мережі**

На логічному рівні мережу зв'язку описують такими моделями:

- функціональна модель;
- протокольна модель;
- модель програмного забезпечення.

## **Функціональна модель**

**Функціональна модель** – це *абстрактний опис мережі зв'язку, що не залежить від принципів її фізичної реалізації*. Вона відображає взаємозв'язок функцій, які виконуються в мережі й які в даному випадку розглядаються як елементи моделі.

**Функція** – це певний логічний елемент, що виконує конкретне завдання в мережі. Реалізація функцій допустима в таких варіантах:

- у вигляді апаратних засобів;
- у вигляді програмного продукту.

Поняття «функція», що використовується в телекомунікаціях, традиційно передбачало реалізацію зв'язку в апаратному забезпеченні. Однак, завдяки потужному розвитку індустрії програмного забезпечення, виникла можливість реалізації функцій програмним способом. Функції, реалізовані у вигляді програмних продуктів, прийнято називати **об'єктами**. Хоча, строго кажучи, обидва поняття є синонімами, надалі все-таки будемо дотримуватися цього умовного розмежування, підкреслюючи таким чином, що в мережі реалізовано програмно, а що апаратно.

Розрізняють такі основні типи функцій мережі зв'язку:

- **прикладні функції** – об'єкти застосовань користувачів;
- **функції обробки та зберігання даних** – об'єкти, що забезпечують виклик об'єктів застосовань, їх



взаємодію, а також витяг необхідних даних або розміщення їх у базу даних;

- **функції керування послугами** – об'єкти, що дозволяють формувати послуги, необхідні користувачами, управляти ресурсами мережі, пов'язаними з їх наданням, і взаємодією користувачів з цими послугами;
- **комунікаційні функції** – транспортні функції, функції керування передачею потоків даних, функції керування телекомунікаційними послугами;
- **функції керування мережею** – об'єкти, які здійснюють керування роботою мережі в цілому (моніторинг дієздатності елементів мережі, збір статистики про проходження сигналів, вирішення аварійних і неординарних ситуацій та ін.).

Порядок і правила взаємодії між функціями та об'єктами мережі формують *зв'язки* між елементами у функціональній моделі. Повна специфікація такої взаємодії називається **логічним інтерфейсом**.

Логічний інтерфейс є містким поняттям, що охоплює як набір правил поведінки взаємодіючих елементів, так і формат подання інформації, якою вони обмінюються.

Логічний інтерфейс між об'єктами одного типу називається **протоколом**.

Логічний інтерфейс між комунікаційними функціями отримав назву **еталонної точки телекомунікаційної мережі**.

## Функціональні модулі

Розглядаючи реалізацію функцій та об'єктів, є допустимим та доцільним їх групувати в *функціональні модулі*. Функціональні модулі можуть формуватися як функціональні підсистеми й домени.

У **функціональні підсистеми** зазвичай об'єднуються функції та об'єкти, для яких важливою є спільна реалізація. Прикладом утворення функціональної підсистеми є поєднання транспортної функції та функції керування потоками при їх програмно-апаратній реалізації в сегментах телекомунікаційної мережі (рис. 3.10). У такому контексті телекомунікаційну мережу на рівні функціональної моделі часто називають *транспортною підсистемою*.

Аналогічно можна виокремити *підсистему адміністративного керування мережею, підсистему послуг та програм* і менш масштабні підсистеми: *підсистему передачі, підсистему розподілу інформації* та ін.

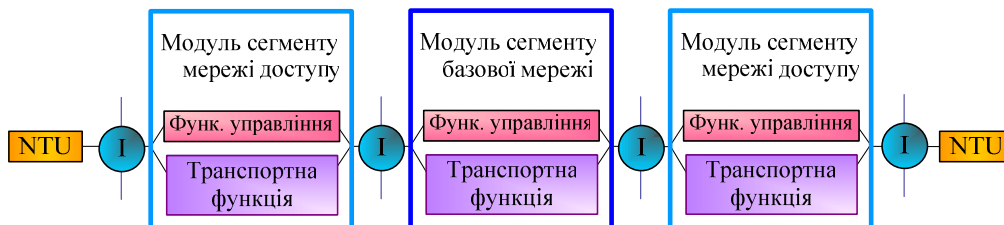


Рисунок 3.10. Зразок утворення транспортної підсистеми на рівні функціональної моделі

I - інтерфейс (еталонна точка телекомунікаційної мережі);

NTU – мережеве закінчення

**Домен** – це функціональний модуль, сформований за принципом *приналежності функцій і об'єктів одній групі*. При цьому враховувати їх спільну дію при реалізації в апаратних засобах або програмних продуктах не потрібно. Прикладами можуть бути домен користувача (рис. 3.11) і домен оператора мережі (рис. 3.12).

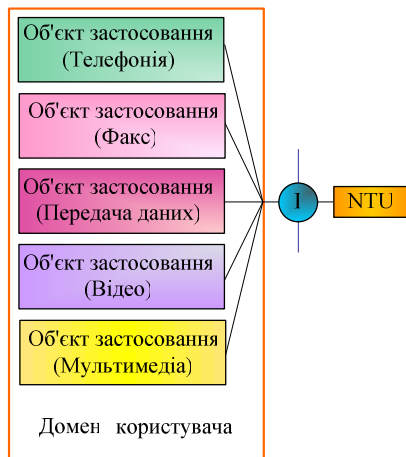


Рисунок 3.11. Зразок утворення домену користувача

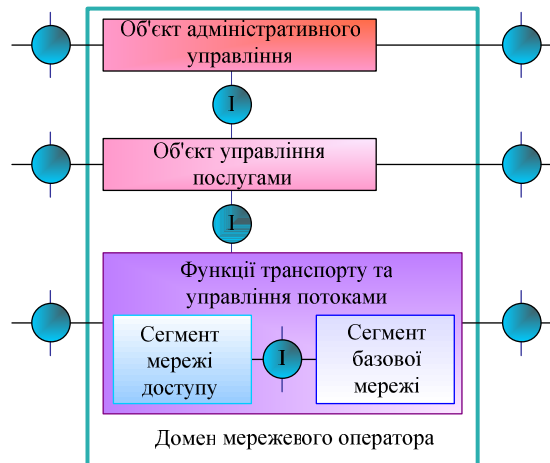


Рисунок 3.12. Зразок освіти домену мережевого оператора

Конкретний склад об'єктів (функцій) домену називається *конфігурацією домену*. Не важко переконатися, наприклад, що конфігурації доменів різних користувачів можуть істотно відрізнятися. Конфігурації доменів мережевих операторів також можуть бути різними. Це залежить від багатьох факторів, основним з яких є можливості ресурсів мережі з надання тих чи інших послуг та застосовань. Якщо надання конкретної послуги або набору послуг вимагає участі декількох операторів, їх домени розглядаються на функціональному рівні як об'єднану платформу надання послуг.

Взаємодія й функціональних підсистем, і доменів реалізується за допомогою логічних інтерфейсів.

Крім вищесказаного слід наголосити ще на одному принципово важливому аспекті функціональної моделі мережі. Залежно від способу формування функціональних модулів і можливостей їх реалізації (при конкретному рівні науково-технічного прогресу), може бути сформована одна або інша *концепція побудови мережі*.

Проілюструємо це таким чином. Наприклад, концепція телефонної мережі полягає в побудові дорогих АТС як єдиної структури, в якій поєднують функції комутації, керування обслуговуванням викликів, об'єкти послуг та застосовань, а також білінгу. Така АТС у мережі є монолітною, закритою системною структурою та, як правило, не допускає розширення або модернізації з використанням обладнання інших виробників. Спроба відокремити від АТС підсистему послуг та застосовань породила концепцію інтелектуальної мережі (Intelligent Network, **IN**). Це дозволило організувати в телефонній мережі додаткові види обслуговування (ДВО) (розширити конфігурацію домену) та надавати різні послуги за заявками користувачів, формуючи їх з окремих компонентів. Концепція IN припускає наявність таких функціональних модулів (підсистем), як модуль розпізнавання викликів, що вимагається виконанням ДВО; модуль формування необхідного сервісу з незалежних функціональних компонентів; модуль керування мережевими ресурсами та ін. При цьому функціонування підсистеми ДВО є абсолютно незалежним від типу мережі зв'язку. Технологія IN може бути реалізована на базі будь-якої комутованої мережі (аналогової або цифрової), а також мережі передачі даних.

Поява Softswitch, добремасштабованого сучасного програмного комутатора, докорінно змінила традиційну закриту систему комутації. Розвиваючи підхід IN в Softswitch, використовуючи відкриті інтерфейси, вдалося забезпечити швидке створення й надання нових послуг як оператором зв'язку самостійно, так і сумісно з різними виробниками обладнання й провайдерами послуг. Softswitch використовує принципи компонентної побудови мережі та відкриті стандартні інтерфейси між трьома основними функціями: комутація, керування обслуговуванням викликів, керування послугами та програмами. У такій відкритій розподільчій структурі можуть вільно використовуватися функціональні компоненти різних виробників.

Поділ функцій транспортування інформації та функцій керування її перенесенням мережею, а також відмежування функцій послуг та програм від власне зв'язкових функцій породило концепцію NGN (мереж наступного покоління). Такою є багатоконпонентна розподільча архітектура, в якій зв'язок між компонентами здійснюється виключно через відкриті інтерфейси. З позицій традиційної телефонії вона сприймається як мережа пакетної комутації під керування Softswitch, що підтримує широкосмуговий абонентський доступ і мультисервісне обслуговування трафіку.

Мережеві концепції детально вивчатимуться в розділі 8.

### ***Протокольна модель***

**Протокольна модель** описує роботу мережі зв'язку на рівні *правил взаємодії* (протоколів) об'єктів (функцій) та

функціональних модулів, розосереджених на різних кінцевих системах.

Повний набір протоколів, які забезпечують взаємодію кінцевих систем мережі, досить великий, оскільки при цьому активізується величезна кількість мережевих функцій. При побудові протокольної моделі зручно всі протоколи розбити на групи, відповідно до об'єднання об'єктів у функціональні модулі, кожен з яких вирішує певне коло тіснопов'язаних завдань. Така група протоколів називається *протокольним рівнем* або *протокольним блоком*. Їх прийнято розташовувати ієрархічно, відповідно до першорядності завдань, які виконуються функціональними модулями (рис. 3.13).

Ієрархію протокольних рівнів (блоків) протокольної моделі конкретної мережі зв'язку називають **стеком протоколів**.

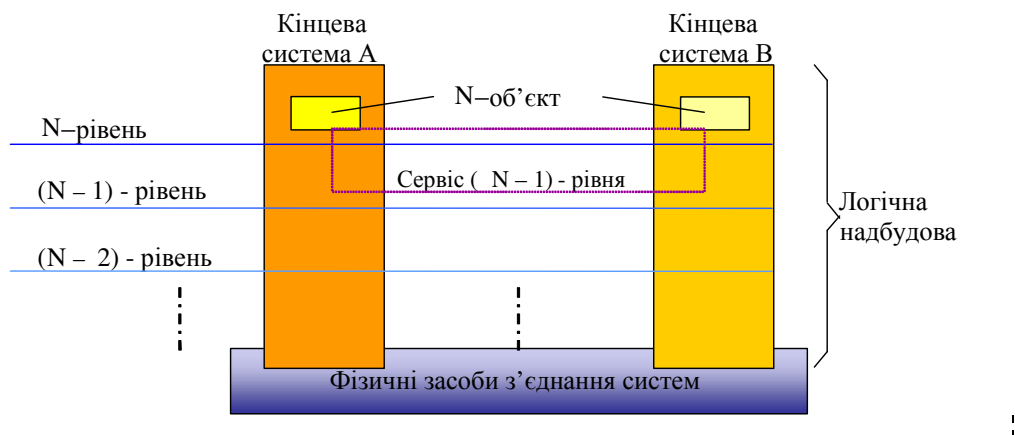


Рисунок 3.13. Принцип побудови протокольної моделі

N-об'єкти виконуючи завдання N-рівня, здійснюють *локальний* комплекс функцій даного рівня. Протокольні блоки

розташовані на рівні таким чином, що можливість виконання завдання N-рівня цілком залежить і забезпечується участю об'єктів нижчерозташованого (N-1)-го рівня й так далі. Таким чином, N-об'єкти виявляються залученими у взаємодію з (N-1)-об'єктами, а (N-1)- об'єкти з (N -2)- об'єктами і т. д. Кажуть, що кожен нижчий рівень надає *сервіс* вищому рівню.

Будь-який об'єкт N-рівня, активізуючись, видає інформацію двох типів:

1) інформацію, яка призначена для N-об'єкта іншої кінцевої системи (наприклад, дані користувача) й не пов'язана з операціями підтримання зв'язку об'єктів N-го рівня;

2) інформацію керування, яка призначена для об'єкта (N-1)-го рівня, за допомогою якої здійснюється координація процедур "з'єднання" об'єктів N-го рівня різних кінцевих систем.

Угоди, які визначають порядок взаємодії об'єктів одного рівня на різних кінцевих системах, називають *протоколом*, а угоди, які визначають порядок взаємодії об'єктів різних рівнів на одній кінцевій системі – *інтерфейсом*.

Як ілюстрацію того, як відбувається реалізація протоколів і міжрівневих інтерфейсів при ініціалізації взаємодії двох кінцевих систем, розглянемо процес ділового інформаційного спілкування між двома високопосадовцями, які знаходяться в різних установах. Особа, яка підготувала інформаційне повідомлення, передає його помічникові з адміністративної роботи (рівень, розташований нижче) та повідомляє ім'я одержувача. Помічник з адміністративної роботи (якщо це необхідно) шифрує повідомлення та

форматує його (розміщує на офіційному бланку). Підготовлений документ передається секретареві (наступний нижчий рівень), який, у свою чергу, кладе його в конверт, додає повну адресу та наклеює поштову марку. Кур'єрський рівень забезпечує фізичну доставку конверта серед іншої кореспонденції за адресою одержувача.

У такій системі відправник не має уявлення про механізм доставки. Він цілком покладається на сервіси нижчих рівнів і не турбується про те, як вони реалізуються. Це принциповий момент, який є необхідним у правильно сформованому стеку протоколів. Будь-який рівень повинен мати можливість змінювати механізм реалізації наданого ним сервісу, не впливаючи на роботу будь-якого іншого рівня. Так, наприклад поштовий кур'єр може доставляти кореспонденцію на велосипеді, автомобілі або поїзді, але це жодним чином не позначиться на роботі інших співробітників апарату. Вони повинні лише бути впевнені, що кореспонденція буде доставлена адресатові. Або, якщо передані дані в системі обробляються з використанням повного стека протоколів, ми можемо замінити мідне середовище передачі на оптико-волоконне, й це не впливатиме на програмне чи апаратне забезпеченні верхніх рівнів стека.

Підкреслюючи важливість протокольної моделі в реалізації принципів взаємодії кінцевих систем, її називають ще **архітектурою зв'язку** в мережі. Архітектура зв'язку є основою для розробки мережевих стандартів, які є надзвичайно необхідними для забезпечення взаємодії між обладнанням різних виробників і сумісності мереж різних операторів.



## ***Модель програмного забезпечення***

Навіть поверхневий розгляд функціонування мережі зв'язку доводить, що це складний комплекс програмних і апаратних компонентів. Саме програмне забезпечення визначає функціональність мережі зв'язку.

Сучасне мережеве програмне забезпечення є надзвичайно структуризованим. Основні функції й уся архітектура зв'язку (протокольні моделі) по суті реалізуються в програмному забезпеченні мережі.

Аналіз **програмної структури** дозволяє розглянути ієрархію мережевого програмного забезпечення. Елементами цієї структури є програмні модулі, в яких реалізовано об'єкти та логічні модулі мережі.

Ієрархія програмного забезпечення (ПЗ) може бути подана таким чином:

- прикладне ПЗ;
- проміжне ПЗ;
- базове ПЗ.

У **прикладному ПЗ** реалізовано об'єкти застосовань. Розрізняють два типи застосовань, які впливають на структуру організації ПЗ – *локально обмежені і розподільчі*.

**Локально обмежене застосування** інсталується, викликається, керується й виконується в межах однієї кінцевої системи та не вимагає залучення комунікаційних функцій. Прикладом може бути редагування документа при підготовці тексту на комп'ютері користувача (терміналі користувача).

**Розподільче застосування** складається з кількох компонентів, які можуть виконуватися в різних кінцевих системах а, отже, вимагають організації взаємодії цих кінцевих систем. Наприклад, спільне редагування тексту значної за обсягом публікації користувачами, які знаходяться на віддалі.

Компоненти розподільчого застосування можуть неодноразово використовуватися іншими застосуваннями. У цьому випадку вони стають об'єктами *проміжного ПЗ* і підтримують послуги, пов'язані з інтелектуальними можливостями мережі.

**Проміжне ПЗ** реалізує в мережі функції керування послугами та функції адміністративного керування мережею. Об'єкти обох груп ПЗ аналогічно до компонентів розподільчих застосувань взаємодіють за допомогою комунікаційних функцій мережі

**Базове ПЗ** призначено для забезпечення об'єктів прикладного ПЗ та проміжного ПЗ виконанням спільних дій з іншими об'єктами за допомогою взаємодії середовища з комунікаційними функціями мережі й логічними інтерфейсами користувачів. Організація цього середовища здійснюється уніфікованими програмними комплексами, які називаються **мережевими операційними системами**. Від того, які концепції керування ресурсами покладено в основу мережевої ОС, залежить ефективність роботи не тільки об'єктів прикладного та проміжного ПЗ, але й мережі в цілому. Стандартами мережевих ОС де-факто на сьогодні стали системи UNIX і мережеві версії Windows. Логічні компоненти комунікаційних функцій, реалізованих програмно, які забезпечують підтримання зв'язку між віддаленими об'єктами, також розглядають як функції базового ПЗ.

До базового ПЗ належать також об'єкти обробки та зберігання даних, реалізовані в таких програмних комплексах, як СКБД (системи керування базами даних), базове ПЗ сервера обробки транзакцій та ін.

Тип взаємодії між об'єктами визначається типом **об'єктного інтерфейсу**, який є подібним до *протоколу* та *функціональної еталонної точки*.

Розрізняють такі типи об'єктних інтерфейсів (програмних інтерфейсів):

- **прикладний протокол** (Application Protocol, **AP**) – логічний інтерфейс між прикладними об'єктами;
- **інтерфейс прикладних програм** (Application Program Interface, **API**) – логічний інтерфейс між прикладними об'єктами та об'єктами проміжного ПЗ, які підтримують прикладні об'єкти;
- **протокол проміжного ПЗ** (Managing Protocol, **MP**)– логічний інтерфейс між об'єктами проміжного ПЗ;
- **інтерфейс базових програм** (Base Program Interface, **BPI**)– логічний інтерфейс між об'єктами проміжного та базового програмного забезпечення, які підтримують об'єкти проміжного ПЗ;
- **інтерфейс “людина-комп'ютер”** (User-Computer Interface, **UCI**) – логічний інтерфейс між користувачем і, головним чином, об'єктами базового ПЗ, проте він може включати в себе також логічний інтерфейс з об'єктами проміжного ПЗ і навіть об'єктами застосовань.

Мережеве програмне забезпечення є ресурсом, яке бере участь в організації платформ надання послуг, а з цього випливає, що композиційним принципам об'єднання програмних модулів, як і принципам побудови функціональної моделі мережі, притаманна така ж специфіка динамізму, як і принципам побудови функціональної моделі мережі.

### **3.5. Компоненти і моделі фізичної структури мережі**

У цьому розділі розглядаються елементи мереж зв'язку як фізичних об'єктів. Ми з'ясували, як мережеві функції та об'єкти реалізуються у фізичних пристроях – апаратурі. Загальна архітектура зв'язку та принципи взаємодії функцій і об'єктів кожного рівня вже є відомими з попереднього розділу.

Апаратура, разом з поєднуючою її кабельною системою, утворює *фізичне мережеве середовище*. Воно відображається моделлю, яка називається *фізичною структурою мережі*.

Під **фізичною структурою мережі** будемо розуміти склад її *активного та пасивного обладнання* та топологію його розміщення в просторі.

**Активне мережеве обладнання** охоплює весь парк кінцевого й комунікаційного устаткування мережі, функціонування якого забезпечується за рахунок споживання електроенергії від зовнішніх джерел живлення. Активне мережеве обладнання виконує комплекси тих функцій мережі, які реалізуються в апаратурі.

**Пасивне обладнання мережі**, на відміну від активного, не має потреби в джерелах електроживлення й містить у собі кабельну систему, телекомунікаційні роз'єми, комутаційні панелі, комутаційні шнури, монтажне обладнання тощо.

### *Узагальнена модель апаратної реалізації функцій та об'єктів*

Узагальнена модель апаратної реалізації демонструє, як реалізуються ті чи інші функції та об'єкти в активному обладнанні мережі, а також інтерфейси між різними апаратними засобами. Вона також дозволяє визначити додаткові інтерфейси між обладнанням від різних постачальників та їх характеристики, які підлягають стандартизації.

Узагальнено під **апаратурою** (Equipment) будемо розуміти активне обладнання, в якому функції можуть бути реалізовані як у вигляді апаратного забезпечення, так і у вигляді програмного забезпечення (див. рис. 3.14). Апаратура може мати модульну конструкцію, тобто складатися з певної кількості знімних плат.

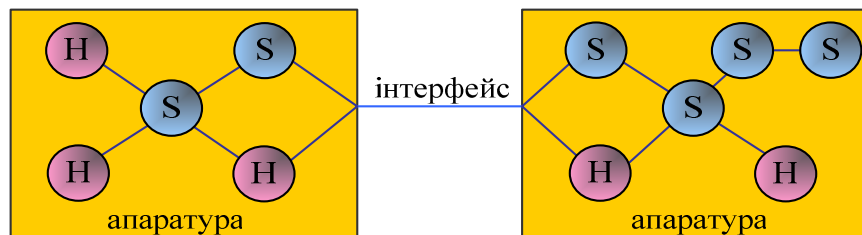


Рисунок 3.14. Схема моделі реалізації:  
H – апаратне забезпечення (Hard ware)  
S – програмне забезпечення (Soft ware)

Елементами моделі апаратної реалізації є такі:

- **апаратне забезпечення** (Hard ware)– обладнання, в якому одна або декілька функцій реалізовано фізично;
- **програмне забезпечення** (Soft ware) – один або декілька програмних модулів, які представляють собою реалізацію одного або декількох об'єктів;
- **фізичний інтерфейс** (Phisical interface) – фізичне середовище (проводи) для передачі сигналів між різної апаратурою.

Сукупність різних пристроїв, потенційно призначених для використання в мережових середовищах, **називається парком апаратури активного обладнання мережі.**

### *Активне обладнання мережі*

Активне обладнання мереж зв'язку складається з пристроїв, які використовуються для організації кінцевих і вузлових пунктів, а також інтерфейсних пристроїв, які забезпечують спряження апаратури з лініями зв'язку.

У технічній літературі набули вжитку такі позначення класів апаратури: DTE, DCE і DTE/DCE. Охарактеризуймо кожен з них більш детально.

Усі пристрої в мережі, які функціонують як джерела та приймачі даних на фізичному рівні моделі OSI/ISO, визначаються як клас **DTE** (Data Terminal Equipment) – **кінцева апаратура даних** (КАД). У термінології електрозв'язку дана апаратура називається ще «**кінцевим обладнанням даних**» (КОД).

Разом із функцією *формування даних*, у реалізації якої в основному бере участь програмне забезпечення, в КАД здійснюється також функція *керування потоком даних* для узгодження роботи джерела й приймача. Ця функція, як правило, виконується апаратно.

Відмінною особливістю обладнання класу DTE є те, що воно не належить до складу устаткування ліній зв'язку.

Для забезпечення обміну даними між пристроями DTE через канали зовнішніх телекомунікацій необхідно використовувати фізичні *інтерфейсні пристрої*, які здійснюють обробку даних з урахуванням вимог передачі каналом певного стандарту. Ці пристрої забезпечують не тільки протокол фізичного рівня, а й фізичні засоби приєднання до середовища передачі, а тому вважаються устаткуванням лінії зв'язку.

Обладнання, що забезпечує сполучення DTE з каналами зв'язку, визначається як **клас DCE** (Data Communication Equipment) - **апаратура передачі даних** (АПД). Пристрої DCE працюють на фізичному рівні, відповідаючи за передачу й прийом сигналів потрібної форми та потужності в середовищі передачі, й не можуть розглядатися в якості джерел і приймачів даних.

Визначаючи чіткіше, варто зауважити, що мережеве обладнання важко розподілити за конкретними класами DTE та DCE. Наприклад, мережевий адаптер можна вважати як складовою комп'ютера (DTE), так і частиною каналу зв'язку (DCE).

У кожному сегменті інформаційної мережі DTE набуває функцій будь-якого джерела даних, поданих у форматі кадру

канального рівня. Отже, це може бути й мережевий адаптер, і вихідний порт комутатора, й вихідний порт маршрутизатора. Хоча кадр даних спочатку продукується мережевим адаптером комп'ютера, а через комутатор або маршрутизатор відбувається його трансляція, для сегменту мережі, під'єданого до вихідного порта комутатора або маршрутизатора, цей кадр є новим. Отже, *вихідний порт* і комутатора, і маршрутизатора стає джерелом кадрів і може розглядатися як вихід пристрою DTE.

Зважаючи на вищепростежене, такі комунікаційні пристрої, як мости, комутатори і маршрутизатори розглядають у межах змішаного класу – **класу DTE/DCE**, де розрізняють відповідні *типи портів*: DTE або DCE. Для цих портів принципами функціонування є такі: для порту DTE сигнал даних передавача є вихідним, а сигнал даних приймача – вхідним; для порту DCE– відповідно навпаки.

### ***Пасивне обладнання мережі***

**Пасивне обладнання** використовується для побудови телекомунікаційних кабельних систем мережі. Кабельна система – це складний технічний об'єкт, який будується відповідно жорстким вимогам загальноприйнятих стандартів. До нього належать лінійно-кабельні споруди кабелі ліній зв'язку, регенераційне обладнання, тощо. Створення й правильна експлуатація такого об'єкта вимагають відповідного рівня кваліфікації проєктувальників, монтажників і обслуговуючого персоналу.



Обладнання кабельних систем для мереж підприємств є набором компонентів і аксесуарів структурованих кабельних систем (СКС) і складається з кабелів, роз'ємів телекомунікаційних та інформаційних розеток, монтажного обладнання, настінних коробів для прокладки кабелів горизонтальної розводки, закладних для прокладання кабелів вертикальної розводки та ін.

### **Контрольні питання**

1. До якого класу об'єктів належать мережі зв'язку? Якими закономірностями вони характеризуються?
2. У чому полягає особливість системного підходу у вивченні мереж зв'язку як складних систем?
3. Поясніть відмінність понять системи як об'єкта та як моделі.
4. Як трактується поняття "архітектура" в техніці?
5. Що таке архітектура мережі та її системний опис?
6. У чому полягає відмінність топологій фізичних і логічних зв'язків?
7. Перелічіть базові топології фізичних зв'язків та їх характеристики.
8. У чому відмінність вимог до розширюваності й масштабованості мережі?
9. Що відображають моделі організаційної структури мережі?
10. Що є елементами моделі організаційної структури на рівні топології фізичних зв'язків?

11. У чому полягає відмінність кінцевих пунктів інформаційної мережі та телекомунікаційної мережі?
12. Які функції виконуються у вузлових пунктах мережі зв'язку?
13. Проаналізуйте ієрархію вузлових пунктів. Як розподіляються функції вузлових пунктів залежно від їх місця в схемі багаторівневої структуризації?
14. Чим вирізняється рівень під'єднання кінцевих систем (хостингових систем) інформаційної мережі?
15. Як визначається статус магістральних ліній зв'язку?
16. Охарактеризуйте рольове призначення вузлових пунктів у моделях організаційної структури мережі.
17. У яких ролях може виступати вузловий пункт відносно кінцевих пунктів інформаційної мережі?
18. У чому специфіка функцій та об'єктів мережі?
19. Назвіть основні функції, які здійснюються в інформаційній мережі.
20. Поясніть терміни "логічний інтерфейс", "протокол", "еталонна точка телекомунікаційної мережі".
21. Що таке "функціональні модулі", "підсистеми" і "домени"?
22. Яким чином способи формування функціональних модулів впливають на появу нової концепції побудови мережі?
23. Що характеризує протокольна модель мережі?
24. Якими особливостями характеризуються рівні протокольної моделі?
25. Якою є структура програмного забезпечення мережі?
26. Що таке "модель фізичної структури мережі"?

27. З яких компонентів складається модель апаратурної реалізації функцій й об'єктів мережі?

28. Охарактеризуйте відмінні риси активного та пасивного обладнання мережі.

29. Перерахуйте класи апаратури активного обладнання мережі.

## Розділ 4. Стандарти протокольних моделей

### 4.1. Проблеми стандартизації мереж

Завдання побудови мережі – це, по суті, поєднання різноманітного обладнання, подальша функціональність та спільна робота якого залежить від забезпечення його сумісності. Без дотримання всіма виробниками загальноприйнятих стандартів для обладнання та протоколів прогрес у розвитку мереж був би неможливий. Тому весь розвиток галузі зв'язку, врешті-решт, відображено в стандартах. Будь-яка нова мережева технологія тільки тоді набуває законного статусу, коли її положення закріплюються у відповідному стандарті.

Стандарти мереж описують мережі як відкриті системи.

**Відкритою системою** називається будь-яка система (мережа, програмний продукт, апаратний засіб), яка побудована відповідно до відкритих специфікацій.

Під терміном **«специфікація»** розуміють формалізований опис апаратного або програмного компонента мережі, способу його функціонування, взаємодії з іншими компонентами, умов експлуатації й особливих характеристик.

Зауважимо, що не кожна специфікація є стандартом. Стандартом стає *відкрита специфікація*, яка приймається в результаті досягнення згоди після всебічного обговорення всіма зацікавленими сторонами та оприлюднення її у відкритій пресі.

Використання відкритих специфікацій (стандартів) дозволяє різним виробникам обладнання випускати сумісні між собою мережеві компоненти, а мережевим операторам

створювати мережі з продуктів різних виробників і забезпечувати сумісність своїх мереж з мережами інших операторів та суб'єктів ринку телекомунікацій.

Відкритий характер стандартів є важливим не тільки для пристроїв і програм, які випускаються для побудови мереж, але й для комунікаційних протоколів.

Отже, дотримання відкритих стандартів надає такі переваги:

- можливість побудови мереж з апаратних і програмних засобів різних виробників;
- безпроблемну заміну одних компонентів мережі іншими, більш досконалыми, що дозволяє забезпечити розвиток мережі з мінімальними витратами;
- вільне сполучення однієї мережі з іншою.

#### **4.2. Розробники стандартів**

Робота у сфері стандартизації ведеться великою кількістю організацій. Відповідно до статусу розрізняють наступні:

- окремі великі фірми-виробники (наприклад, IBM, Sun і т.п.);
- спеціальні комітети та об'єднання, засновані декількома компаніями (наприклад, **ATM Forum** з кількісним складом колективних учасників близько 100, **Fast Ethernet Alliance** з розробки стандартів 100 Мбіт Ethernet та ін.);

- національні інститути та центри, які є організаціями країн і великих регіонів. Наприклад, **Інститут національних стандартів США** (American National Standards Institute, **ANSI**), **Інститут стандартів телекомунікацій Європейського Союзу** (European Telecommunications Standards Institute, **ETSI**), **Інститут інженерів з електротехніки та електроніки США** (Institute of Electrical and Electronics Engineers, **IEEE**), **Комітет з телекомунікаційних технологій Японії** (Telecommunication Technology Community, **TTC**);
- міжнародні організації, такі як: **Міжнародна організація стандартизації** (International Organization for Standardization, **ISO**), **Міжнародний союз електрозв'язку** (International Telecommunication Union, **ITU**) з такими секціями: **ITU-R** – секція радіомовлення, **ITU-T** – секція телекомунікацій, **ITU-D** – секція розвитку;
- всесвітні організації, очолені міжнародними групами. Це організації, які займаються інтернет-стандартизацією, серед яких основним є науково-адміністративне **співтовариство Інтернету** (Internet Society, **ISOC**) зі складом понад 100 000 осіб. Пріоритетним завданням цієї організації є вирішення соціальних, політичних та технічних проблем еволюції Інтернету.

Деякі стандарти, розвиваючись, можуть переходити з однієї категорії в іншу. Так, поширені на сьогодні фірмові

стандарти на продукцію зазвичай стають міжнародними стандартами де-факто, оскільки змушують виробників різних країн дотримуватися їх, щоб забезпечити сумісність своїх виробів з продуктами найширшого споживацького попиту.

У зв'язку з розширенням сфери застосування та технічною доцільністю деякі фірмові стандарти стають основою національних і міжнародних стандартів.

### **4.3. Еталонна модель OSI/ISO**

У 1977 році ISO почала розробку стандартів універсальної архітектури зв'язку, яка отримала назву **Еталонної моделі взаємодії відкритих систем** (Open System Interconnection, **OSI**), або скорочено – **«модель OSI/ISO»**.

Модель OSI/ISO є концепцією застосування відкритих стандартів, спрямованою на забезпечення сумісності між різними системами, що дозволяє мінімізувати кількість угод, які не мають безпосереднього відношення до організації самого з'єднання між системами. Перша версія стандартів моделі OSI/ISO була випущена як стандарт X.200. Робота зі стандартизації моделі OSI/ISO, спільну участь у якій беруть ISO і ITU–T, триває до сьогодні.

Еталонна модель OSI є визначальним документом для розробки відкритих стандартів з організації з'єднань систем і мереж зв'язку.

Розробники еталонної моделі за основу взяли такі принципи:

- кількість протокольних рівнів не повинна бути занадто великою, щоб розробка мережі та її реалізація не ускладнювалися, водночас ця кількість не має бути

занадто малою, щоб не перевантажувати логічні модулі кожного рівня;

- рівні повинні чітко відрізнятися логічними модулями й функціями (об'єктами), які на них виконуються ;
- функції та протоколи одного рівня можуть змінюватися, якщо це не порушує інші рівні;
- кількість інформації, яка передається через інтерфейси між рівнями, повинна бути мінімальною;
- допускається подальше структурування рівнів на підрівні, якщо виникає необхідність локального зосередження на функціях у межах одного рівня. Виокремлення підрівнів є доцільним, якщо постає потреба поділу трудомісткого завдання на окремі, менш складні.

У результаті розроблено еталонну модель, яка містить сім рівнів (рис. 4.1).

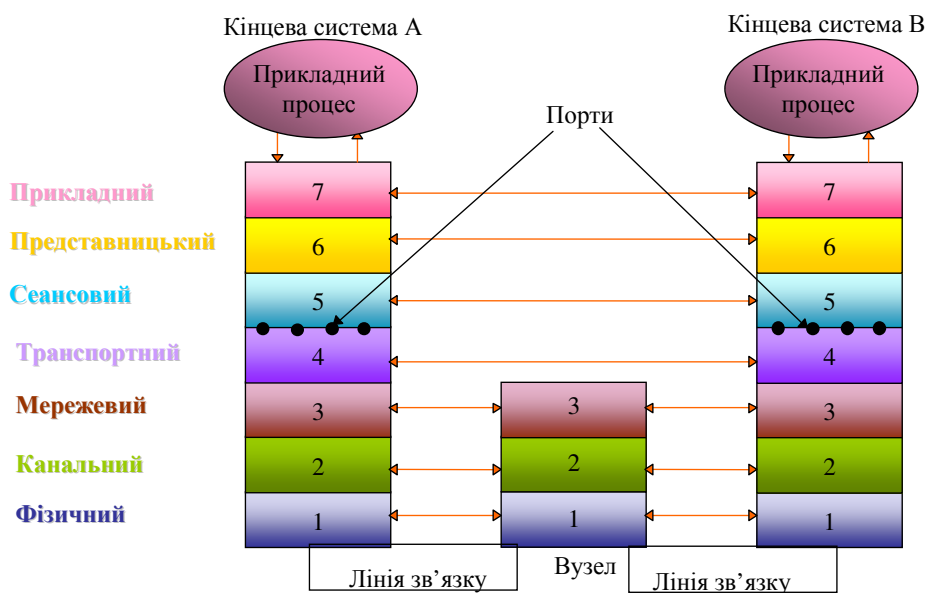


Рисунок 4.1. Еталонна модель OSI



Найвищим, сьомим, рівнем моделі OSI є **прикладний рівень** (*Application layer*), на якому здійснюється керування терміналами й прикладними процесами в кінцевих системах мережі, які є джерелами та споживачами інформації. Цей рівень надає сервіси безпосередньо для прикладних програм користувачів.

Щоб уникнути несумісності між призначеними для користувача програмами, прикладний рівень визначає стандартні способи надання сервісів цього рівня. Це звільняє програмістів від необхідності повторно прописувати одні й ті ж функції в кожній розроблюваній ними мережевій прикладній програмі. Самі сервіси прикладного рівня не є застосованнями. Прикладний рівень надає програмістам набір відкритих стандартних інтерфейсів прикладного програмування (*Application Programming Interface, API*), які можна використовувати для виконання таких функцій мережевого застосовання, як передача файлів, віддалена реєстрація та ін. У результаті модулі прикладних програм виходять меншими за розміром і потребують менше пам'яті.

Прикладний рівень для користувачів є найбільш помітною частиною моделі OSI, оскільки він відповідає за запуск програм, їх виконання, введення-виведення даних, адміністративне керування мережею.

Протоколи взаємодії об'єктів сьомого рівня отримали назву *прикладних*.

**Представницький рівень** (*Presentation layer*) здійснює інтерпретацію й перетворення передаваних у мережі даних до типу, зрозумілому прикладним процесам; забезпечує подання даних в узгоджених форматах і синтаксисі, трансляцію й

інтерпретацію програм з різних мов, шифрування й стиснення даних. Завдяки цьому мережа не обмежує застосування різних типів ЕОМ як кінцевих систем. На практиці багато функцій цього рівня групуються з функціями прикладного рівня, тому протоколи представницького рівня не набули належного розвитку й не використовуються в багатьох мережах.

**Сеансовий рівень** (*Session layer*) забезпечує виконання функцій керування сеансом зв'язку (сесією), орієнтованим на наскрізну передачу повідомлень, таких, наприклад, як встановлення й завершення сесії; керування черговістю й режимом передачі даних (симплекс, напівдуплекс, дуплекс); синхронізація; керування активністю сесії; складання звітів про надзвичайні ситуації.

У сесіях із встановленням логічного з'єднання запити встановлення й розриву з'єднання, а також запити передачі даних, пересилаються на розміщений нижче транспортний рівень. Сеансовий рівень після сесії здійснює поступове, а не раптове завершення, виконує процедуру квітування (відправки службового повідомлення про завершення сеансу зв'язку), що дозволяє запобігти втраті даних у разі, коли одна зі сторін має намір перервати діалог, а інша – ні. Сесії надзвичайно корисні у випадках, коли між клієнтом і сервером в мережі існує логічне з'єднання. Слід зазначити, що без встановлення логічного з'єднання сесія, як правило, є неможливою. Однак, у цього правила є винятки, і деякі мережі підтримують передачу файлів без встановлення з'єднання. Навіть за таких умов сеансовий рівень передбачає виконання деяких корисних функцій для керування діалогом.

Сервіси сеансового рівня є додатковими і корисні лише для окремих застосовань, для більшості – їх наявність не є доцільною. Часто функції сеансового рівня реалізуються на транспортному, тому протоколи сеансового рівня застосовуються обмежено.

**Транспортний рівень** (*Transport layer*) виконує сегментування повідомлень і керування наскрізним, безпомилковим транспортуванням даних від джерела до споживача. Складність протоколів транспортного рівня зворотно пропорційна надійності сервісів нижчерозташованих рівнів (мережевого, канального й фізичного).

*Функція сегментації* полягає в розбитті довгих інформаційних повідомлень на блоки даних транспортного рівня – сегменти. Для невеликого за обсягом повідомлення сегмент асоціюється з його розміром.

У керуванні наскрізним транспортуванням даних транспортний рівень підтримує такі функції як: адресація, установка з'єднання, керування потоком даних, надання даним пріоритетів, виявлення та виправлення помилок, відновлення після збоїв, мультиплексування.

Протоколи транспортного рівня поділяються на два види: протоколи, орієнтовані на встановлення з'єднання й протоколи, які забезпечують для вищих рівнів надійний сервіс без встановлення з'єднання. Протоколи транспортного рівня без гарантії доставки набувають особливої популярності у випадках коли не потребується гарантована доставка повідомлень або не дозволяється повторення передачі повідомлень у якості метода контролю помилок. Це стосується застосовань, які працюють у реальному масштабі часу, такі як потокове відео або IP-телефонія.

*Функція адресації* на транспортному рівні, на відміну від адресації на мережевому і каналному рівнях, полягає в приєднанні додаткової унікальної адреси, яка ідентифікує прикладний процес, який здійснюється в кінцевій системі. Більшість комп'ютерів здатні виконувати одночасно декілька процесів, підтримуючи одночасно роботу декількох застосовань. Однак на мережевому рівні кожен із них, як правило, асоціюється з одним місцем розташування – апаратною адресою порту комп'ютера призначення. Коли пакет (блок даних мережевого рівня) надходить до порту комп'ютера призначення, останньому необхідно знати, для якого процесу його призначено. Саме цю інформацію надає унікальна адреса транспортного рівня. Таким чином, адреса транспортного рівня є *логічною* (відповідає програмному порту, пов'язаному з конкретним застосованням), оскільки адресує процес, а не машину (на відміну від адрес каналного і мережевого рівнів).

*Функція встановлення й розриву з'єднання* на запит сеансового рівня між рівноправними об'єктами транспортного рівня реалізується за допомогою процедури *тристороннього квіттування*.

Ця процедура дозволяє мінімізувати ймовірність випадкового встановлення помилкового з'єднання, вимагаючи два підтвердження у відповідь на один запит з'єднання. З'єднання встановлюється тільки тоді, коли всі три події (запит, підтвердження отримання запиту, підтвердження отримання підтвердження) відбуваються в заданий часовий проміжок. Це дозволяє переконатися у тому, що обидва об'єкти транспортного рівня готові до сеансу зв'язку. Якщо дії

процедури не вкладаються в заданий проміжок часу, наприклад, через затримку або пошкодження службових пакетів, процедура ініціюється заново.

Розрив з'єднання транспортного рівня також контролюється тристороннім квітуванням, що забезпечує його коректність. Розрив з'єднання відбувається окремо в прямому й зворотному напрямках, що виключає можливість втрати даних користувача у разі, коли одна зі сторін завершила передачу даних, а інша ще залишається активною.

*Функція керування потоком даних* полягає в узгодженні параметрів передачі під час процедури тристороннього квітування. Такими параметрами є максимальний розмір сегменту даних для встановленого з'єднання; обсяг вільного простору буфера приймача, в якому розміщуватимуться доставлені сегменти; розмір групи сегментів, після отримання яких приймач повинен надсилати передавачеві підтвердження про прийом. Підтвердження не тільки доводить безпомилковість отримання даних, але й визначає кількість наступних сегментів, прийом яких є можливим з урахуванням поточного завантаження приймального буфера.

*Функція призначення пріоритетів даних* є виключною прерогативою транспортного рівня. Нижчий мережевий рівень не знає про існування пріоритетного трафіку й усі пакети (блоки даних мережевого рівня) він сприймає однаковими.

Більшість протоколів транспортного рівня підтримують два пріоритети: *звичайні* дані та *термінові*. Запит на призначення пріоритету надходить від сеансового рівня. Ідентифікатор призначеного пріоритету розміщується в поле службової інформації транспортного рівня, що приєднуються до сегмента.

Для кожного з пріоритетів можуть бути організовані окремі буферні пули. Алгоритм транспортування при цьому передбачає першочерговість обслуговування буфера термінових даних і тільки після його спустошення – буфера звичайних даних.

Іншим підходом є групування сегментів термінових і звичайних даних в один блок з розміщенням в полі службової інформації граничного показника їх розташування.

*Функція виявлення та виправлення помилок* виконується багатьма протоколами канального рівня, однак, транспортний рівень її анітрохи не дублює. Відмінність полягає в тому, що канальний рівень виявляє й виправляє помилки двійкових розрядів, які виникають на фізичному рівні при передачі біт, а транспортний рівень ліквідує помилки, які виникають в результаті неправильної роботи мережевого рівня (втрата пакетів, несвоєчасна доставка пакетів та ін.). Крім того у мережах, де канальний рівень не відповідає за виявлення й виправлення помилок у двійкових розрядах або цей рівень зовсім відсутній, транспортний рівень бере на себе ці функції.

Функція транспортного рівня з виявлення помилкових пакетів ґрунтується на впорядкуванні сегментів. Для цього кожному сегменту присвоюється порядковий номер, а в момент відправлення запускається власний таймер. Таймер працює до тих пір, поки не надійде підтвердження (позитивне або негативне) прийому пакета на приймальному кінці. У разі негативного підтвердження, передавач повторює передачу сегмента.

У деяких більш простих реалізаціях протоколів транспортного рівня позитивне підтвердження отримання

останнього сегмента повідомлення сприймається як безпомилкове отримання всіх його сегментів. Отримання негативного підтвердження означає, що передавач повинен повторно передати сегменти від тієї точки (сегмента), де виникла помилка. Такий механізм називається передачею з поверненням до  $N$ .

Якщо час, відрахований таймером сегмента, закінчується, ініціюється процедура виявлення помилки.

*Функція відновлення після збоїв* забезпечує можливість відновлення втрачених даних у разі пошкоджень мережі таких, як вихід з ладу лінії зв'язку (як наслідок – втрата віртуального з'єднання), вихід з ладу обладнання мережевого вузла (як наслідок – втрата пакетів у середовищі без встановлення з'єднання) і, нарешті, вихід з ладу комп'ютера, якому адресовано дані. Якщо вихід з ладу окремих компонентів мережі короточасний, і швидко вдається встановити новий віртуальний канал або знайти маршрут, який оминає несправний вузол, транспортний рівень, аналізуючи порядкові номери сегментів, точно встановлює, які сегменти вже отримано і які слід передати повторно. При довготривалому пошкодженні мережі транспортний рівень може організувати транспортне сполучення в резервній мережі (якщо така передбачена).

У разі виходу з ладу комп'ютера-передавача або комп'ютера-приймача, робота транспортного рівня припиняється, тому що він функціонує під керуванням інсталюваних у них операційних системах. Після відновлення функціональності комп'ютера транспортний рівень починає ініціювати розсилку ширококомовних повідомлень усім

комп'ютерам, які працюють у мережі, з метою виявлення того з них, який мав активне транспортне з'єднання з пошкодженим. Таким чином, поновленому комп'ютеру вдасться відновити перерване з'єднання за допомогою інформації, збереженої в справних машинах.

*Функція мультиплексування* дозволяє в одному мережевому з'єднанні організувати кілька з'єднань транспортного рівня. Адреса транспортного рівня, на чому зосереджено було вище, дозволяє транспортному рівню розрізняти сегменти, адресовані різним прикладним процесам. Перевагою такого мультиплексування є зменшення собівартості транспортування даних у мережі. Проте воно є доцільним тільки в режимі роботи мережі, орієнтованій на встановлення з'єднання (віртуального каналу).

У висновку зупинимось ще раз на особливостях роботи транспортного рівня в режимі без встановлення з'єднання. Як вже зазначалося вище, він використовується, коли гарантувати наскрізну доставку даних не потрібно. Це перш за все процеси обміну даними в реальному масштабі часу (аудіо- або відео-процеси), для яких доставка без затримки є значно важливішою ніж достовірність, яка досягається за рахунок повторних передач сегментів. Крім того, режим без встановлення з'єднання дозволяє більш ефективно використовувати мережу, не займаючи її пропускну здатність величезною кількістю службової інформації. Може виникнути сумнів: «Чи потрібен взагалі транспортний рівень у роботі застосовань реального часу?». І тут варто ще раз підкреслити актуальність функції адресації транспортного рівня, яка забезпечує підтримку декількох одночасно працюючих



прикладних процесів на одній машині, що є неможливим без сервісів транспортного рівня.

**Мережевий рівень** (*Network layer*) виконує головну телекомунікаційну функцію – забезпечення зв'язку між кінцевими системами мережі. Цей зв'язок може бути реалізовано шляхом надання наскрізного каналу, скомутованого з окремих ділянок відповідно до оптимально обраного маршруту, логічного віртуального каналу або безпосередньої маршрутизації блоку даних у процесі його доставки. При цьому мережевий рівень звільняє вищі рівні від знань про те, через які ділянки мережі або через які мережі проходить маршрут передачі інформації. Якщо вищі рівні (прикладний, представницький, сеансовий і транспортний), зазвичай обов'язкові в кінцевих системах, які взаємодіють через мережу, три нижніх рівні (мережевий, каналний та фізичний) є необхідними також для всіх проміжних мережевих пристроїв, розташованих у транзитних пунктах маршруту передачі даних.

Основною функцією мережевого рівня є *маршрутизація*. Вона полягає в прийнятті рішення, через які конкретно проміжні пункти повинен пройти маршрут передавання даних, які направляються з однієї кінцевої системи в іншу, та як має виконуватися комутація (яка відповідає конкретному маршруту) між входами та виходами мережевих пристроїв, розташованих у проміжних пунктах мережі.

Блоки даних, з якими оперує мережевий рівень, називаються *пакетами*. Пакет утворюється шляхом додавання до сегмента, переданого з транспортного рівня, заголовка, який містить *адресу мережевого рівня*. Вона складається з

двох частин і ідентифікує як адресу мережі кінцевого користувача, так і самого користувача в ній.

Мережі з різними мережевими адресами з'єднуються між собою *маршрутизаторами*. Для того, щоб передати пакет від відправника, який знаходиться в одній мережі, до одержувача з іншої мережі, необхідно зробити кілька транзитних «стрибків» – *хопові* (hops) між мережами, вибираючи щоразу найоптимальніший за часом проходження або надійністю маршрут.

Мережевий рівень вирішує також завдання взаємодії мереж з різними технологіями та створення захисних бар'єрів на шляху небажаного трафіку між мережами.

На мережевому рівні використовуються два види протоколів. Це власне мережеві протоколи, які забезпечують просування пакетів через мережу. Саме їх зазвичай асоціюють з протоколами мережевого рівня. Інший вид мережевих протоколів складають протоколи маршрутизації, які займаються обміном маршрутною інформацією. За допомогою цих протоколів маршрутизатори збирають інформацію про топологію міжмережових з'єднань. Протоколи мережевого рівня виконуються модулями операційної системи, а також програмними й апаратними засобами маршрутизаторів.

На мережевому рівні можуть також працювати протоколи відображення адреси призначення мережевого рівня на адресу канального рівня мережі, де знаходиться кінцевий користувач.

**Канальний рівень** (*Data-link layer*) відповідає за якісну передачу даних між двома пунктами, пов'язаними фізичним каналом з урахуванням особливостей середовища-передавача.

Термін «*передача даних*», на відміну від терміна «*переносу інформації*» підкреслює саме цей аспект діяльності каналного рівня. Якщо з'єднання встановлюється між двома кінцевими системами, не пов'язаними безпосередньо, то воно буде включати декілька незалежно функціонуючих фізичних каналів передачі даних. При цьому фізичні середовища передачі можуть відрізнятися (мідь, оптичне волокно, ефір). Несумісними можуть виявитися й вимоги до формату подання даних у кожному каналі, що називається *лінійним кодуванням*. У цій ситуації каналний рівень бере на себе функції адаптації даних до типу фізичного каналу зв'язку, надаючи вищерозташованим рівням «прозоре з'єднання».

Блок даних на каналному рівні називається *кадром* або *фреймом*. Пакети мережевого рівня, об'єднані в кадр, обрамляються розділовими прапорами (спеціальними послідовностями біт, розміщеними на початку та в кінці блоку пакетів). Крім того, до кадру додається контрольна сума, з використанням якої здійснюється перевірка правильності переданого каналом кадру. У разі виявлення невірної помилки, приймач надсилає запит до передавача про повторну передачу кадру. Теорія передачі даних і теорія кодування досить добре розроблені, що дозволяє забезпечити високу ефективність роботи протоколів каналного рівня. Необхідно відзначити, що функція виправлення бітових помилок не завжди є обов'язковою для каналного рівня, тому в деяких протоколах каналного рівня вона відсутня (Ethernet, Frame relay). Іноді в глобальних мережах функції каналного рівня виокремити важко, оскільки в одному й тому ж протоколі вони об'єднуються з функціями мережевого рівня (ATM, Frame relay).

Важливими функціями каналного рівня є керування доступом до каналу зв'язку, синхронізація кадрів, керування потоком даних, адресація, встановлення з'єднання й роз'єднання.

*Керування доступом до каналу* визначається типом фізичного каналу, який з'єднує станції, та кількістю під'єднаних до нього станцій. Тип каналу визначається режимом його роботи (дуплексний, напівдуплексний) та конфігурацією (двоточковою – тільки дві станції, багатоточковою – більше двох станцій). Керування доступом є актуальним у напівдуплексному режимі роботи каналу з багатоточковою конфігурацією, коли станціям необхідно очікувати момент початку своєї передачі даних.

*Синхронізація кадрів* забезпечує приймач можливістю точного визначення початку й кінця кадру. Для передачі даних визначено два методи: асинхронна передача, орієнтована на символи (зазвичай 8-бітний символ), означає, що передача кожного символу попереджається стартовим бітом і закінчується стоповим бітом; і синхронна передача, орієнтована на кадри, в якій використовуються прапори початку і кінця кадру як синхронізуючі послідовності.

*Керування потоком* даних полягає в наданні приймачу можливості повідомляти передавача про свою готовність або неготовність до приймання кадрів. Ефект полягає в тому, що виникає запобігання такій ситуації, коли передавач завалює приймач кадрами, які той не в змозі обробити.

*Адресація* є потрібною при багатоточковій конфігурації каналу з більш ніж двома станціями, щоб ідентифікувати одержувача. Адреси каналного рівня називаються

апаратними. Поле адреси містить адресу призначення та адресу джерела.

*Встановлення та роз'єднання з'єднання* – це процедура активації та дезактивації з'єднання на каналному рівні, яка виконується програмним забезпеченням. При цьому станція передачі ініціює з'єднання надсиланням адресату спеціальної команди «старт», а станція приймання підтверджує з'єднання, після чого починається передавання даних. Ця процедура здійснюється також після збоїв і перезапуску програмного забезпечення каналного рівня. Є також команда «стоп», яка зупиняє роботу програмного забезпечення.

**Фізичний рівень** (*Physical layer*) відповідає за розміщення біт інформації у фізичному середовищі. На фізичному рівні можуть використовуватися такі типи середовищ: кабель «вита пара», коаксіальний кабель, оптичне волокно, територіальний цифровий канал і ефір. Основними характеристиками фізичних середовищ передачі є такі параметри, як смуга пропускання, перешкодозахищеність, хвильовий опір та ін. Тут реалізуються фізичні інтерфейси пристроїв з передавальним середовищем та пристроями, між якими виконується передавання бітів.

Основні характеристики фізичного рівня можна об'єднати в такі групи.

*Механічні.* Це характеристики, пов'язані з фізичними властивостями інтерфейсу з передавальним середовищем, тобто роз'ємами, які забезпечують з'єднання пристрою з одним або кількома провідниками. Типи роз'ємів і призначення кожного контакту зазвичай стандартизуються.

*Електричні.* Визначають вимоги до подання бітів, які передаються в фізичне середовище, наприклад, рівень струму або напруги переданих сигналів, крутизна фронтів імпульсів, типи лінійних кодів, швидкість передачі сигналів.

*Функціональні.* Визначають функції окремих каналів фізичних інтерфейсів пристроїв, які взаємодіють через передавальне середовище. Основними схемами взаємодії пристроїв на фізичному рівні є: симплексний зв'язок (однобічний), напівдуплексний зв'язок (почерговий) і дуплексний зв'язок (двобічний, одночасний), який іноді називають повнодуплексним. При цьому можуть бути реалізовані два варіанти організації зв'язку: «точка–точка» та «точка – багато точок». У першому варіанті два пристрої розділяють один зв'язок, який, у свою чергу, може бути симплексним, напівдуплексним або дуплексним. У другому варіанті передбачається, що передані дані одним пристроєм приймаються багатьма пристроями. Як правило, такі зв'язки є симплексними (кабельне телебачення) або напівдуплексними (локальна мережа на базі стандарту Ethernet). В окремих випадках можуть використовуватися також дуплексні зв'язки (мережа на базі технології SONET). Можуть застосовуватися також інші топології фізичного рівня, такі, як *шина*, *зірка*, *кільце*, проте всі вони є варіаціями вже відомих «точка–точка» і «точка–багато точок». Так топологія шина є типовим варіантом «точка – багато точок», топологія зірка – набором зв'язків «точка–точка», топологія кільце – набір колоподібних зв'язків «точка–точка».

*Процедурні.* Встановлюють правила, за допомогою яких відбувається обмін потоками бітів через фізичне середовище.

Це схеми роботи послідовного та паралельного інтерфейсів. У першому випадку між взаємодіючими пристроями існує тільки один канал зв'язку, яким біти передаються один за одним. Це призводить до обмеження швидкості передачі й, отже, повільної роботи інтерфейсу. У другому випадку кілька бітів передаються між взаємодіючими пристроями одночасно декількома каналами. Швидкість передачі при цьому зростає.

Однією з важливих функцій фізичного рівня є *мультиплексування*, що забезпечує об'єднання безлічі вузькосмугових (низькошвидкісних) каналів у один широкосмуговий (високошвидкісний). Як відомо, за технологічним принципом розрізняють частотне мультиплексування (Frequency Division Multiplexing, **FDM**) і мультиплексування з поділом часу (Time Division Multiplexing, **TDM**). Технології FDM і TDM можуть бути об'єднані таким чином, що підканал у системі з частотним мультиплексуванням розбивається на кілька каналів шляхом мультиплексування з поділом часу. Цей прийом використовується в роботі цифрових стільникових мереж.

#### **4.4. Принцип інкапсуляції даних в моделі OSI/ISO**

Підготовка даних, отриманих на прикладному рівні, для транспортування по мережі зв'язку відповідно до протоколів стека OSI ґрунтується на концепції *інкапсуляції*.

*Механізм інкапсуляції* – це спосіб пакування даних у форматі одного протоколу в формат іншого протоколу, що в даному випадку відповідає послідовному додаванню до даних відповідної службової інформації на кожному рівні стека (див.

рис. 4.2). У результаті кожний рівень отримує дані від вищого рівня, поміщені в оболонку. Оболонка не відкривається й не зчитується нижчим рівнем, який, у свою чергу, доповнює зовні оболонку своєю службовою інформацією, яка призначена аналогічному рівню в системі приймання.

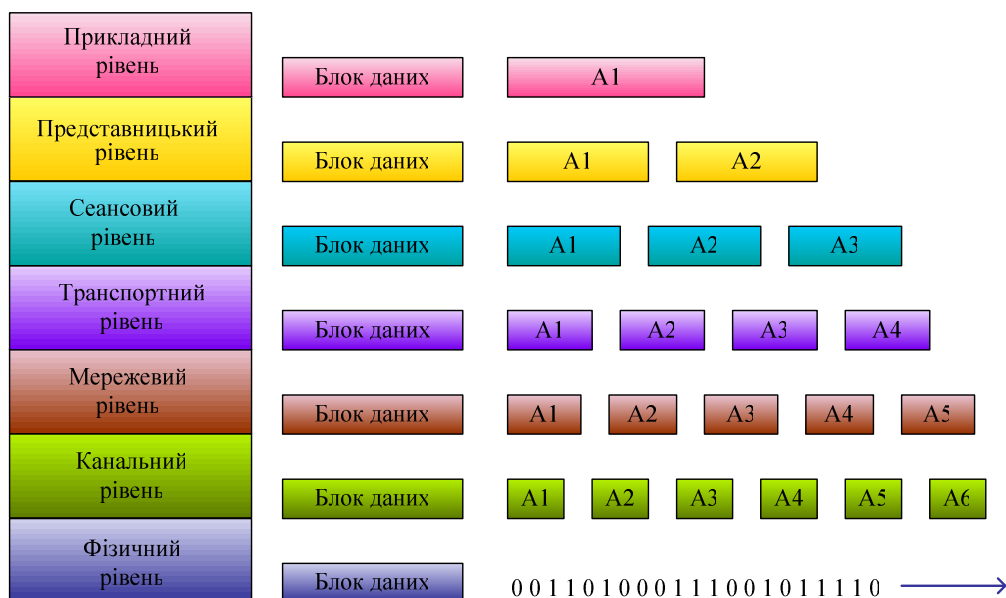


Рисунок 4.2. Інкапсуляція даних при проходженні вниз по стеку OSI

- A1 – заголовок прикладного рівня
- A2 – заголовок представницького рівня
- A3 – заголовок сеансового рівня
- A4 – заголовок транспортного рівня
- A5 – заголовок мережевого рівня
- A6 – заголовок канального рівня

Блок інформації, який надходить з вищого рівня на нижчий, завжди має стандартний формат: *заголовок, службова інформація, дані, кінцевик*. При цьому заголовок вищого рівня сприймається нижчерозміщеним як передані дані.



## 4.5. Промисловий стандарт стека протоколів TCP/IP

З 1990 року домінуючим набором протоколів, на основі якого розвивалося більшість нових протоколів, закріплено архітектуру зв'язку, яка відображена в стеку протоколів TCP/IP.

**Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)** – це промисловий стандарт стека протоколів, розроблений для глобальних мереж. Стандарти TCP/IP опубліковано в серії документів, названих **Request For Comment (RFC)**. Документи RFC описують внутрішню роботу Інтернету. Деякі RFC описують мережеві сервіси або протоколи та їх реалізацію, водночас інші узагальнюють умови застосування. Слід зазначити, що стандарти TCP/IP завжди публікуються у вигляді документів, але не всі RFC можна вважати стандартами. Деякі RFC з часом набувають статусу офіційних міжнародних стандартів після їх затвердження організацією зі стандартизації OSI або ITU–T.

Оскільки стек TCP/IP було розроблено до появи моделі ISO/OSI, то незважаючи на те, що він має багаторівневу структуру, відповідність рівнів стека TCP/IP рівням моделі OSI є досить умовною. На рисунку 4.3 наведено структура стека TCP/IP у співвідношенні з рівнями моделі OSI. Праворуч на рисунку вказано засоби реалізації різних рівнів.

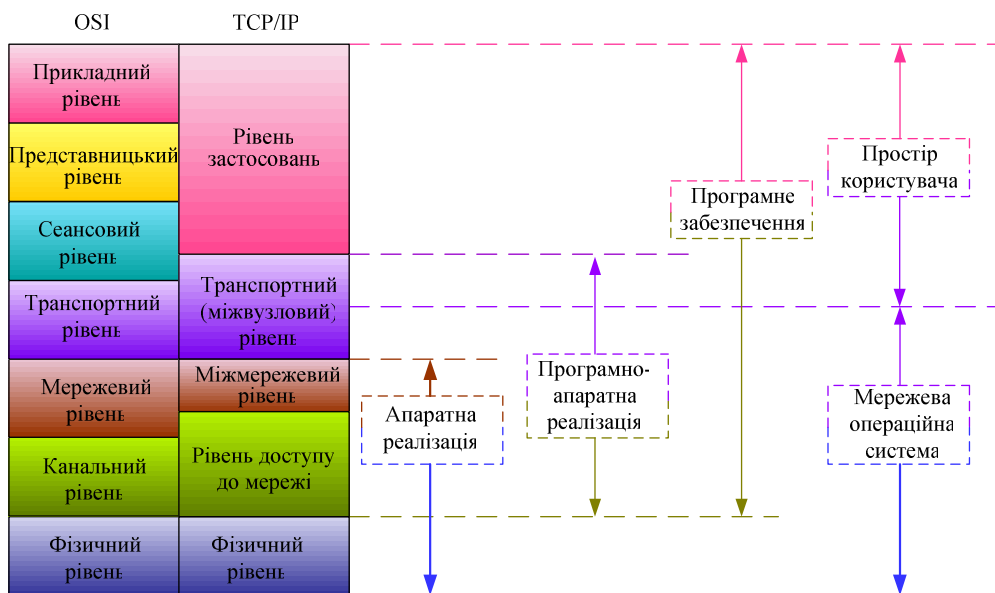


Рисунок 4.3. Порівняння архітектур зв'язку TCP/IP і OSI та засоби реалізації різних рівнів

Протоколи стека TCP/IP поділяються на п'ять рівнів. Найнижчий – фізичний рівень – відповідає **фізичному рівню** моделі OSI. Цей рівень у стеку TCP/IP спеціально *не стандартизовано*, а тому допускає використання всіх основних стандартів фізичного рівня, які визначають характеристики передавального середовища, швидкості передачі сигналів та схеми кодування сигналів.

**Рівень доступу до мережі**, пов'язаний з логічним інтерфейсом між кінцевої системою і мережею, є також *нерегламентованим*. Наприклад, для з'єднання комп'ютера з мережею може використовуватися будь-який стандарт канального рівня: PPP, Ethernet, ATM і та ін.

**Міжмережевий рівень** забезпечує функцію маршрутизації при передачі даних від одного хосту до іншого через вузли однієї або декількох логічних мереж. Основний

протокол цього рівня – це протокол **IP** (Internet Protocol). Він повинен підтримуватися усіма кінцевими системами (хостами) й мережевими комунікаційними пристроями, які здійснюють функцію маршрутизації. До допоміжних протоколів цього рівня належать такі:

- **ICMP** (Internet Control Message Protocol) – протокол керування повідомленнями Інтернет, забезпечує можливість шлюзів та маршрутизаторів обмінюватися службовими повідомленнями з хостом-відправником у разі виникнення проблемної ситуації при передачі в мережі;
- **IGMP** (Internet Group Management Protocol) – протокол керування групами, надає великій кількості хостів і маршрутизаторів можливість обмінюватися повідомленнями з груповими адресами в ширококомовному режимі;
- **OSPF** (Open Shortest Path First) – протокол визначення першого найкоротшого маршруту при встановленні віртуального (логічного) з'єднання в інтермережі;
- **BGP** (Border Gateway Protocol) – протокол регламентує процедуру маршрутизації між граничними шлюзами в Інтернет;
- **RSVP** (ReSerVation Protocol) – протокол резервування комунікаційних ресурсів (смуги пропускання ліній зв'язку) з метою надання необхідної якості обслуговування, підтримується хостами й мережевими комунікаційними пристроями;

- **RIP** (Routing Internet Protocol) – протокол збору маршрутної інформації при топологічних змінах у інтермережі;
- **ARP** (Address Resolution Protocol) – протокол розв'язування адресів (встановлює співвідношення між IP-адресом і фізичним адресом вузла).

**Транспортний рівень** відповідає за виконання функції наскрізної передачі даних і тому реалізується лише в кінцевих системах. Протоколи цього рівня приховують від рівня застосовань подробиці про мережу або мережі, якими транспортуються дані. На цьому рівні виконуються два основні протоколи:

- **TCP** (Transmission Control Protocol) – протокол керування передачею, орієнтований на логічне з'єднання та послідовну передачу блоків даних, котрий містить механізми забезпечення надійності, які дозволяють відстежувати блоки даних і тим самим гарантувати їх коректну доставку застосовання-адресантові;
- **UDP** (Ustr Datagram Protocol) – протокол датаграм користувачів, який забезпечує швидку, але ненадійну передачу блоків даних, які самостійно переміщуються мережею без встановлення логічного з'єднання.

**Рівень застосовань** забезпечує зв'язок між прикладними процесами та застосованнями взаємодіючих хостів. Основні протоколи цього рівня:

- **FTP** (File Transfer Protocol) – протокол передачі файлів;
- **HTTP** (Hyper Text Transfer Protocol) – протокол передачі гіпертекстових файлів;
- **SMTP** (Simple Mail Transfer Protocol) – простий протокол передачі пошти;
- **TELNET** – протокол видаленого входу в систему;
- **SNMP** (Simple Network Management Protocol) – простий протокол мережевого керування;
- **DNS** (Domain Name System) – служба імен доменів або прикладний сервіс в Інтернет-мережі, який дозволяє хостам перетворювати Інтернет-імена в IP-адреси;
- **MIME** (Multipurpose Internet Mail Extensions) – багатоцільові розширення Інтернет-пошти, які підтримують обмін мультимедійними повідомленнями, визначаючи процедури, які дозволяють користувачеві приєднувати до повідомлення електронної пошти файли різних форматів (тексти, зображення, аудіо, відео та цілі програмні застосовання).

На рівні застосовань працюють також багато навігаційних програм (Google, Gopher, Wais, WWW), які забезпечують пошук потрібної інформації в мережі.

## 4.6. Переваги та недоліки моделі ISO/OSI і TCP/IP

### *Переваги моделі OSI*

- Модель OSI на сьогодні розглядається як еталонна багаторівнева модель архітектури зв'язку інформаційних мереж і основа для розробки стандартів нових протоколів.
- Модель ISO/OSI дозволяє визначити межі телекомунікаційної та інформаційної мереж у загальній архітектурі зв'язку, а саме: фізичний, каналний, мережевий і транспортний рівні відображають принцип роботи телекомунікаційної мережі, а сеансовий, представницький і прикладний – інформаційної мережі.
- Чітке визначення інтерфейсів за рівнями дозволяє замінити один протокол рівня на інший без зміни стандартів протоколів суміжних рівнів. У цьому полягає основна цінність моделі OSI.
- Модель ISO/OSI є корисною для теоретичних досліджень і розробок нових мереж, хоча протоколи OSI не отримали широкого розповсюдження.

### *Недоліки моделі OSI*

- Протягом багатьох років поширеною була думка, що архітектура OSI стане домінуючою серед усіх комерційних конкуруючих між собою стеків протоколів, таких, як Системна мережева архітектура (Systems Network Architecture, **SNA**) компанії IBM і

стек TCP/IP. Однак, оскільки в стек TCP/IP увійшли протоколи, які мають статус стандартів Інтернета, більшість розробників нових мережевих продуктів почали спиратися саме на нього.

- За архітектурою OSI закріпився статус *приписчої моделі*. Це відбулося, по-перше через несвоєчасність появи стандартних протоколів OSI (до моменту їхньої появи розповсюдилися конкуруючі з ними протоколи стеку TCP/IP), а по-друге – через складність і недосконалість моделі (представницький і сеансовий рівні порожні, а мережевий і каналний – перевантажені).

### ***Переваги моделі TCP/IP***

Стек TCP/IP є лідером, що пояснюється такими його властивостями:

- Це найбільш апробований, і у той же час популярний стек протоколів, який став стандартом де-факто.
- Майже всі існуючі великомасштабні мережі функціонують на основі стека TCP/IP.
- Це основний спосіб отримання доступу в Інтернет.
- Усі сучасні операційні системи підтримують стек TCP/IP.
- Стек TCP/IP знайшов широке застосування при створенні корпоративних мереж, які використовують транспортні послуги Інтернета і гіпертекстову технологію WWW.

- Стек TCP/IP є основою гнучкої технології для поєднання різнорідних систем і мереж, як на рівні реалізації транспортної функції, так і на рівні взаємодії прикладних процесів.
- Стек TCP/IP забезпечує добремасштабоване середовище для застосовань клієнт-сервер.

### *Недоліки моделі TCP/IP*

Незважаючи на величезну популярність, моделі TCP/IP та її протокол не позбавлені певних недоліків:

- Відсутність розмежувань концептуальних понять інтерфейсу, протоколу та рівневого сервісу, що досить чітко зроблено в моделі ISO/OSI. Внаслідок цього модель TCP/IP не може застосовуватися для розробки нових мереж.
- За допомогою моделі TCP/IP неможливо описати жоден інший стек протоколів, окрім TCP/IP.
- У моделі не диференційовано фізичний та каналний рівні, хоча вони абсолютно різні, що в коректній моделі обов'язково враховується.
- Найбільш ретельно продумано й опрацьовано протоколи IP і TCP. Більшість інших протоколів стека розроблено студентами (студентам для роздумів!) та вільно впроваджено, внаслідок чого вони настільки міцно вкоренилися в практиці, що зараз їх важко замінити на нові, пропоновані за комерційною схемою.



- Стек TCP/IP не може розглядатися як повноцінна модель, однак самі протоколи добре апробовані та надзвичайно популярні.

### *Резюме*

Розглядаючи еталонну модель ISO/OSI відповідно до нових вимог, дотримання яких до процесу перенесення інформаційних потоків у інфокомунікаційній мережі є надзвичайно важливим, варто зосередитися на двох основних проблемах.

- По–перше, на транспортному й каналному рівнях реалізуються два незалежних механізми перенесення. Такий поділ задачі з транспортування інформації свого часу був зумовлений необхідністю об'єднати велику кількість мереж, які використовують різні технології доступу до каналу зв'язку. Проте наявність двох узгоджених механізмів передавання створює проблему забезпечення якості обслуговування. Домогтися узгодженої поведінки транспортного й каналного рівнів (через мережевий рівень) не можливо у зв'язку з принципом автономності рівнів у моделі ISO/OSI. Однак сучасні концепції розвитку мереж на мультисервісній основі (зокрема концепція NGN) передбачають стратегії узгодженої поведінки транспортного й каналного рівнів у обхід мережевого рівня, що формально порушує принцип автономності а виходить за межі еталонної моделі.

- По-друге, в результаті конвергенції мереж та об'єднання інформаційних потоків різних служб у спільний передавальний потік гетерогенного трафіку, виникає необхідність ідентифікації його змісту. До того, як вузькоспеціалізовані мережі передавали інформаційні потоки конкретних типів, даної проблеми не існувало.

Пошуком вирішення зазначених проблем займається більшість виробників мережевого обладнання.

### **Контрольні питання**

1. Для чого потрібні стандарти мереж? Що розуміють під «відкритої специфікацією»?
2. Що означають терміни: “протокол” та “інтерфейс” в протокольній моделі? Чи є адекватними їх значення аналогічним поняттям у функціональній моделі?
3. Що стандартизує модель OSI? Хто розробляє подібні стандарти?
4. Чому модель OSI називається еталонною? На що впливає зміна кількості рівнів у моделі? Чи є це допустимим і за яких умов та обставин?
5. Поясніть специфіку інкапсуляції. Яким чином вона відображена в моделі OSI?
6. У чому полягають особливості стека TCP/IP?
7. Порівняйте переваги та недоліки моделей OSI і TCP/IP. Поясніть, чи є ці моделі взаємовиключними, взаємодоповнюючими або незалежними?

8. Проаналізуйте основні проблеми, виявлені при розгляді моделі OSI відповідно до вимог організації зв'язку в інфокомунікаційних мережах?

9. Якою є роль програмного забезпечення в мережі? За якими принципами структуровано модель програмного забезпечення?

## Розділ 5. Принципи побудови телекомунікацій

### 5.1. Сегментний підхід в побудові мереж

Принципи побудови телекомунікаційної мережі як складного об'єкта базуються на способах її декомпозиції. Цей процес полягає у виділенні в мережі відносно незалежних структурних фрагментів, так званих **сегментів**. Будь-який сегмент глобальної мережі можна розглядати як *самостійну мережу більш низького рівня*.

Сегментний підхід слід розглядати не стільки як спосіб декомпозиції мережі, скільки як спосіб її синтезу (що нагадує принцип «дитячого конструктора»), метою якого є *визначення принципів утворення сегментів і правил поєднання сегментів між собою*.

Зважаючи на економічну доцільність, основним завданням сегментації слід вважати *максимізацію частки трафіку, який замикається всередині сегментів, та мінімізацію тієї його частини, яка циркулює між сегментами*.

Раніше діяло правило, засноване на результатах експлуатації мереж електров'язку, яке свідчить про те, що мережа повинна ділитися на сегменти таким чином, щоб 80% трафіку розподілялося всередині сегментів і лише 20% – між сегментами. Сьогодні ця закономірність не завжди підтверджується. Непоодинокими є співвідношення 50 на 50% і навіть 20 на 80%, коли основна частина звернень спрямована до зовнішніх інформаційних ресурсів (наприклад, ресурсів Інтернету). Однак вимога максимізації трафіку всередині сегмента при синтезі мережі залишається актуальним.

Нижче розглядаються способи виокремлення сегментів телекомунікаційних мереж на основі класифікаційних ознак, які найбільш часто використовуються.

### ***Виокремлення сегментів за масштабом охопленої території***

Виокремлення сегментів за масштабно-територіальною ознакою представлено ієрархією, наведеною на рисунку 5.1. До виділеного сегмента можна вжити термін «мережа», який не суперечить загальноприйнятій термінології, а для повноти ієрархії логічно ввести поняття глобальної мережі.

**Глобальна мережа** (Global Area Network, **GAN**) – це загальнопланетарна мережа, яка об'єднує всі країни та континенти й забезпечує доступ користувачів мережі в будь-якій точці земної кулі.

**Великомасштабна територіальна мережа** (Wide Area Network, **WAN**) – сегмент, призначений для об'єднання мереж міського масштабу або сільських районів, розташованих на території великого регіону, держави, континенту, а також на різних континентах.

**Мережа мегаполісу** (Metropolitan Area Network, **MAN**) – сегмент, що охоплює територію міста, сільського району, області або регіону.

**Локальна мережа** (Local Area Network, **LAN**) – сегмент, у якому основна частина трафіку замикається всередині невеликої території, установи, промислового підприємства і т. п. Сегментами типу LAN також є мережі, утворені поєднанням декількох локальних мереж, розташованих на невеликій відстані один від одного (мережі кампусів).

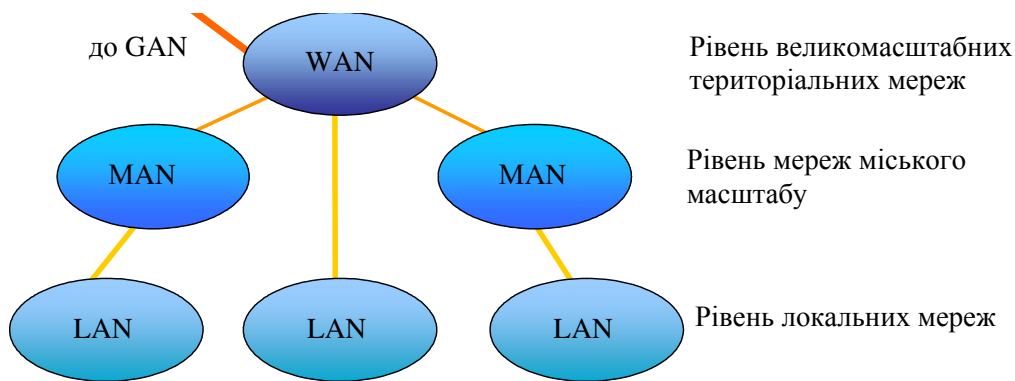


Рисунок 5.1. Ієрархія мереж

Класифікація сегментів за масштабно-територіальною ознакою представляє інтерес при декомпозиції задач синтезу мережі. Крім того застосовані в них телекомунікаційні технології суттєво відрізняються один від одного. Зважаючи на відмінність технологій локальних і глобальних мереж, неважко зрозуміти, чому до недавнього часу локальні й територіальні мережі обслуговувалися різними фахівцями.

В умовах тенденції до зближення локальних і територіальних мереж (конвергенції мереж), а також конвергенції застосованих у них технологій ситуація суттєво змінилась. Сьогодні виділення будь-яких сегментів розглядається як фрагментація єдиної глобальної мережі.

Перед фахівцями з галузі локальних мереж постала необхідність об'єднати декілька локальних мереж, розташованих в різних географічних районах. Це в свою чергу спричинило потребу розширити сфери їх спеціалізації до рівня глобальних телекомунікацій.

У свою чергу, фахівці з глобальних мереж, прагнучи розширити набір і якість пропонованих послуг, підвищити

пропускну спроможність і швидкість передавання даних, змушені зосереджувати свою увагу на провідних досягненнях у технологіях локальних мереж.

### ***Виокремлення сегментів на основі декомпозиції транспортної функції***

Основне призначення телекомунікаційної мережі, як вже зазначалося в попередніх розділах, – це реалізація транспортної функції, тобто перенесення інформації, поданої у формі сигналу з кінця в кінець між інтерфейсами мережі.

Мережева активність при транспортуванні інформації різними ділянками телекомунікаційної мережі визначається інтенсивністю створеного в них мережевого трафіку. Принцип розподілу інтенсивності трафіку на різних ділянках телекомунікаційної мережі може бути основою декомпозиції транспортної функції. Така декомпозиція передбачає виділення трьох типів сегментів, які вирішують відносно самостійні функціональні підзавдання, а саме: *транспортні мережі, мережі доступу і розподільчі мережі*.

**Транспортна мережа** (Transport Network, Transmission Media) – це сегмент з високим ступенем концентрації трафіку, за допомогою якого здійснюється інформаційний обмін між сегментами з більш повільним трафіком і в якому транспортне середовище для передавання будь-якого типу інформації забезпечується використанням єдиних технологічних принципів і встановлених стандартів з надання ширини смуги пропускання (див. рис. 5.2).

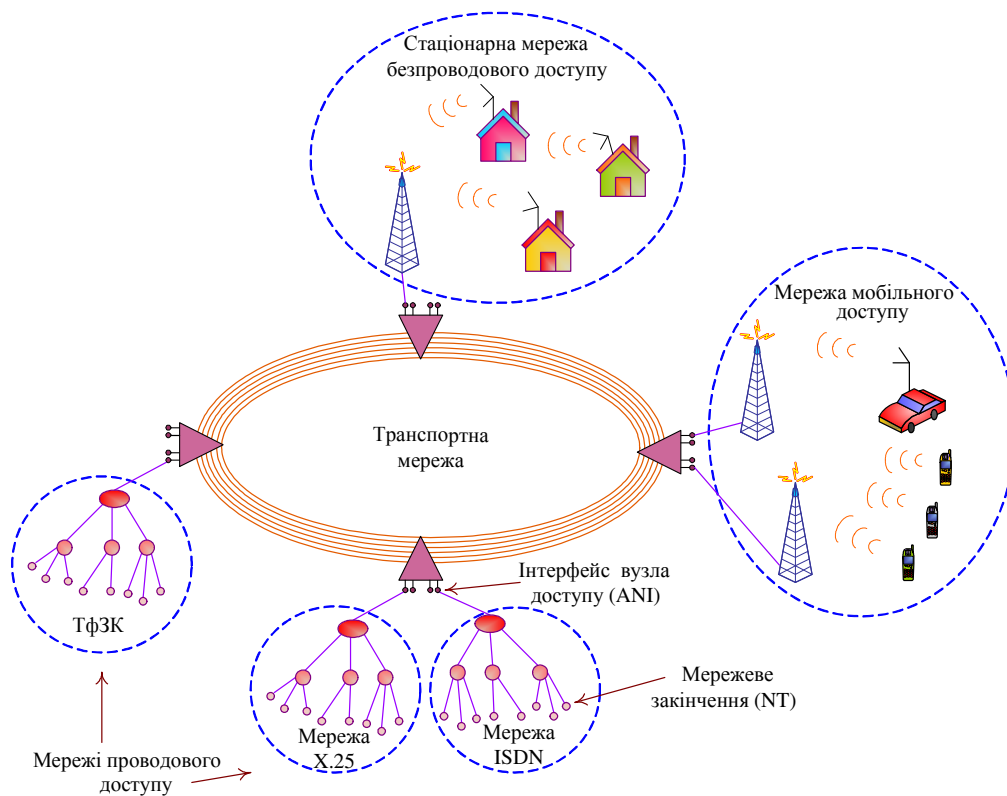


Рисунок 5.2. Транспортна мережа та мережі доступу

**Мережею доступу** (Access Network) називається сегмент телекомунікаційної мережі, в якому формуються інформаційні потоки, спрямовані в транспортну мережу.

Хоча мережі доступу та транспортна мережа спільно вирішують завдання реалізації транспортної функції з перенесення інформації з кінця в кінець, телекомунікаційні технології, які використовуються в них, істотно відрізняються.

З'єднання мереж доступу з транспортною мережею здійснюється у вузлах доступу до транспортної мережі.

Мережі доступу узагальнено поділяються на:



- мережі проводового доступу;
- стаціонарні мережі безпроводового доступу;
- мережі мобільного доступу.

Мережа доступу з боку користувача має пристрій **мережевого закінчення** (Network Termination Unit, NTU), який ще називається просто **мережевим закінченням** (Network Termination, NT), а на іншому кінці – **інтерфейс вузла доступу** (Access Node Interface, ANI) до транспортної мережі.

Ділянка мережі між мережевим закінченням NT, до якого під'єднано термінальний пристрій користувача, й **інтерфейсом сервісного вузла** (Service Node Interface, SNI), де абоненту надається необхідна послуга, визначається терміном «**мережа абонентського доступу**». Наприклад, ділянка між абонентською розеткою, куди підключається термінал користувача, і лінійним блоком місцевої телефонної станції.

Мережі доступу, у загальному випадку, мають багаторівневу архітектуру, що включає вузли рівнів доступу, розподілу і ядра.

Опорні вузли мереж абонентського доступу формують рівень доступу.

Вузли рівня розподілу забезпечують агрегацію інформаційних потоків, що надходять від опорних вузлів абонентського доступу, і магістралями направляють агреговані потоки у вузли доступу до транспортної мережі.

У вузлі доступу до транспортної мережі відбувається концентрація всіх інформаційних потоків від приєднаних

вузлів рівня розподілу. Вузол доступу до транспортної мережі, таким чином, переміщується на рівень ядра в мережі доступу.

Якщо територіальна протяжність є значною, мережа доступу може розглядатися як самостійний сегмент MAN.

**Розподільчою мережею (Distribution Network)** називають сегмент телекомунікаційної мережі, за допомогою якого концентрований потік, який надходить з транспортної мережі, перерозподіляється та надходить до споживачів.

На практиці функції мережі доступу та розподільчої мережі часто поєднуються в одному сегменті.

Класичним прикладом власне розподільчої мережі є тільки мережа оператора кабельного телебачення (рис. 5.3).

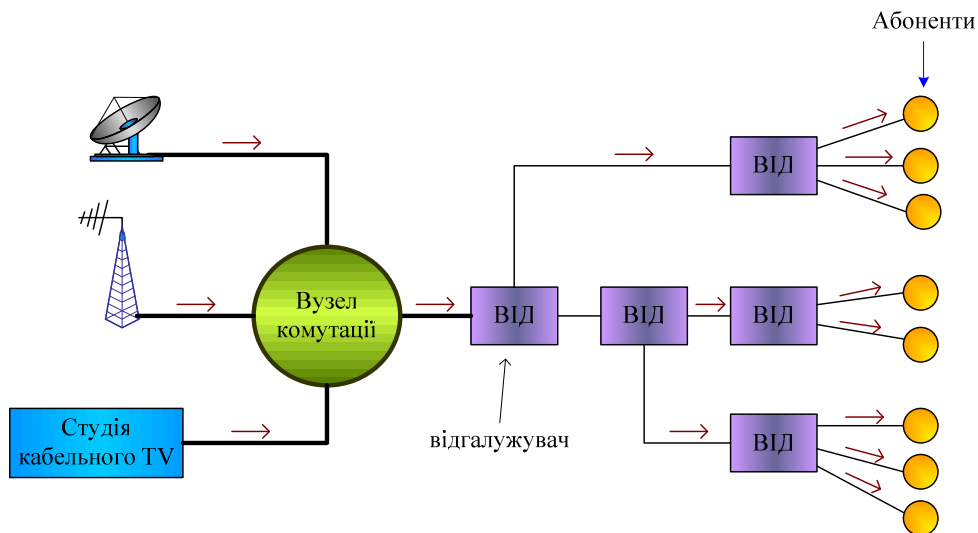


Рисунок 5.3. Розподільча мережа

## ***Виокремлення сегментів за технологічною ознакою***

Еволюційний характер розвитку мереж, на відміну від бурхливого розвитку технологій передавання даних, які забезпечують різноманіття варіантів реалізації функції транспорту інформаційних потоків, надав можливість розглядати телекомунікаційну мережу як сукупність сегментів, різниця між якими зумовлена телекомунікаційними технологіями, застосованими в них. Причому розміри таких сегментів можуть досягати масштабів LAN, MAN, WAN мереж.

Визначаючи сегменти за ознаками телекомунікаційної технології, вживають поняття, яке пов'язано з назвою відповідного технологічного стандарту або протоколу, наприклад, «мережа Ethernet», «мережа ISDN», «мережа ATM», «мережа SDH», «IP–мережа» та ін.

Принцип технологічної однорідності дозволяє виокремлення сегментів, до яких вживається термін «*хмара*».

**Хмара** – це територіальна телекомунікаційна мережа з *однорідними зовнішніми інтерфейсами*, внутрішня будова якої при організації через неї транспортування інформаційних потоків не деталізується і не розглядається.

Цей термін зазвичай вживається в контексті опису схем взаємодії двох і більше віддалених локальних мереж через телекомунікаційні мережі операторів. Прикладом цього є корпоративна мережа, в якій мережі центральної штаб-квартири та філій об'єднуються за допомогою зовнішніх телекомунікацій.

## 5.2. Побудова сегментів фізичного рівня

Сегмент фізичного рівня розглядається як сукупність пунктів і ліній, які їх з'єднують, що утворює відносно незалежний структурний фрагмент мережі.

З'єднаність усіх пунктів у сегменті на фізичному рівні можна досягти використанням окремих ліній зв'язку для кожної пари кінцевих пунктів (повнозв'язна топологія «кожен з кожним»), спільним комунікаційним середовищем або вузлуотворенням.

### *Повнозв'язна топологія*

Використання в сегменті топологій «точка–точка» для зв'язку всіх пар кінцевих пунктів не завжди є економічно доцільним. Проте саме в такому сегменті досягається максимальна надійність, а це виправдовує використання таких дорогих топологій у сегментах з високим ступенем концентрації трафіку (магістральних мережах).

### *Спільне комунікаційне середовище*

Спільне комунікаційне середовище – це фізичне середовище передачі, в якому з'єднаність кінцевих пунктів забезпечується принципом «точка–багато точок» (шинна топологія). Пари пунктів можуть взаємодіяти у спільному середовищі, не заважаючи одна одній, тільки по чергово, тому що спільне комунікаційне середовище є єдиним приладом, який обслуговує запити на обмін інформацією різних кореспондуючих пар пунктів.

Сегменти, побудовані на базі спільного середовища передачі, мають такі недоліки:

- дефіцит пропускної здатності та зниження продуктивності сегмента при збільшенні кількості під'єднаних кінцевих пунктів;
- обмеження фізичної довжини сегмента, обумовлене загасанням сигналів у фізичному середовищі передачі.

Оскільки спільне комунікаційне середовище як єдиний канал зв'язку в одному часовому інтервалі може використовуватися тільки однією взаємодіючою парою пунктів, його ще називають *розподільчим середовищем передачі* (мається на увазі розподіл у часі).

Використовуючи мультиплексування, в спільному комунікаційному середовищі можна організувати кілька незалежних каналів, розділивши його смугу пропускання на канали меншої пропускної здатності. Кожен з них можна використовувати або за принципом єдиного розподільчого середовища для під'єднання декількох кінцевих пунктів, або як незалежні канали двоточкового з'єднання для підключення окремих пар пунктів. У будь-якому разі обмеженням є дефіцит пропускної спроможності спільного середовища передачі, використання якого, незважаючи на зазначені недоліки, завжди є *економічно вигідним рішенням*. Основна перевага спільного комунікаційного середовища – простота фізичної топології мережі, а також відносно просте й недороге комунікаційне обладнання, в якому не потрібно аналізувати адресну інформацію передаваних повідомлень. Це завдання

перекладається на обладнання кінцевих пунктів, де аналізується адреса кожного надісланого повідомлення та обробляється лише те з них, яке адресовано даному пункту.

### ***Вузлоутворення***

Вузлоутворення є компромісом між двома розглянутими вище способами організації зв'язних фізичних сегментів. Воно передбачає *структуризацію сегмента* зі встановленою ієрархією вузлових пунктів, в яких розміщується активне комунікаційне устаткування, що забезпечує зв'язність з'єднаних в них ліній.

У побудові сегментів фізичного рівня у вузлових пунктах використовується обладнання, в якому *не передбачено обробку адресної інформації* передаваних повідомлень. Це устаткування фізичного рівня моделі OSI/ISO, наприклад, повторювачі концентратори, мультиплексори.

Реалізація принципу вузлоутворення в сегменті називається його **фізичною структуризацією**, оскільки вузлові пункти можуть мати різний статус і таким чином формувати ієрархію. Фізично структурований сегмент залишається сегментом зі спільним комунікаційним середовищем а, отже, в ньому зберігаються всі притаманні йому недоліки.

### **5.3. Побудова сегментів каналного рівня**

Розміщення в вузлових пунктах сегмента устаткування, *здатного аналізувати адресну інформацію* передаваних кадрів (комунікаційного обладнання каналного рівня моделі

OSI/ISO), і на її основі виконувати функцію комутації вхідних і вихідних ліній зв'язку, дозволяє будувати структуровані сегменти з **комутованою топологією**, в даному випадку – сегменти каналного рівня.

Такий принцип вузлоутворювання в сегментах отримав назву «**логічна структуризація**».

У логічно структурованому сегменті в вузлових пунктах по суті відбувається розділ спільного комунікаційного середовища на менші за розміром фізичні сегменти, у межах яких властиві йому недоліки мінімізуються або є зовсім відсутніми.

Можливість одночасного встановлення в комутаторі декількох внутрішніх зв'язків (вхід-вихід) для паралельного проходження декількох кадрів дозволяє значно підвищити продуктивність сегмента, що в цілому виправдовує деякі втрати у вартості комутованої топології в порівнянні з розподільчим комунікаційним середовищем.

Використання комутованої топології дозволяє вирішити ряд найважливіших завдань, таких, як підвищення продуктивності сегмента і забезпечення його оптимальною масштабованістю.

#### **5.4. Побудова сегментів мережевого рівня**

Проблемою великомасштабних сегментів стає необхідність обмеження широкомовного службового трафіку, що формується мережевими адаптерами хостів. Комунікаційні пристрої мережі, які працюють на фізичному й каналному рівнях моделі OSI/ISO, є прозорими для широкомовного трафіку, який складають кадри без конкретної фізичної адреси порту призначення (MAC-адреси).

Широкомовним кадрам службового трафіку належить значна частина трафіку при функціонуванні мережі. Вони створюють додаткове навантаження на магістральні лінії зв'язку. Можливими є також ситуації, коли інтенсивність такого трафіку раптово зростає внаслідок програмних або апаратних збоїв. Наприклад, протокол верхнього рівня або мережевий адаптер починають працювати некоректно, генеруючи кадри з широкомовними адресами. Такий режим називається затопленням мережі, або *широкомовним штормом*.

Вирішити зазначені проблеми можна за рахунок поділу великомасштабного сегмента канального рівня на ряд сегментів мережевого рівня моделі OSI/ISO.

**Сегментом мережевого рівня** є певна сукупність логічних вузлів, виокремлених за *принципом домену*. Доменний принцип передбачає спосіб групування вузлів в *поіменовані групи – домени*. У даному випадку ім'ям для кожного домену є спільний для вузлів, що належать до нього, номер – *адреса мережевого рівня*.

Група вузлів, які мають єдиний мережевий номер, називається **логічною мережею**.

Обмін трафіком двох і більше логічних мереж називають *міжмережевою взаємодією* (internetworking). Прикордонним комунікаційним пристроєм, який виконує процедуру міжмережевої взаємодії, є маршрутизатор (обладнання мережевого рівня OSI/ISO). Він здатен не тільки розрізняти мережеві адреси, а й виконувати фільтрацію трафіку, спрямованого у відповідні логічні мережі.



Маршрутизатор обробляє пакети, які дістаються із кадрів, на основі мережевої адреси і не аналізує MAC-адресу. Тим самим він перешкоджає потраплянню службового ширококомовного трафіку з однієї логічної мережі в іншу. У зв'язку з цим логічну мережу ще називають **доменом ширококомовного трафіку**.

Використання в маршрутизаторах спеціальних алгоритмів маршрутизації з використанням адресної інформації пакетів забезпечує ще й можливість вибору оптимального, відповідно до заданих критеріїв, маршруту їх переміщення між вузлами.

### 5.5. Узагальнені характеристики сегментів

Узагальненими характеристиками будь-якого сегменту є *розмір, масштаб і структура внутрішньосегментного трафіку*.

**Розмір** сегмента визначається фізичною відстанню між найбільш віддаленими точками.

**Масштаб** сегмента визначається кількістю об'єднаних у ньому хостів.

**Внутрішньосегментний трафік** в загальному випадку складається з *локального трафіку, вихідного, вхідного і транзитного* відносно сегменту, який розглядається.

**Локальним** називається трафік, який формується в результаті інформаційного обміну хостів в межах сегменту. Розподіл локального трафіку в сегменті будем називати *замиканням трафіку* в сегменті.

**Вихідним** називається трафік, який генерується хостами сегмента і є спрямованим за межі даного сегмента до хостів інших сегментів.

**Вхідним** називається трафік, генерований хостами інших сегментів і призначений хостам даного сегмента.

**Транзитним** відносно сегмента називається трафік, генерований хостами інших сегментів та адресований хостам, розташованим поза даним сегментом.

Відповідно до перерахованих складових внутрішньосегментного трафіку будемо розрізняти наступні види сегментів.

**Сегмент замикання локального трафіку (СЗЛТ)** – сегмент, у якому циркулює тільки локальний трафік. Це приклад закритої, ізольованої мережі. Топологія логічних зв'язків у такому сегменті є повнозв'язною для кореспондуючих пунктів.

Існують «плоскі» і «опуклі» СЗЛТ.

*Плоский СЗЛТ* відповідає фізичному сегменту зі спільним комунікаційним середовищем, де рівень замикання локального трафіку припадає безпосередньо на фізичне середовище. Прикладом може бути невелика мережа робочої групи з топологією «спільна шина», яка побудована з використанням кабелю, або з топологією «зірка» з використанням комунікаційного устаткування фізичного рівня.

*Опуклий СЗЛТ* відповідає сегменту з комутованою топологією, де трафік замикається через логічний вузол (обладнання каналного або мережевого рівня). Такий вузол виконує обов'язки опорного вузла. Наприклад, та ж мережа робочої групи, що має топологію «зірки», але з використанням комутатора в центральному пункті.

Опорний вузол, через який хости обмінюються повідомленнями локального трафіку сегмента, визначає *рівень замикання трафіку* в опуклому сегменті.

**Сегмент формування вихідного трафіку (СФВихТ)** – сегмент, хости якого генерують трафік, спрямований за межі сегменту.

**Сегмент розподілення вхідного трафіку (СРВхТ)** – сегмент, у якому є лише трафік, які надходить від зовнішніх відносно нього, хостів.

У СФВихТ і СРВхТ не завершено процес перенесення інформації з кінця в кінець (від джерела до одержувача), і це визначає особливості топологій їх логічних зв'язків. Топологією логічних зв'язків таких сегментів є «дерево з корінням». У разі СФВихТ траєкторії руху трафіку спрямовано від хостів до вузла – “кореня дерева”, в якому концентрується вихідний трафік, а в разі СРВхТ – навпаки. Вузол, який є “корінням дерева”, у зазначених сегментах виступає у ролі **транзитного вузла**.

Оскільки на практиці всі мережі побудовано як відкриті системи можна припустити, що в багатьох випадках один і той же сегмент виконує відразу декілька функцій з формування трафіку (див. рис. 5.4).

Структурований СЗЛТ відображено як сукупність вкладених один в одного сегментів з поєднанням функцій СЗЛТ, СФВихТ і СРВхТ (див. рис. 5.5).

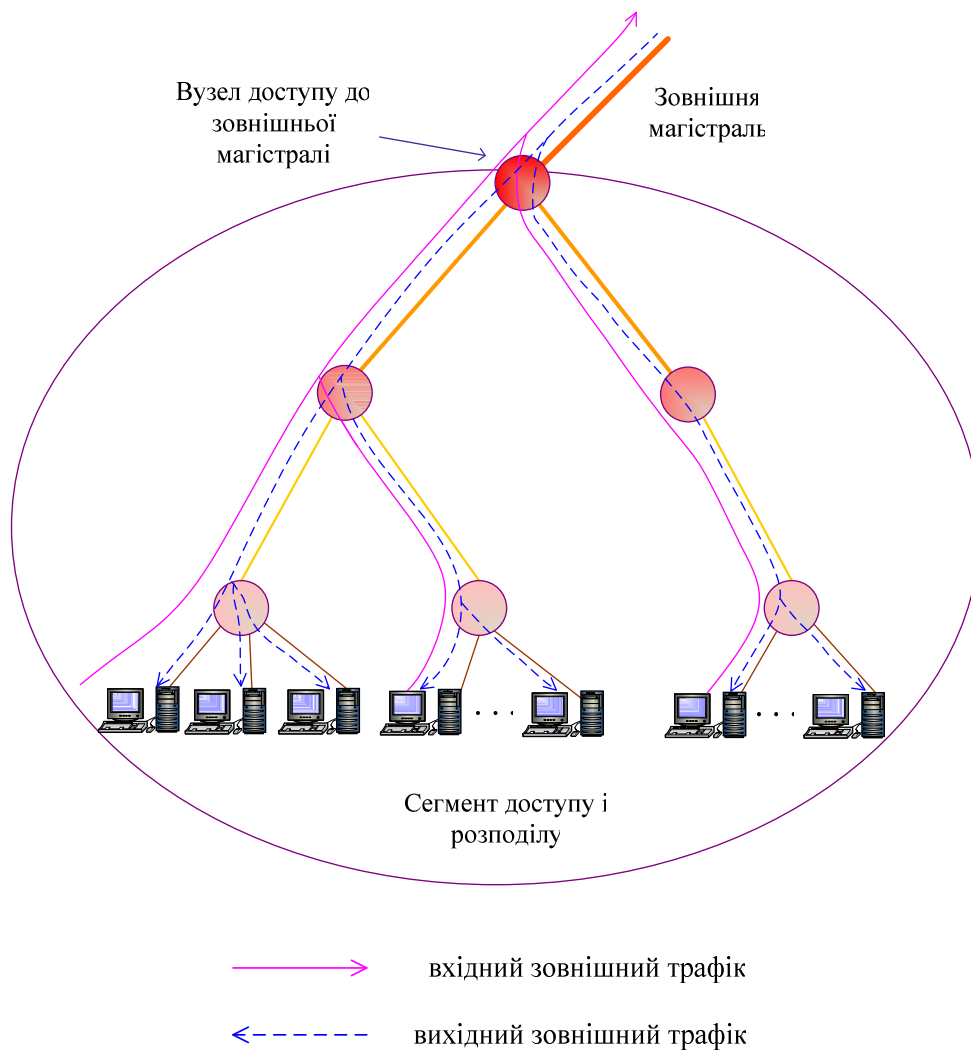


Рисунок 5.4. Поєднання функцій СФВихТ і СРВхТ в одному сегменті

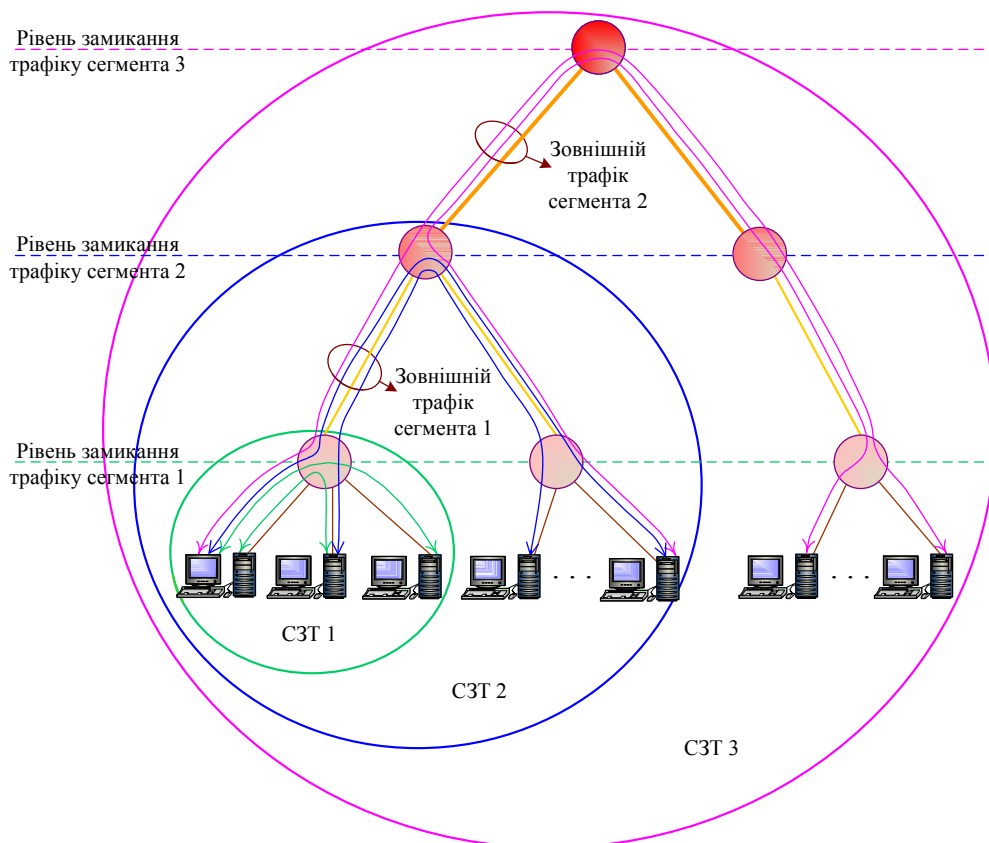


Рисунок 5.5. Поєднання функцій СЗЛТ, СФВихТ і СРВхТ в одному сегменті

У такому сегменті існує декілька рівнів замикання трафіку, кожен з яких визначається статусом відповідного опорного вузла. Прикладом може бути мережа великого відділу, яка складається з рівня замикання локальних трафіків робочих груп і рівня замикання трафіку відділу.

Вузол, який виконує функції опорного вузла в поєднанні з функціями транзитного вузла, має назву **опорно-транзитного вузла**.

**Сегментом формування транзитного трафіку (СФТТ)** називається сегмент, у якому є концентрований трафік від

хостів зовнішніх сегментів. СФТТ має особливий статус. Це магістральний сегмент. Він об'єднує опорні, опорно-транзитні або власне транзитні вузли і визначає рівень замикання трафіку, оскільки перерозподіляє трафік між усіма об'єднаними ним сегментами, що мають нижчий статус.

Відмінною особливістю такого сегменту є підвищення вимог до пропускної спроможності магістральних ліній і продуктивності вузлів.

У мережевій термінології такий сегмент називається *магістральною мережею* (Backbone Network).

## **5.6. Поєднання сегментів мережі**

Поєднання сегментів можна здійснювати на фізичному, каналному й мережевому рівнях моделі OSI/ISO, використовуючи відповідне комунікаційне обладнання. При цьому можуть бути задіяні механізми *розширюваності* й *масштабованості* сегментів.

Під **розширюваністю** розуміють можливість збільшення розміру сегмента шляхом порівняно нескладного долучення нових структурних фрагментів.

Поняття розширюваності пов'язують зазвичай з фізичними сегментами, побудованими на основі спільного розподільчого середовища передачі. Масштаб такого сегмента та його фізичний розмір, як правило, обмежені, тому що починаючи з якогось певного моменту, додавання чергового хосту або структурного фрагмента призводить до різкого зниження технологічних характеристик мережі (продуктивності, збільшення загасання переданих сигналів).

Механізми, які забезпечують розширюваність сегмента, – це поєднання невеликих за розміром фізичних сегментів в сегмент більшого розміру з використанням комунікаційного устаткування фізичного рівня. Масштаб розширюваного фізичного сегмента завжди має обмеження, що накладаються спільним комунікаційним середовищем.

Великомасштабні сегменти в принципі не можуть бути побудовані на базі нерозривного комунікаційного середовища. Вони, як правило, структуровані. Способи фізичної структуризації можуть варіюватися від простого поділу спільного кабелю на сегменти меншої довжини та поєднання їх за допомогою повторювачів (плоска структуризація) до побудови багаторівневої ієрархічної композиції на базі концентраторів (опукла структуризація).

На рисунку 5.6 наведено приклад розширення локальної мережі, що використовує для з'єднання комп'ютерів загальний кабель (методом проколювання). Збільшення довжини сегмента здійснено нарощуванням додаткових ділянок, приєднаних повторювачами.



Рисунок 5.6. Плоска фізична структуризація

Для мережі невеликого відділу, підприємства можна скористатися опуклою (багаторівневою) структуризацією, адекватною його адміністративному улаштуванню (див. рис. 5.7).

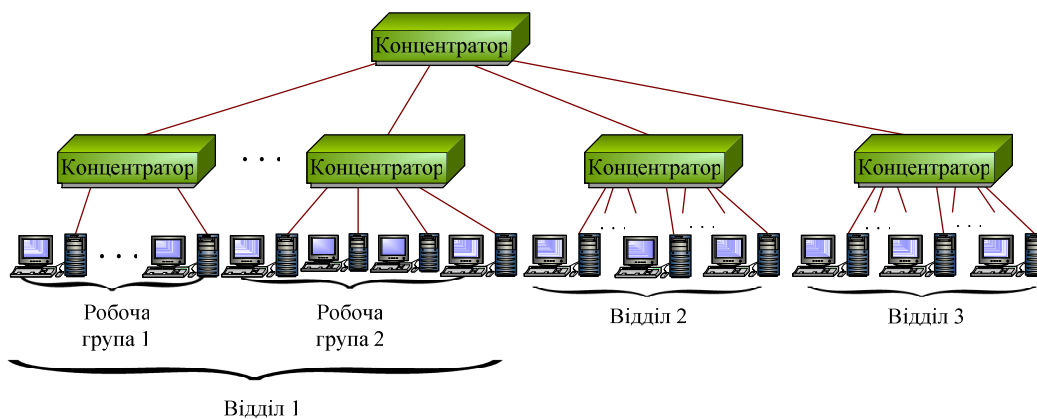


Рисунок 5.7. Опукла фізична структуризація

Комутована топологія з використанням комунікаційного устаткування не нижче каналного рівня, на відміну від спільного розподільчого середовища, дозволяє забезпечити оптимальну масштабованість сегмента.

Під **масштабованістю** розуміють можливість необмеженого під'єднання хостів і цілих сегментів, що не впливає на продуктивність мережі в цілому.

Збільшення масштабу сегменту відбувається шляхом додавання вузлового пункту на будь-якому рівні структуризації (доступу, розподілу або ядра). При цьому, чим вищим є рівень доданого вузла, тим ширшими можливості збільшення масштабу сегмента. Гарна масштабованість є однією з найважливіших вимог, дотримання яких у сучасних мереж є необхідною.

У загальних випадках об'єднання сегментів, які генерують вихідний трафік, можна виконати з використанням СФТТ. З'єднання будь-якого сегмента з магістральним сегментом зазвичай відбувається у вузлі, який набуває ролі опорно-транзитного або транзитного.



Визначення рівня ієрархії вузлів, на якому доцільною є організація СФТТ, є нетривіальним техніко-економічним завданням, вирішуючи яке слід брати до уваги такий фактор, як масштаб формованої мережевої інфраструктури.

Об'єднання сегментів на мережевому рівні розглядається, як забезпечення **міжмережевої взаємодії** (internetworking), тобто засіб обміну даними між логічними мережами з використанням комунікаційного обладнання і протоколів третього рівня моделі OSI/ISO.

Таке об'єднання логічних мереж набуло назву **«інтермережа»** (internetwork, internet).

В мережах, які використовують стек протоколів TCP/IP, взаємодія логічних мереж здійснюється на основі **протокола межмережевої взаємодії** (Internet Protocol, **IP**). У зв'язку з тим, поряд з терміном «інтермережа», використовуються також терміни **«IP-мережа»**, **«TCP/IP-мережа»** (за назвою протокола і стека відповідно).

Термін «інтермережа», на відміну від назви глобальної мережі **«Інтернет»**, завжди пишеться малими літерами, хоча за принципом організації вони ідентичні.

У межах однієї мережі масштабу LAN можна організувати інтермережу, наприклад, у разі необхідності забезпечення спільної роботи груп вузлів, які використовують різне системне програмне забезпечення. Для цього групи вузлів необхідно зробити логічними мережами, додав їм відповідні номери (мережеві адреси) й організувати шлюз для їхньої взаємодії. Роль шлюза може виконувати комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням мережевого рівня або маршрутизатор. Іншим прикладом є обмеження масштабу

логічної мережі її адресним простором (множиною адрес, які є допустимими в рамках прийнятої схеми адресації). Наприклад, для IP-протоколу – це 255 хостів для мереж класу С – найбільш доступного. У цьому випадку необхідно також організувати інтермережу з декількома IP- адресами.

### ***Резюме***

У висновку зазначимо, що сегментний підхід при синтезі мережі забезпечує в цілому вирішення таких важливих завдань, як:

- *підвищення загальної продуктивності мережі, оскільки. відділення локального трафіку розвантажує магістральні зв'язки;*
- *спрощення процесу керування мережею, оскільки основні проблеми частіше виникають і локалізуються всередині сегментів;*
- *підвищення гнучкості мережі, оскільки будь-який сегмент завжди можна адаптувати до специфічних потреб групи об'єднаних у ньому користувачів;*
- *можливість забезпечення в різних сегментах різних швидкостей передачі та мережесевих технологій.*

### **Контрольні питання**

1. У чому полягає сутність сегментного підходу при синтезі телекомунікаційних мереж?

2. Перерахуйте основні класифікаційні ознаки, за якими здійснюється виділення сегментів в телекомунікаційних мережах.

3. Що таке сегменти LAN, MAN, WAN?

4. Дайте визначення таких понять, як «транспортна мережа», «мережа доступу», «розподільча мережа».

5. Охарактеризуйте сегменти телекомунікаційних мереж, виділених на основі технологічної ознаки.

6. Що називається сегментом фізичного рівня?

7. Перерахуйте механізми забезпечення зв'язності в сегментах. У чому полягають переваги й недоліки кожного з них?

8. У чому полягає відмінність між фізичною та логічною структуризацією сегментів?

9. Поясніть термін «комутована топологія». Яке комунікаційне обладнання забезпечує реалізацію комутованої топології?

10. Які переваги в сегменті забезпечуються за рахунок використання обладнання канального рівня?

11. На якому принципі засновано утворення сегментів мережевого рівня? Як називаються сегменти мережевого рівня?

12. Яке комунікаційне обладнання забезпечує міжмережову взаємодію логічних мереж?

13. Перерахуйте узагальнені характеристики сегментів.

14. Охарактеризуйте складники внутрішньосегментного трафіку.

15. Які види сегментів розрізняють відповідно до типу формованого внутрішньосегментного трафіку?

16. Що розуміють під “рівнем замикання трафіку”?
17. Як відрізняються способи об'єднання сегментів на фізичному, каналному і мережевому рівнях?
18. Які фактори є обмеженнями при розширенні сегментів, масштабуванні сегментів?
19. Що розуміють під “інтермережею” ?
20. Що відрізняє поняття “інтермережа” й “Інтернет” і що між ними є спільним?

## Розділ 6. Математичні моделі та методи синтезу і аналізу телекомунікаційних мереж

### 6.1. Загальне поняття про задачі синтезу та аналізу

Усі задачі, які виникають у процесі побудови та експлуатації телекомунікаційних мереж, можна розділити на два класи: задачі синтезу й аналізу зв'язувальних мереж.

Під **зв'язувальною мережею** розуміють сегмент телекомунікаційної мережі, для кожної пари пунктів якого може бути знайдено, принаймні, один шлях, який їх пов'язує.

**Задача синтезу зв'язувальної мережі** постає як у процесі побудови нової мережі, так і під час реконструкції та розвитку наявних мереж. За типом ця задача є техніко-економічною, тому що найчастіше треба знайти рішення, оптимальне за економічними показниками, такими, наприклад, як мінімум капіталовкладень, максимум рентабельності та ін.

Для синтезу мережі, зазвичай, є заданим географічне розташування пунктів мережі, які слід об'єднати в зв'язну мережу (саме поняття «синтез» у перекладі з грецької означає «з'єднання», «складання»). При цьому топологія ліній зв'язку є невідомою характеристикою, яку необхідно з'ясувати, й вона може варіюватися залежно від оптимізації економічних показників. Це дає змогу розглядати мінімум витрат на лінії зв'язку як цільовий критерій оптимального синтезу мережі.

На конфігурацію ліній зв'язку між пунктами мережі може бути накладено обмеження, зокрема заборона окремих географічних трас, наприклад, якщо вони перетинають водні або гірські перешкоди.

У класі задач аналізу розглядають питання визначення структурних характеристик як мережі в цілому, так і окремих її елементів. Конкретними задачами є такі, розв'язування яких – це вибір оптимальної топології фізичних зв'язків на певних ділянках мережі, підвищення надійності та живучості мережі, вибір оптимальної кількості й місця розташування вузлових пунктів та ін.

**Задачі аналізу** є актуальними для наявних, тобто вже синтезованих зв'язувальних мереж. Такі задачі спрямовано на знаходження екстремальних шляхів передавання інформаційних потоків, визначення сукупності шляхів заданої транзитності, оцінювання пропускної здатності мережі, ймовірності підтримання зв'язку між пунктами та ін.

Для того, щоб вирішити конкретне завдання синтезу або аналізу телекомунікаційної мережі, її необхідно **формалізувати**, тобто записати у вигляді схеми: що дано, що необхідно визначити і з якими обмеженнями.

Формалізацію можна виконати словесно (таку форму називають *вербальною моделлю* завдання) або у вигляді *математичної моделі*, яка описує завдання термінами тієї чи іншої теорії (наприклад, теорії графів, теорії множин, теорії оптимальних рішень та ін.)

Здійснення формалізації вимагає не тільки розуміння самої проблеми, а й вибору адекватної моделі об'єкта (телекомунікаційної мережі). Моделювання об'єкта синтезу або аналізу дає змогу з'ясувати та відтворити найбільш істотні, відповідно до поставленого завдання, елементи об'єкта та зв'язки між ними, не відволікаючись на деталі.

Для модельного відтворення зв'язувальної мережі найчастотніше застосовують графи. На основі моделі об'єкта та її параметрів (кількості пунктів та ліній мережі, відстаней між пунктами, пропускну здатності вузлів і ліній мережі, вартісних параметрів та ін.) можна побудувати математичну модель, яка відображає залежність між відшукуваними параметрами та незалежними змінними завдання.

У задачах синтезу та аналізу зв'язувальних мереж найчастіше використовують **оптимізаційні математичні моделі**, де критерій оптимізації записують як **цільову функцію**, для якої необхідно знайти **екстремум** (мінімум або максимум). На входні в цільову функцію параметри, як правило, накладають обмеження, які вказують, у яких межах можуть змінюватися значення відшукуваних параметрів. Обмеження записують як рівняння та нерівності, що містять деякі логічно пов'язані сукупності цих параметрів. Таку систему рівнянь або нерівностей називають системою обмежень задачі.

Задачі, в яких треба відшукати екстремум (мінімум або максимум) деякої цільової функції, що відображає критерій оптимальності рішення, називають **екстремальними**.

Прикметною особливістю екстремальних задач синтезу та аналізу телекомунікаційних мереж є їх велика розмірність. Формулювання цих завдань термінами графових та мережевих моделей дає змогу отримати значну кількість ефективних (зважаючи на подолання обчислювальної складності) методів та алгоритмів їх вирішення, орієнтованих на застосування ЕОМ. Такі алгоритми розглядатимемо далі.

Під **алгоритмом** розуміють формалізовану покрокову процедуру, що забезпечує знаходження рішення завдання, виконання якого можна доручити ЕОМ.

Розрізняють алгоритми *точні* та *наближені*, так звані *евристичні*.

**Точні алгоритми** завжди гарантують знаходження оптимального рішення (глобального оптимуму цільової функції). Наприклад, алгоритм повного перебору всіх можливих рішень з вибором найкращого серед них, є точним алгоритмом.

Точні алгоритми, як правило, досить трудомісткі. Тому у практиці часто використовують більш прості алгоритми, що забезпечують швидке вирішення з прийнятною точністю. Такі алгоритми будують, використовуючи раціональні, з точки зору логіки людини, *правила знаходження рішення*. Ці правила називають **евристиками**. Розв'язування задачі можна повторити, використовуючи інші евристики. Як доводить практика, збільшуючи витрати часу, **евристичний алгоритм** дає змогу знайти рішення, близьке до оптимального.

Евристичні алгоритми використовують у тих випадках, коли побудувати точний алгоритм не вдається через складність математичної моделі задачі (її нелінійність, дискретність та ін.).

## **6.2. Моделювання зв'язувальної мережі як об'єкта синтезу та аналізу**

Зв'язувальна мережа як об'єкт синтезу та аналізу – це сукупність розосереджених у просторі пунктів і ліній, які їх



з'єднують. Математичною моделлю такого об'єкта може бути **граф**.

Означення. *Графом називають певну сукупність точок, з'єднаних лініями.*

Точки графа називають **вершинами**, а лінії – **дугами**. Граф математично позначають як  $G(N,V)$ , де  $N$  – кінцева множина вершин потужністю  $n$ , а  $V$  – кінцева множина дуг потужністю  $m$ .

Вершини можна позначити малими латинськими літерами ( $i, j, k, l, s$ ) або арабськими цифрами (1, 2, 3, 4, 5), а дуги – відповідно парами:  $\{(i,j), (j,k), (k,l), \dots\}$  або  $\{(1,2), (2,3), (3,4), \dots\}$ , де перший індекс визначає початок, а другий – кінець дуги (див. рис. 6.1).

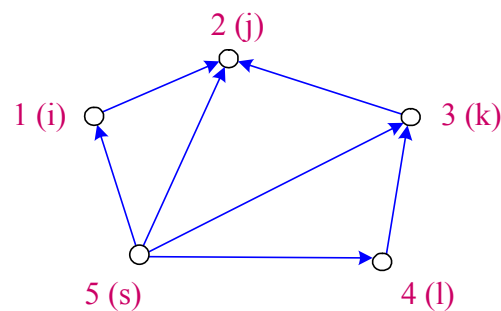


Рисунок 6.1. Графова модель мережі

Граф, у якому задано напрямок дуг стрілками, називають **орієнтованим**, у протилежному випадку – **неорієнтованим**. Неорієнтовані дуги називають **ребрами**.

Між двома вершинами, з'єднаними дугою (ребром), існує відношення **суміжності** (для орієнтованого графа вершини  $i$  і  $j$  суміжні, лише якщо дуга починається в  $i$  та направлена в  $j$ ).

Між вершиною та суміжними з нею дугами (ребрами) існує відношення **інцидентності**. Вершина і дуга інцидентні одне одному, як що вершина є для цієї дуги *кінцевою* або *початковою* точкою.

Граф, кожній дузі (ребру) якого відповідатимуть деякі числові характеристики, називають **зваженим графом**, а самі характеристики називають **вагами**. Ваговими характеристиками зв'язувальної мережі можуть бути відстані, пропускну здатність, вартість та ін. У разі необхідності ваги можуть бути приписані також вершинам графа.

Зважений граф прийнято називати **мережею** (в даному випадку мається на увазі ще одна модель зв'язувальної мережі, а не фізичний об'єкт).

Крім геометричного зображення у вигляді точок і ліній, граф можна відтворити дискретно. Саме таку форму використовують у програмній реалізації алгоритмів для розв'язування задач із застосуванням графових моделей в ЕОМ.

Однією з найбільш поширених дискретних форм графа є **матриця суміжностей**. Це матриця  $A=[a_{ij}]$ , розміром  $(n \times n)$  елементів, які можуть набувати значень:

$a_{ij} = 1$ , якщо в графі  $G$  є дуга (ребро) між вершинами  $i$  та  $j$ ;

$a_{ij} = 0$ , – у протилежному випадку.

Матрицю суміжності графа наведено на рисунку 6.2.

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Рисунок 6.2. Матриця суміжності

Для зберігання в пам'яті ЕОМ матриці суміжності, як бачимо, необхідно  $n^2$  комірок.

У неорієнтованому графі матриця суміжності є симетричною до основної діагоналі, отже, в пам'яті ЕОМ може зберігатися лише один з її трикутників (верхній або нижній), що економить пам'ять, але ускладнює її оброблювання в ЕОМ.

Якщо перенумерувати довільно дуги (ребра) графа  $G$  і проставити ці номери відповідно до номерів рядків деякої матриці  $B=[b_{ij}]$ , а номери стовпців залишити, як і раніше, відповідними номерам вершин графа, то в такій матриці можна відобразити відношення **інцидентності** елементів графа  $G$ . Елементи матриці  $B_{ij}$  можуть набувати значень  $\{0, 1\}$ .

Якщо перенумерувати дуги графа, наведеного на рисунку 6.1, так :  $(i, j) - 1$ ;  $(j, k) - 2$ ;  $(k, l) - 3$ ;  $(l, s) - 4$ ;  $(s, i) - 5$ ;  $(s, j) - 6$ ;  $(s, k) - 7$ , то **матриця інцидентності** набуде вигляду (див. рис. 6.3):

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Рисунок 6.3. Матриця інцидентності

Зверніть увагу, що орієнтованість графа в цій матриці, на відміну від матриці суміжностей, не відображається.

Мережа (зважений граф) у дискретному вигляді може бути відтворена **матрицею ваг**  $W=[w_{ij}]$ , де  $w_{ij}$  – вага дуги (ребра), якщо вона (воно) існує в графі  $G$ . Вага ненаявних дуг (ребер), вважають, дорівнює  $\infty$  або 0, що залежить від умов поставленої задачі.

Якщо граф є розрідженим (має малу кількість дуг (ребер)), то можливим є більш компактне подання графа  $G$ , а саме **списком дуг (ребер)**. Цей список можна реалізувати двома одновимірними масивами ( $R1$  і  $R2$ ) розмірністю  $m$ , у першому з яких записано початкові вершини дуг (ребер), а в другому – кінцеві, або двовимірним масивом  $R$  розмірністю  $(2, m)$ . Наприклад,

$$R1 = (1, 3, 4, 5, 5, 2, 5);$$

$$R2 = (2, 2, 3, 4, 1, 5, 3);$$

$$R = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 4 & 5 & 5 & 2 & 5 \\ 2 & 2 & 3 & 4 & 1 & 5 & 3 \end{vmatrix}$$

Граф у вигляді дискретного масиву з плавкими межами є доцільним, якщо необхідно передбачити можливість долучення або вилучення його вершин, а тому варто використовувати так звану **структуру суміжностей**, тобто список суміжних вершин для кожної вершини графа. Структура суміжності для графа, наведеного на рисунку 6.1 набуде вигляду:

- 1: 2;
- 2: 5;
- 3: 2;
- 4: 3;
- 5: 1, 2, 3, 4.

### **6.3. Задачі синтезу телекомунікаційних мереж**

Розв'язування будь-якої задачі синтезу телекомунікаційної мережі обов'язково складатиметься з визначення топології фізичних зв'язків (проводових або безпроводових) для деякої заданої сукупності пунктів, розосереджених у просторі. Неважко уявити, що кількість топологічних варіантів можливих фізичних зв'язків у цьому випадку, може бути доволі значною величиною. Закономірно постає питання про вибір такого варіанту, який відповідатиме деякому заздалегідь визначеному критерію оптимальності. Таким чином, можна констатувати, що задачі синтезу зв'язувальних мереж є екстремальними, для вирішення яких, як вже зазначалося, можна застосовувати точні та евристичні алгоритми. Чим більшою є розмірність мережі, тим

складнішим є застосування точних методів і алгоритмів. Однак сегментний підхід у побудові телекомунікаційних мереж (див. розділ 5), дає змогу здійснювати декомпозицію загальної задачі синтезу мережі на ряд підзадач оптимального синтезу її сегментів, які виконують відносно самостійні завдання щодо забезпечення основної телекомунікаційної функції – транспортування інформаційних потоків. Отже, можна говорити про оптимальний синтез мережі абонентського доступу, транспортної мережі та ін.

Сучасна теорія графів пропонує витончені методи та алгоритми рішення завдань оптимального синтезу топологій фізичних зв'язків для сегментів телекомунікаційних мереж. Далі наводимо деякі з них.

### ***Синтез зв'язувальної мережі мінімальної вартості***

Ситуація, в якій деяку множину точок необхідно поєднати так, щоб кожна пара точок стала зв'язною (безпосередньо або через інші точки), а загальна вагова характеристика зв'язків виявилася мінімальною, спонукає до розв'язування **задачі синтезу мережі мінімальної вартості**.

Наприклад, є ряд точок, у яких можуть бути розташовані пункти телекомунікаційної мережі. Відомо: відстані між парами точок і вартість прокладання одного кілометра лінії зв'язку. Необхідно визначити сукупність ліній зв'язку, які забезпечують зв'язність усіх пунктів мережі й мінімальну сумарну вартість їх прокладки.

З теорії графів і мереж відомо, що рішенням поставленого завдання є мережа з топологією фізичних зв'язків типу "дерево", тобто такого графа, в якому відсутні *цикли*.

Кажуть, що граф містить **цикли**, якщо в ньому можна відшукати замкнуті контури. Відсутність циклів визначає особливість графа типу “дерево”, яка полягає в тому, що між будь-якою парою його вершин існує лише один єдиний шлях їх сполучення, тобто параметр зв'язності  $h=1$ . Кількість ребер у дереві є завжди на одиницю меншою від кількості його вершин.

*Означення. Граф типу “дерево”, в якому для кожної пари вершин існує шлях, який їх з'єднує, називають покривним деревом.*

Математично задача синтезу мережі мінімальної вартості зводиться до знаходження **мінімального покривного дерева**. Цю задачу формулюють наступним чином.

Нехай задано неорієнтований граф  $G(N,V)$ , де множині вершин  $N$  відповідає множина пунктів мережі, загальне число яких дорівнює  $n$ , а множина ребер  $V$  – відстаням  $\{l_{ij}\}$  між парами пунктів.

Відома вартість  $C_{ij}$  організації одиниці довжини (наприклад, одного кілометра) лінії зв'язку між пунктами  $i$  та  $j$ .

Необхідно знайти деяке покривне дерево  $G'(N,V')$ , для якого досягається мінімум цільової функції:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} l_{ij} \rightarrow \min.$$

Для вирішення поставленої задачі існує ряд ефективних алгоритмів знаходження покривного дерева. Наведемо один із них, відомий за прізвищем автора як **алгоритм Пріма**.

Алгоритм Пріма можна реалізувати шляхом надання позначок вершинам, які вводяться в відшукуваний граф  $G'(N,V)$ , і послідовного введення в нього мінімальних за вагою ребер. При цьому, як зазначено вище, загальна кількість ребер не повинна перевищувати  $(n-1)$  і між усіма  $n$  вершинами покривного дерева має бути зв'язність.

Надамо процедуру виконання алгоритму Пріма у покроковій формі.

*Крок 0.* Мережа  $G'(N,V)$ , яку треба визначити, початково містить  $n$  вершин і не має ребер. Вибирають одну довільну вершину  $i$  та позначають як "вибрану". Решта  $(n-1)$  вершин є "невибраними".

*Крок 1.* Відшуковують ребро  $(i,j)$ , яке належить  $G(N,V)$  з мінімальною вагою, у якого вершина  $i$  належить підмножині "вибраних" вершин, а вершина  $j$  – підмножині "невибраних" вершин.

*Крок 2.* Ребро  $(i,j)$  розміщують у мережі  $G'(N,V)$ , яку треба визначити, а вершину  $j$ , вилучаючи з підмножини "невибраних", розташовують у підмножині "вибраних" вершин. Якщо підмножина "невибраних" вершин виявилася порожньою, то роботу алгоритму завершено. Інакше – перехід до кроку 1.

Проілюструємо роботу алгоритму Пріма на прикладі. Задано сім пунктів мережі, відстані між якими зведено в матрицю  $L=||l_{ij}||$ , а саме:



$$L = \begin{vmatrix} 0 & 10 & 5 & 12 & 9 & 3 & 9 \\ 10 & 0 & 7 & 2 & 8 & 4 & 6 \\ 5 & 7 & 0 & 3 & 1 & 5 & 11 \\ 12 & 2 & 3 & 0 & 10 & 15 & 10 \\ 9 & 8 & 1 & 10 & 0 & 12 & 9 \\ 3 & 4 & 5 & 15 & 12 & 0 & 17 \\ 9 & 6 & 11 & 10 & 9 & 17 & 0 \end{vmatrix}$$

На кроці 0 граф  $G'(N, V)$ , який треба знайти, містить сім вершин і не містить ребер. Вибираємо вершину 3 та позначаємо її як "вибрану" (рис. 6.4).

На кроці 1 вибираємо ребро  $(l_{35})$  як ребро з найменшою вагою, у якого вершина  $i=3$  належить підмножині "вибраних" вершин (воно поки що містить лише одну вершину 3), а вершина  $j=5$  – підмножині "невибраних" вершин (зараз це всі інші вершини). На кроці 2 ребро  $l_{35}$  уводимо у шуканий граф  $G'$ , а вершину 5 вилучаємо з підмножини "вибраних" вершин (рис. 6.5.).

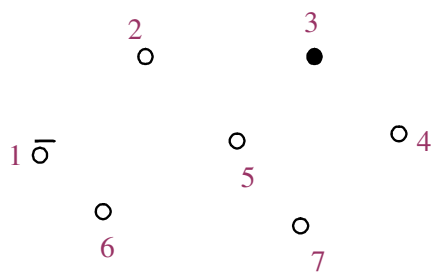


Рисунок 6.4.

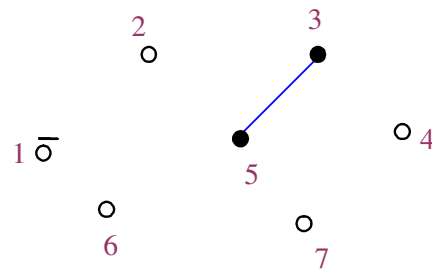


Рисунок 6.5.

Оскільки підмножина "невибраних" вершин – порожня, повторюємо крок 1. Для цього знаходимо ребро мінімальної

ваги, перебираючи сполучення кожної пари "вибраної" та "невибраної" вершин. Таким виявилось ребро  $l_{34}$  (рис. 6.6), яке розміщуємо у графі  $G$ . Вершина 4 стає "вибраною".

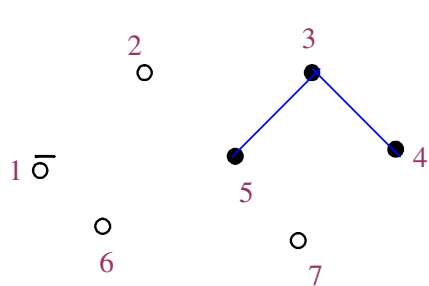


Рисунок 6.6.

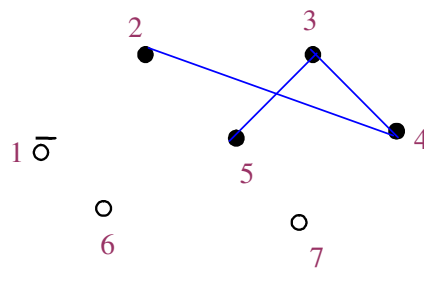


Рисунок 6.7.

Наступними вибираємо ребра:  $l_{24}$  (рис. 6.7);  $l_{26}$  (рис. 6.8);  $l_{13}$  (рис. 6.9);  $l_{27}$  (рис. 6.10). На цьому робота алгоритму закінчується, тому що всі вершини позначено як "вибрані" (тобто підмножина "невибраних" вершин стала порожньою).

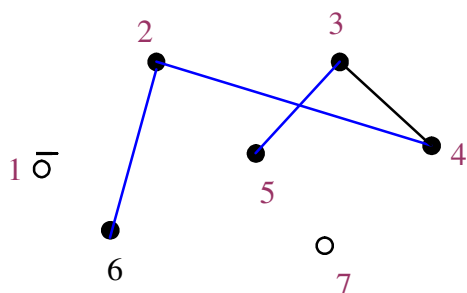


Рисунок 6.8.

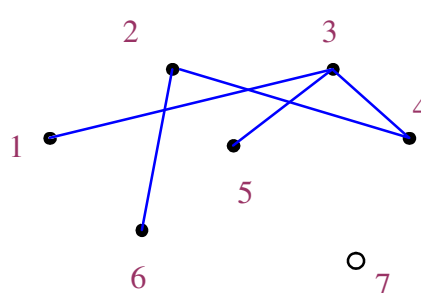


Рисунок 6.9.

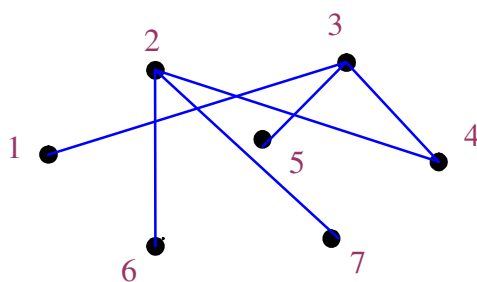


Рисунок 6.10.

Знайдено відшукуваний граф  $G'(N, V)$ , який є покривним деревом, тому що він містить усі вершини, а число ребер на одиницю є меншим кількості вершин ( $n = 7$ ,  $v = 6$ ) та забезпечує зв'язність кожної пари вершин.

Знаходження мінімального покривного дерева є однією з класичних задач оптимізації на графах і мережах, оригінальні розв'язування якої запропоновано багатьма авторами. Так, не менш відомим і, до того ж, більш ефективним, з урахуванням швидкості обчислень, є алгоритм, запропонований Краскелом.

**Алгоритм Краскела** відрізняється тим, що ребра в ньому проглядають у порядку зростання ваг і лиш одноразово. Звісно, це передбачає виконання попередньої процедури впорядкування ребер у порядку збільшення їх вагових характеристик. У разі однакових ваг ребра розташовують довільно.

Ідея алгоритму ґрунтується на процесі «фарбування» ребер і формуванні «букетів» із вершин. Пояснимо цю ідею.

Для фарбування ребер, які формуватимуть мінімальне покривне дерево, використовуємо, наприклад, зелений колір, а для тих, що поза ним – помаранчевий. Якщо чергове незабарвлене ребро, взяте з упорядкованого списку, *не утворює цикл* з ребрами зеленого кольору, його забарвлюємо у зелений колір, а з його вершини утворюємо «букет» вершин мінімального покривного дерева, яке будується. Інакше – ребро забарвлюємо у помаранчевий колір. Ребро може утворювати цикл у мінімальному покривному дереві лише в тому випадку, коли його вершини належать до одного «букету». Якщо ж вершини належать різним «букетам», то ребро забарвлюють в зелений колір, а букети зливаються.

Процедуру завершують, коли кількість зелених ребер досягає  $(n-1)$ , або коли всі ребра будуть, не зважаючи на колір, пофарбованими. Сформулюємо процедуру алгоритму Краскела покроково.

*Крок 0.* Упорядкувати ребра за збільшенням ваги. Усі ребра є непофарбованими. Букети відсутні. Вибрати перше з упорядкованого списку ребро (воно має мінімальну вагу), пофарбувати його в зелений колір і сформувати з його вершин перший букет.

*Крок 1.* Вибрати наступне за списком незабарвлене ребро. Можливим є один із таких варіантів:

а) обидві вершини належать одному букету – пофарбувати ребро в оранжевий колір;

б) одна з вершин належить букету, а інша ні – пофарбувати ребро в зелений колір, вершину долучити до того ж букету;

в) обидві вершини не належать жодному букету – пофарбувати ребро в зелений колір і сформувати з його вершин новий букет;

с) вершини належать різним букетам – пофарбувати ребро в зелений колір, а обидва букета об'єднати в один.

Перейти до кроку 2.

*Крок 2.* Якщо кількість зелених вершин дорівнює  $(n-1)$ , або всі вершини пофарбовано – кінець роботи алгоритму. Інакше – повернутися до кроку 1.

Спробуйте самостійно виконати цей алгоритм для розглянутого вище прикладу, що використовувався при

побудові покривного дерева за алгоритмом Пріма. Оцініть і порівняйте трудомісткість кожного з них. Можливо, романтично-естетична ідея з фарбуванням ребер і складанням букетів надихне Вас на створення власного оригінального алгоритму розв'язування задачі побудови мінімального покривного дерева.

***Визначення оптимального місця розташування опорного вузла в кабельній мережі абонентського доступу***

Розглянемо наступне завдання. Нехай граф  $G(N, V)$  відображає деяку зв'язувальну мережу, тотожну кабельній мережі абонентського доступу, яка охоплює  $n$  абонентських пунктів. Вага кожного ребра  $(i, j)$ , яке належить  $V$ , відповідає довжині  $l_{ij}$  або вартості прокладки кабелю, котрий з'єднує пункти  $i$  та  $j$ . Необхідно визначити деяку вершину  $m$ , що належить  $N$ , у якій доцільно розмістити опорний вузол (наприклад, районну АТС) з урахуванням мінімізації загальної довжини кабелю, який з'єднує абонентські пункти з опорним вузлом.

Рішенням поставленого завдання є визначення **медіани графа  $G(N, V)$** .

**Означення.** Вершина  $m$ , яка належить  $N$ , є **медіаною** графа  $G(N, V)$ , якщо вона не суперечить умові

$$\sum_{j=1}^n l_{mj} \leq \sum l_{kj}; k \neq m.$$

Величину  $R_m = \sum_{j=1}^n l_{mj}$  називають **медіанною довжиною**

графу  $G$ , вона є найменшою сумарною довжиною ребер, які з'єднують вершину  $m$  з іншими вершинами графа.

Алгоритм визначення медіани графа  $G$  складається з наступних кроків.

*Крок 1.* У вихідній матриці ваг  $L = [l_{ij}]$ , яка відповідає довжині ребер, знайти суму елементів для кожного рядка:

$$R_i = \sum_{j=1}^n l_{ij}; \quad \forall i \in N.$$

*Крок 2.* Серед значень  $(R_i)$  відшукати мінімальне  $R_m$ . Вершина  $m$  і є медіаною графа  $G$ . Кінець роботи алгоритму.

### ***Визначення оптимального місця розташування базової станції в мережі стаціонарного радіодоступу***

Припустимо, що задано розташування пунктів мережі, в якій реалізовано абонентський стаціонарний радіодоступ до базової станції (БС). Необхідно знайти місце розташування базової станції, яка по радіоканалах зв'язується з абонентськими пунктами (АП). Бажано, щоб відстань від БС до будь-якого АП була мінімальною, що забезпечить стійкий радіозв'язок з урахуванням меншої потужності передавача БС. Зрозуміло, що такий критерій задовільнити майже неможливо. Тому будемо мінімізувати відстань до найбільш віддаленого від БС абонентського пункту, решта АП в цьому випадку автоматично знаходиметися ближче до БС. Закономірно, що БС (якщо це можливо) повинна займати центральне положення відносно всіх АП.

Задача знаходження пункту, в якому доцільно розташувати БС, може бути зведена до задачі знаходження **центра графа**.

*Означення.* Нехай  $G(N, V)$  є графом, де  $N$  - множина вершин, а  $V$  - множина відстаней між усіма вершинами. Вершину  $s$  називають центром графа  $G(N, V)$ , якщо вона не суперечить умові

$$\max l_{sj} \leq \max l_{ij} \text{ для будь-якої } i; 1 \leq j \leq n.$$

Алгоритм знаходження центра графа (вершини  $s$ ) випливає з самого визначення. Нижче наведемо його покрокову процедуру.

*Крок 1.* У кожному рядку  $i$  вихідної матриці ваг  $L = [l_{ij}]$  знаходимо елемент з максимальним значенням.

*Крок 2.* Серед максимальних значень елементів рядків знаходимо найменше значення  $l_{sj} \in \{l_{ij}\}$ . Вершина  $s$  і є центром графа. Кінець роботи алгоритму.

Таким чином, мінімізувавши відстань від точки  $s$  до найвіддаленішої вершини, ми забезпечили до всіх інших вершин гарантовано меншу відстань.

### ***Визначення циклу найменшої довжини для організації транспортного кільця***

Кільцеві топології фізичних зв'язків, як випливає з попередніх розділів, часто використовують для побудови

сегментів телекомунікаційних мереж, особливо транспортних мереж.

У термінах теорії графів кільцеву топологію визначають як **цикл** або **контур**.

Під **циклом** розуміють послідовність дуг (ребер) графа, що складають шлях, який починається й закінчується в одній і тій же вершині, а під **контуром** – послідовність вершин графа, які входять у такий цикл.

Пошук циклу (контур) є доцільний лише в «надлишковому» відносно деревоподібного графа, тобто в графі, кількість ребер якого є більшою від числа  $n$  його вершин. Власне кажучи, в задачах синтезу в такому сенсі вихідний граф допустимих зв'язків між вершинами завжди є надлишковим. У такому графі можна утворити  $n!$  циклів, які містять дуги (ребра) різної ваги, серед яких можна відшукати цикл найменшої сумарної ваги дуг (ребер). Розв'язавши подібну задачу можна, наприклад, оптимізувати витрати на побудову транспортної мережі.

Задача про знаходження циклу найменшої довжини в теорії графів є відомою як «**задача комівояжера**». Вона може бути формалізована наступним чином.

Дано граф  $G(N,V)$ , вершини якого – це міста в зоні обслуговування комівояжера, а дуги – відповідно зв'язки між парами міст. Маршрутом комівояжера називається контур, який містить всі вершини графа  $G$ . Необхідно знайти маршрут найменшої довжини.

Розв'язком цієї задачі є **гамільтонов контур** в графі  $G(N,V)$ , який відповідає маршруту найменшої довжини. Назва «гамільтонов контур» походить від прізвища ірландського



математика Вільяма Гамільтона, який у 1859 року вперше розпочав дослідження цих задач.

*Означення. Контур, у якому розміщено кожну вершину графа  $G(N, V)$  тільки один раз, називають гамільтоновим контуром (або гамільтоновим циклом).*

Задачу про знаходження гамільтонового контуру можна розв'язати за допомогою точного методу.

Пронумеруємо  $n$  міст цілими числами від 1 до  $n$ . За базовим містом закріпимо номер  $n$ . Звернемо увагу на те, що тур комівояжера однозначно відповідає перестановці цілих чисел 1, 2, ..., ( $n - 1$ ). Базове місто під номером  $n$  при цьому постійно займає останню позицію та в процесах перестановки не бере участь. Кожній перестановці можна поставити у відповідність деяке число, яке визначає довжину маршруту комівояжера як суму довжин ребер циклу, який з'єднує всі  $n$  вершин графа.

Утворивши всі перестановки з ( $n-1$ ) чисел і отримавши довжини маршрутів, кількість яких визначається як  $(n-1)!$ , необхідно знайти маршрут найменшої довжини.

Не важко переконатися, що ефективність обчислювальної процедури для вирішення цього завдання точним методом різко зменшується зі збільшенням числа  $n$  вершин графа. Як доводить практика, ефективність можна вважати задовільною, якщо кількість вершин у графі не більша від 30. У зв'язку з цим для розв'язування задачі про знаходження гамільтонового контуру часто використовують евристичні алгоритми.

Наближений алгоритм для розв'язання задачі про комівояжера можна отримати, наприклад, використовуючи евристики: – *«на кожному кроці рухаємося тільки до найближчого пункту»*. Використання такої евристики дає змогу одержати прийнятне рішення за час, необхідний для побудови тільки одного контуру. Переконайтесь в цьому, спробуйте знайти цикл найменшої довжини для вихідного повноз'язного графа, який використано для ілюстрації роботи алгоритма Пріма.

#### **6.4. Задачі аналізу телекомунікаційних мереж**

Задачі аналізу телекомунікаційної мережі, як уже зазначено вище, ґрунтуються на синтезованій топології фізичних зв'язків, і найчастіше зводяться до з'ясування оптимальних топологій логічних зв'язків. Це стосується побудови оптимальних планів розподілу інформаційних потоків у мережі, вибору найкращих маршрутів передавання інформаційних повідомлень, підвищення надійності та живучості мережі та ін.

Задачі синтезу та аналізу дуже пов'язані між собою, оскільки можливості оптимізації топології логічних зв'язків обмежуються топологією фізичних зв'язків у мережі. Якщо неможливо виконати умови оптимальної побудови топології логічних зв'язків, доводиться повертатися до синтезу інших топологій фізичних зв'язків. У результаті побудова телекомунікаційної мережі та її сегментів перетворюється на ітераційний процес.

Нижче розглядаємо окремі класичні задачі аналізу зв'язувальних мереж, що засновані на графових моделях.

### ***Знаходження найкоротшого шляху в зв'язувальній мережі***

Задача про знаходження найкоротшого за довжиною шляху в зв'язувальній мережі є фундаментальною задачею комбінаторної оптимізації. За її допомогою можна вирішити широке коло практичних завдань, які виникають у процесі керування телекомунікаційними мережами, впровадження нових телекомунікаційних технологій, методів маршрутизації та ін. Закономірно, що як «довжини» можуть розглядатися будь-які інші вагові характеристики елементів графа.

**Означення.** *Шляхом* називають послідовність вершин  $\mu_{ir} = (i, j, \dots, r)$  або послідовність дуг (ребер)  $\mu_{ir} = \{(i, j), \dots, (k, r)\}$ , що з'єднують пару  $i$  та  $r$  вершин графа  $G$ .

Сума ваг, приписаних дугам (ребрам), які утворюють шлях  $\mu_{ir}$ , визначає його **довжину**.

Шлях з вершини  $i$  в вершину  $r$ , який має мінімально можливу довжину, є **найкоротшим шляхом**.

Задачу про знаходження найкоротшого шляху можна сформулювати в наступному вигляді.

Дано зв'язувальну мережу  $G$ , у якій кожній дузі (ребру) приписано вагу, пропорційну до її (його) довжини. Потрібно знайти шлях  $\mu_{st}$  між заданими вершинами  $s$  та  $t$ , який має мінімально можливу довжину, тобто

$$L = \sum_{(i,j) \in \mu_{st}} l_{ij} \rightarrow \min \text{ (на } M),$$

де  $M$  – множина всіх можливих шляхів з  $s$  до  $t$ .

Одним з найбільш ефективних алгоритмів, які вирішують поставлене завдання, є **алгоритм Дейкстри**, також названий на честь автора, як що Ви встигли помітити.

Особливістю цього алгоритму є те, що в процесі його виконання одночасно будують найкоротші шляхи з заданої вершини  $s$  до усіх інших вершин мережі. Це пояснюється тим, що будь-яка вершина  $i \in N$  може виявитися проміжною на найкоротшому шляху з  $s$  до  $t$ . Після закінчення роботи алгоритму вершина  $s$  стає з'єднаною з усіма іншими вершинами зв'язувальної мережі  $G$ , зокрема і з вершиною  $t$ , найкоротшими шляхами, а дуги (ребра), які увійшли до них, утворюють деяку підмережу без циклів, тобто “дерево” з коренем у вершині  $s$ .

Робота алгоритму реалізується за допомогою розміщення у вершинах позначок  $(L_{sj}, i)$ , де  $L_{sj}$  – довжина найкоротшого шляху з початкової вершини  $s$  до деякої вершини  $j$ , а  $i$  попередня до  $j$  – вершина на цьому шляху.

Позначки поділяють на *тимчасові* та *постійні*. Тимчасові позначки можуть змінюватися в результаті роботи алгоритму, а постійні – не змінюються.

Нижче наводимо алгоритм Дейкстри покроково.

*Крок 0.* Для вершини  $s$  вважатиме, що  $L_{ss} = 0$ , а для решти вершин  $L_{sj} = \infty$ . Усі вершини мають тимчасові позначки типу  $(L_{sj}, s)$ .

*Крок 1.* Серед вершин з тимчасовими позначками вибираємо вершину  $r$ , для якої  $L_{sr}$  має найменше значення серед усіх  $L_{sj}$ . Таким чином позначка вершини  $r$  стає постійною.

*Крок 2.* Якщо всі вершини мережі отримали постійні позначки – кінець роботи алгоритму. Інакше – перехід до кроку 3.

*Крок 3.* Перераховуємо *тимчасові* позначки для вершин, суміжних з вершиною  $r$ , яка отримала постійну позначку на кроці 1, відповідно до формули  $L_{sj} = \min(L_{sj}, L_{sr} + L_{rj})$ . Перехід до кроку 1.

Трасування шляху  $\mu_{st}$  здійснюється у зворотному напрямку, прямуючи з вершини  $t$  до  $s$ , керуючись вершинами  $i$  в постійних позначках.

Проілюструємо роботу алгоритму Дейкстри на прикладі. Знайдемо найкоротший шлях з вершини  $s$  до вершину  $t$  у мережі (рис. 6.11). Ваги, проставлені біля ребер, визначають їх довжини.

*Крок 0.* Позначка  $P$  для вершини  $s$  має вигляд:  $P_s = (0,0)$ . Для інших вершин  $P_i = (\infty, s)$ . Усі позначки тимчасові.

*Крок 1.* Серед тимчасових позначок найменшу довжину має вершина  $s$ , так як  $L_{ss} = 0$ . Її позначка стає постійною (позначимо її подвійними дужками).

*Крок 2.* Перераховуємо тимчасові позначки для вершин, суміжних з вершиною  $s$ . Для вершини 1 параметр довжини

$$L_{s1} = L_{ss} + l_{s1} = 0 + 15 = 15.$$

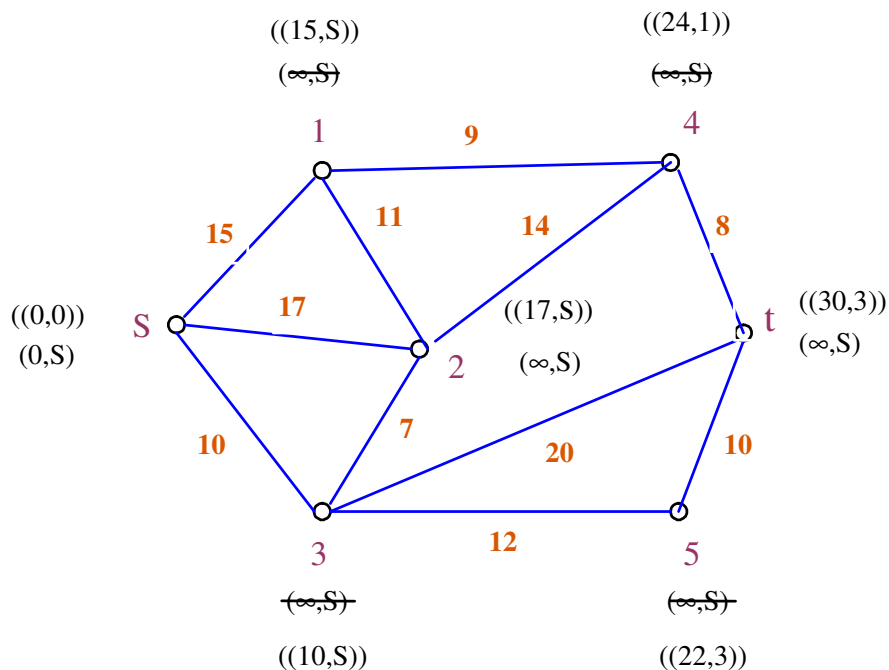


Рисунок 6.11 Ілюстрація роботи алгоритму Дейкстри

Отримане значення  $\epsilon$  меншим від наявного ( $L_{s_i} = \infty$ ), а тому нове значення тимчасової позначки буде  $P_1 = (15, s)$ .

Для вершини 2 нова позначка має значення  $P_2 = (17, s)$ . Для вершини 3 –  $P_3 = (10, s)$ .

Перейшовши до кроку 1, вибираємо вершину 3, тому що вона має найменший параметр довжини  $L_{s3} = 10$  серед усіх вершин з тимчасовими позначками. Її позначка стає постійною. Оскільки ще не всі вершини отримали постійні позначки, переходимо до кроку 2 і здійснюємо перерахунок позначок для вершин, суміжних з вершиною 3.

$P_2 = (17, s)$  можна залишити без змін, тому що новий параметр довжини дорівнює попереднім значенням.

$P_5 = (22, 3)$ .

$$P_t = (30, 3).$$

Вершина 1 на кроці 1 отримує *постійну* позначку, оскільки її параметр довжини є мінімальним.

Нове значення позначки на кроці 2 отримує вершина 4, а саме  $P_4 = (24, 1)$ .

Повертаючись до кроку 1, робимо *постійну* позначку на вершині 5. Змінити значення позначок на кроці 3 не вдається. Фіксуємо наступну вершину з *постійною* позначкою – це вершина 4.

Змінити *тимчасову* позначку для вершини  $t$  не вдається, і вона автоматично стає *постійною*.

На цьому робота алгоритму закінчується. Довжина визначеного шляху  $\mu_{st}$  дорівнює 30 (перший параметр *постійної* позначки для вершини  $t$ ). Трасування шляху визначаємо, рухаючись у зворотному напрямку від  $t$  до  $s$  через вершину, визначену як другий параметр *постійної* позначки. В даному випадку маємо:  $t \rightarrow 3 \rightarrow s$ .

### ***Визначення множини шляхів заданої транзитності***

Серед обмежень, які накладаються у процесі знаходження шляхів у зв'язувальних мережах, можна розглядати обмеження на їх транзитність.

Під **транзитністю шляху**  $\mu_{st}$  розуміють кількість проміжних пунктів, які входять до нього (без урахування початкового  $s$  і кінцевого  $t$  пунктів), або кількість ліній зв'язку, які з'єднують на шляху тільки транзитні пункти. Кількість проміжних пунктів називають **параметром транзитності**  $T$  на шляху  $\mu_{st}$ .

Обмеження за транзитністю на шляху надсилання повідомлення залежать від вимог до якості обслуговування у мережі (наприклад, до часу проходження повідомлення мережею, часу оброблювання повідомлення у вузлах та ін.).

Термінами теорії графів завдання формулюємо таким чином.

Дано деякий вихідний граф  $G(N, V)$ , у відповідність множині  $N$  потужністю  $n$  вершин якого поставлено пункти зв'язувальної мережі, а множині  $V$  – лінії зв'язку. Необхідно визначити множину шляхів  $M = \{ \mu_{si} \}$  із заданої вершини  $s$  до інших вершин  $i \in N, i \neq s, i = 1, \dots, n$ , графа  $G$ , для яких параметр транзитності  $T$  не перевищує певної заданої величини  $T_0$ , тобто

$$T \leq T_0, \forall \mu_{si}, i \neq s, i = 1 \dots n.$$

Одним з найбільш зручних і легких для реалізування на ЕОМ методів визначення шляхів, які відповідають цій вимозі, є побудова так званого «ярусного дерева» шляхів від заданої вершини  $s$  до інших вершин графа.

На рисунку 6.12 наведено вихідний граф та відповідне йому «ярусне дерево» з параметром  $T_0 = 2$ .

Алгоритм побудови «ярусного дерева» складається з таких кроків.

*Крок 0.* Утворити підмножини нульового ярусу, який міститиме єдиний елемент – вершину  $s$ . Використовуючи матрицю суміжності, виписати номери стовпців у рядку з номером  $s$ , елементи якого дорівнюють  $a_{sj} = 1$ . Таким чином, отримано підмножину вершин першого ярусу, утворену вершиною  $s$ .



*Крок 1.* Утворити підмножину вершин наступного ярусу.

Для цього:

а) по чергово вибирають вершини попереднього ярусу, для кожної з яких вибирають рядок з однойменною номером у матриці суміжності;

б) для кожного рядка виписують номери стовпців, визначені ненульовим елементами;

в) з кожної з утворених підмножин вилучають номери вершин (номери стовпчиків), відносно яких утворювалися підмножини вершин у попередніх ярусах. Усі невикреслені елементи (номери стовпчиків) утворюють підмножини наступного ярусу.

*Крок 2.* Якщо номер ярусу дорівнює  $(T_0 + 1)$  – кінець. Інакше – перейти до кроку 1.

Алгоритми знаходження екстремальних шляхів (найкоротших за довжині, за транзитністю) застосовують для визначення оптимальних маршрутів як у мережах із пакетною комутацією, так і в мережах із комутацією каналів. Результати їхньої роботи, зазвичай, зводять до побудови маршрутних матриць, які зберігаються в транзитних пунктах телекомунікаційних сегментів із комутованої топологією. Вони призначені для визначення вихідного порту під час комутації вхід – вихід, наприклад, у маршрутизаторах, комутаційних телефонних станціях.

Спеціальні технічні можливості комутаційного обладнання іноді дають змогу вибирати додаткові напрями (обхідні) у разі зайнятості напрямку першого вибору. Порядок вибору напрямків визначають маршрутною матрицею, кількість

рядків якої відповідає числу шляхів, нумерація рядків – призначеному порядку їх зайняття, а число стовпців – адресами пунктів призначення.

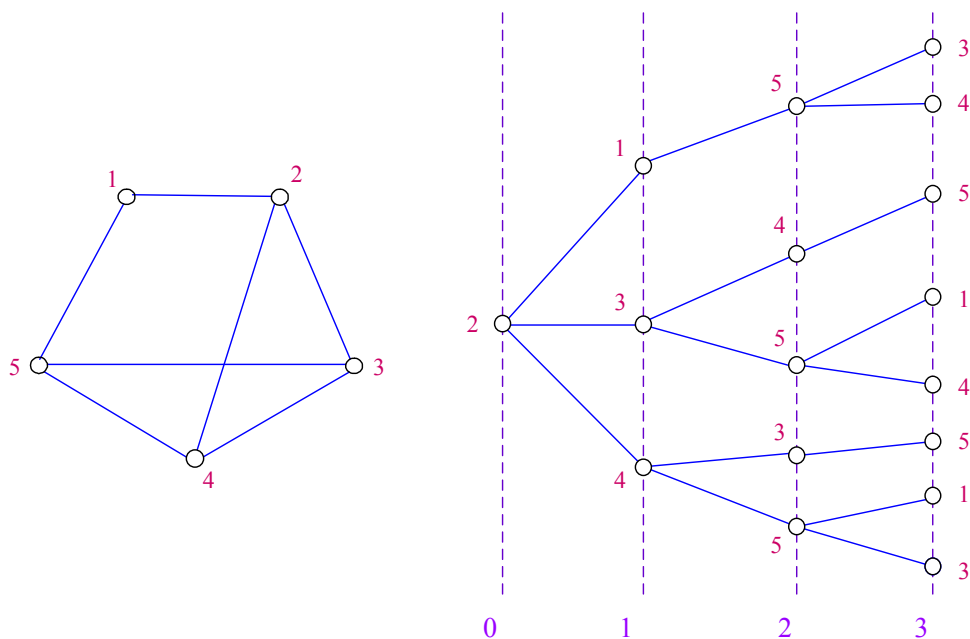


Рисунок 6.12. Ілюстрація роботи алгоритму побудови ярусного дерева

Елементом маршрутної матриці є номер порту вихідної лінії на шляху відповідного вибору з даного транзитного пункту до пункту призначення.

### 6.5. Задачі про потоки

У процесі будь-якого переміщення деяких об'єктів з одного пункту в інший виникають потоки і, якщо їх розглядати з урахуванням обмежень на переміщення, виникає потреба розв'язати задачу про знаходження максимальної величини потоку, який може існувати в умовах заданих обмежень.

Задачі про потоки в мережах (зважених графах) привертають особливу увагу завдяки специфіці своєї структури. Для подальшого роз'яснення необхідними є такі означення.

**Означення 1.** Число  $x_{ij}$  називають **поток** по дузі (ребру  $(i, j)$ ), якщо  $x_{ij} \leq b_{ij}$ , де  $b_{ij}$  – пропускна здатність цієї дуги (ребра).

**Означення 2.** **Потоком**  $P_{st}$  з деякої вершини  $s$ , яку називають **джерелом**, у деяку вершину  $t$ , яку називають **стоком**, у мережі є множина невід'ємних чисел  $x_{ij}$  – потоків по дугах (ребрах), якщо ці числа не суперечать таким обмеженням :

$$\sum x_{ij} - \sum x_{jr} = \begin{cases} -P_{st} & \text{якщо } j = s \text{ (джерело);} \\ 0, & \text{якщо } j \neq s, t; \\ P_{st} & \text{якщо } j = t \text{ (сток).} \end{cases} \quad (1)$$

$$P_{st} \geq 0; 0 \leq x_{ij} \leq b_{ij} \text{ для всіх } (i, j) \in V. \quad (2)$$

У даному випадку першу суму беруть по дугах, які ведуть до вершини  $j$ , а другу суму – по дугах із  $j$ .

Обмеження (1) вказує на те, що в кожному вершину (крім джерела та стоку) надходить стільки потоку, скільки з неї виходить, що називають **умовою збереження потоку**. Обмеження (2) означає, що потік по дузі обмежено її пропускною здатністю.

Серед задач про потік найважливішою є задача про знаходження максимальної величини  $P_{st}$  у зваженому графі, де обмеженнями ваг дуг (ребер) є їх пропускні здатності.

Отже, задано деяка мережа  $G$  (зважений граф), у якій потрібно передати потік з однієї вершини в іншу. Може виявитися, що дуги (ребра) мережі  $G$  ненадійні. Якщо “достатню” кількість дуг (ребер) буде пошкоджено, мережа не зможе передати потрібний потік. Ця ситуація є аналогічною до вилучення певного числа дуг (ребер), у якій граф стає розділеним на декілька окремих компонент.

Якісне сприйняття подальшого матеріалу потребує визначень наступних термінів.

**Означення 3.** *Перерізом мережі називають мінімальне число дуг (ребер), вилучення яких з мережі порушує її зв'язність.*

**Означення 4.** *Пропускною здатністю перерізу називають суму пропускних здатностей дуг, орієнтованих у напрямку від джерела до стоку, або ребер, які складають цей переріз.*

**Означення 5.** *Переріз, який розділяє  $s$  та  $t$  та має найменшу пропускну здатність, називають **мінімальним перерізом**.*

Мінімальний переріз, який розділяє джерело  $s$  та стік  $t$ , є аналогом «вузького місця» в мережі, а, отже, величина максимального потоку з  $s$  у  $t$  не може перевищувати його

пропускну здатність. Таким чином, величина максимального потоку характеризує пропускну здатність мережі між двома цими точками.

Існує теорема, доведена Фордом і Фалкерсоном, яка затверджує, що **величина максимального потоку завжди дорівнює мінімальній пропускній здатності перерізу, серед усіх які розділяють  $s$  та  $t$** . Теорема про максимальний потік і мінімальний переріз є основою в теорії потоків у мережах.

Отже, для оцінювання пропускної здатності зв'язної мережі достатнім є визначити величину максимального потоку з  $s$  у  $t$ , який вона може пропустити, причому обчислення його дугових компонентів, знаходження шляхів передавання може бути необов'язковим. Для цього, відповідно до теореми про максимальний потік і мінімальний переріз, достатнім є перебрати всі перерізи, які розділяють ці дві вершини, обчислити для кожного з них пропускну здатність і вибрати найменшу серед них.

Як бачимо, це завдання комбінаторної оптимізації. Основна складність у ньому полягає в знаходженні ефективного методу породження множини перерізів, які розділяють  $s$  і  $t$ .

Класичними методами визначення множини перерізів у мережі є методи, які застосовують операції булевої алгебри над елементами матриць. Слід зауважити, що реалізація таких алгоритмів є досить трудомісткою для обчислювання.

Наведемо метод, який дає змогу уникнути зазначеного недоліку.

Нехай задано неорієнтований зважений граф  $G(N, V)$ , де  $N$  – кількість вершин графа потужністю  $n$ , а  $V$  – кількість ребер, вагами яких є їх пропускні здатності  $b_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ).

Ребра, що складають переріз, котрий розділяє джерело  $s$  та стік  $t$ , будемо записувати за допомогою непересічних двох підмножин відповідно до початкових  $N_1$  та кінцевих  $N_2$  вершин, інцидентних цим ребрам.

Вершини підмножин  $N_1$  та  $N_2$  позначимо, наприклад,  $\mathbf{0}$  – для вершин, що входять у  $N_1$ , та  $\mathbf{1}$  – для вершин, що входять в  $N_2$ . Нехай джерело  $s$  належить  $N_1$ , а стік  $t$  належить  $N_2$ . Отже, вершина  $s$  буде позначена нулем, а  $t$  – одиницею.

Щоб знайти мінімальний переріз серед усіх можливих необхідно з'ясувати правило, яке породжає перерізи. Для цього запропоновано використовувати принцип подання чисел натурального ряду в двійковому вигляді. Розрядність двійкового числа в даному випадку визначається кількістю залишених непозначеними вершин і складатиме  $(n-2)$ . Отже, максимальна кількість двійкових чисел дорівнює  $2^{(n-2)}$ . Ця ж величина відповідатиме максимально можливій кількості перерізів, які розділяють  $s$  та  $t$ .

Різні комбінації нулів та одиниць у кожному двійковому числі можна використовувати для розподілу  $(n-2)$  вершин на підмножини  $N_1$  і  $N_2$  для чергового перерізу.

Для зручності перенумеруємо всі вершини вихідного графа, використовуючи числа натурального ряду від 1 до  $n$ , як показано на рисунку 6.13. Далі організуємо лічильник від 0 до  $2^{(n-2)}$ , який буде генерувати двійкові числа розрядністю  $(n-2)$ . Кожній позиції двійкового числа необхідно поставити у відповідність номер непозначеної вершини (порядок не має значення). Нагадаємо, що вершини  $s$  та  $t$  тут не беруть участі, тому що вони від початку вже отримали позначки та відповідно розподілені в підмножини:  $s \in N_1, t \in N_2$ .

Після отримання чергового двійкового числа необхідно сформуванати підмножини  $N_1$  і  $N_2$ , зафіксувати перелік інцидентних їм ребер та визначити пропускну здатність відповідного перерізу.

Слід зазначити, що запропонований спосіб отримання переліку ребер, які складають деякий переріз, утворює ребра, які можуть бути відсутніми в фізичному графі. Ці ребра можна або вилучати з розгляду, або враховувати з нульовою пропускну здатністю.

Мінімальне серед усіх  $2^{(n-2)}$  отриманих значень пропускну здатностей перерізів і буде відповіддю даної задачі – пропускну здатністю мережі з джерела  $s$  в стік  $t$ .

Формалізуємо зазначену процедуру покроковим алгоритмом.

*Крок 0.* Джерело (вершину  $s$ ) позначити як «0», а стік (вершину  $t$ ) – як «1». Покласти значення лічильника перерізів  $C$  рівним нулю. Сформуванати сітку двійкового числа розрядністю  $(n-2)$ , відповідно до кожній позиції якого поставити ідентифікатор (номер) однією з непозначених вершин.

*Крок 1.* Отримати двійкове подання числа  $C$  та сформуванати підмножини  $N_1$  та  $N_2$ , використовуючи значення позицій двійкового числа як позначки для сортування непозначених вершин. Скласти перелік ребер наступного перерізу й визначити його пропускну здатність  $B_i(N_1, N_2)$  як суму пропускну здатностей ребер  $b_{ij}$ , де  $i \in N_1$ ;  $j \in N_2$ .

*Крок 2.* Збільшити значення  $C$  на одиницю. Якщо  $C$  є більшим ніж  $2^{(n-2)}$ , перейти до кроку 3, інакше – до кроку 1.

Крок 3. Серед отриманих значень  $\{B_i(N_1, N_2)\}$  вибрати найменше.

Розглянемо приклад, що ілюструє роботу алгоритму.

Нехай потрібно оцінити пропускну здатність між джерелом  $s$  та стоком  $t$  у неорієнтованій мережі, модель і матрицю пропускових здатностей ребер якої наведено на рисунку 6.13.

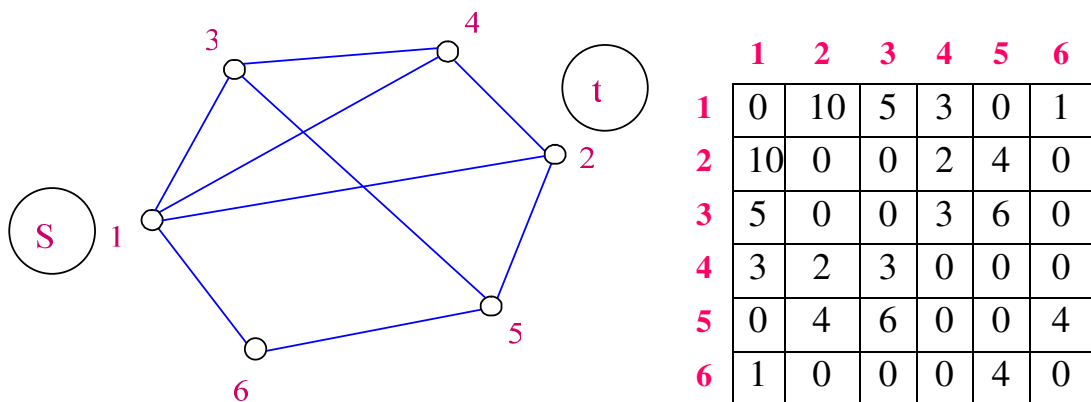


Рисунок 6.13

Нехай вершина 1 є джерелом  $s$  та позначена як «0», а вершина 2 – стоком  $t$  та позначена як «1».

Комбінації позначок інших вершин у вигляді двійкових чисел для всіх можливих перерізів і величини їх пропускових здатностей зведено в таблиці 6.1.



Таблиця 6.1

Значення <i>C</i>	Двійкові комбінації				$B_i(N_1N_2)$
	Номери непозначених вершин				
	3	4	5	6	
0	0	0	0	0	16
1	0	0	0	1	21
2	0	0	1	0	22
3	0	0	1	1	19
4	0	1	0	0	20
5	0	1	0	1	25
6	0	1	1	0	30
7	0	1	1	1	23
8	1	0	0	0	30
9	1	0	0	1	35
10	1	0	1	0	24
11	1	0	1	1	21
12	1	1	0	0	21
13	1	1	0	1	33
14	1	1	1	0	23
15	1	1	1	1	19

Так, наприклад, двійкове подання числа нуль дає змогу сформувати такі підмножини вершин:  $N_1 = (1, 3, 4, 5, 6)$ ;  $N_2 = (2)$ . Список ребер, які мають ненульову вагу, відповідного перерізу: (1,2), (4,2), (5,2). Сумарна пропускна здатність цих ребер дорівнює 16.

Наступному перерізу відповідають розбиття  $N_1 = (1, 3, 4, 5)$  та  $N_2 = (2, 6)$ , ребра з ненульовою вагами: (1,2), (1,6), (4,2), (5, 2), (5,6) (4,2), (5,2), (5,6) та пропускна здатність, яка дорівнює 21.

За даними таблиці 6.1, найменшу величину пропускної здатності має переріз під номером 0. Вона в даному випадку і визначає пропускну здатність між вершинами  $s$  та  $t$  у заданій мережі.

Для розв'язання задач про потоки мережі (зважені графи) можуть бути класифіковані відповідно до типу породжуваних потоків. Наведемо означення, необхідні для подальшого засвоєння інформації.

*Означення 6. Мережу, яка має одне джерело та один стік, називають **двополюсною**.*

*Означення 7. Мережу, в якій кожну пару вершин можна розглядати як джерело та як стік, називають **багатополюсною**.*

*Означення 8. Якщо в мережі є декілька джерел і кілька стоків, а потік може йти з будь-якого джерела в будь-який стік, то такий потік називають **однопродуктовим** (наприклад, мережі газопроводів, нафтопроводів, енергомережі та ін.).*

*Означення 9. Якщо в мережі з декількома джерелами та стоками потік повинен іти з деяких виділених джерел до деяких фіксованих стоків, то такий потік*

називають **багатопродуктовим** (наприклад, мережі інформаційного зв'язку, мережі перевезень поштових відправлень).

У задачах про багатопродуктові потоки, на відміну від однопродуктових, можна виявити ряд істотних відмінностей. Наприклад, відомо, що ребро  $(i, j)$  завжди можна замінити двома дугами з протилежно направленими стрілками,  $(i, j)$  та  $(j, i)$ . Якщо по цих дугах переміщуються рівні за величиною дугові потоки однопродуктового потоку, то можна стверджувати, що в ребрі  $(i, j)$  потік відсутній. Немає сенсу переміщати продукт з пункту  $i$  до пункту  $j$  у тому випадку, якщо той же самий продукт та з такою ж кількістю переміщується з пункту  $j$  в пункту  $i$ .

Знаходження максимального однопродуктового потоку в багатополісній мережі ґрунтується на методах вирішення так званих "транспортних задач".

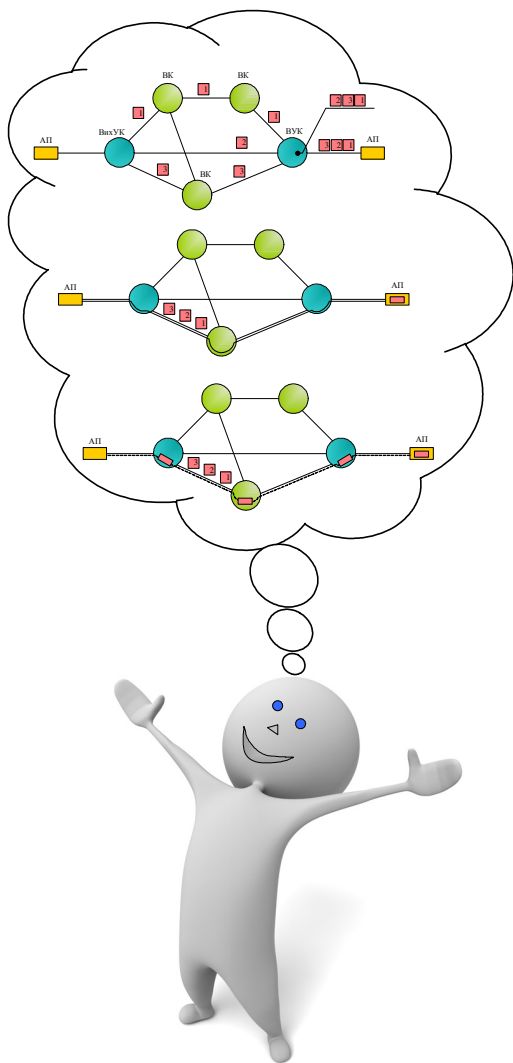
Інакше відбувається у багатопродуктових потоках. Два рівних за величиною різнопродуктових потоки, які переміщуються по одному ребру в протилежних напрямках не знищують один одного. Ця особливість є прикметною, зокрема, для потоків інформації в телекомунікаційних мережах. Саме це викликає значні труднощі у розв'язанні задач для мереж з багатопродуктовими потоками.

Визначення максимального багатопродуктового потоку в мережі точними методами поки не відбулося, а, отже, зводиться до побудови плану розподілення потоків за допомогою евристичних алгоритмів.

## Контрольні питання

1. Які задачі належать до класу задач синтезу, а які – до класу аналізу?
2. Перерахуйте форми модельного подання зв'язної мережі як об'єкта синтезу та аналізу. Охарактеризуйте кожну з них.
3. Що називають графом? Орієнтованим графом? Неорієнтованим графом? Який граф називають «мережею», «покривним деревом»?
4. Що таке відношення суміжності та інцидентності елементів графа?
5. Перерахуйте вимоги, яким повинні задовольняти рішення задачі синтезу мережі мінімальної вартості.
6. У чому полягає суть алгоритму Пріма, що забезпечує побудову мережі мінімальної вартості? Чи можна застосувати алгоритм Пріма для побудови мережі максимальної вартості? Якщо – так, то, яким чином?
7. Чи можна використовувати алгоритм Пріма для неповнозв'язної вихідної матриці відстаней? Що це означає?
8. Алгоритм Пріма є точним чи евристичним?
9. Яку вершину називають медіаною графа?
10. Сформулюйте алгоритм визначення медіани графа за матрицею відстаней між усіма парами вершин графа.
11. Яку вершину називають центром графа?
12. Сформулюйте алгоритм визначення центра графа.
13. Який контур називають гамільтоновим циклом?
14. Що є точним розв'язуванням «задачі комівояжера»?

15. Які евристики можна використовувати для розв'язування задачі про визначення транспортного кільця?
16. Назвіть переваги та недоліки точних та евристичних алгоритмів.
17. Що називають шляхом у мережі, довжиною шляху, транзитним шляхом, найкоротшим шляхом?
18. Наведіть практичні ситуації, в яких виникає необхідність застосовувати задачі про визначення найкоротшого шляху.
19. У чому полягає ідея алгоритму Дейкстри, пошуку найкоротших шляхів у зв'язній мережі?
20. Чи можна використовувати алгоритм Дейкстри для знаходження шляхів, найкоротших за транзитністю? Якщо – так, то, яким чином?
21. На чому засновано метод побудови «ярусного дерева»?
22. Що називають потоком із джерела в стік?
23. Дайте означення перерізу мережі.
24. Який переріз називається мінімальним?
25. Сформулюйте теорему про максимальний потік і мінімальний переріз.
26. Яку мережу називають двополюсною, багатополусною?
27. У чому полягає відмінність мереж з однопродуктовим потоком та багатопродуктовим?



# Частина II

## Принципи функціонування мереж

### Розділ 7. Базові

телекомунікаційні  
технології

### Розділ 8. Мережеві концепції.

Динаміка розвитку  
мереж

### Розділ 9. Транспортні мережі

### Розділ 10. Мережі доступу

### Розділ 11. Інтермережі

### Розділ 12. Мережі підприємств

## Розділ 7. Базові телекомунікаційні технології

### 7.1. Поняття технології в телекомунікаціях

Поняттям **«технологія»** (Technology) у сфері телекомунікацій позначають *спосіб реалізації режиму перенесення інформації в мережі, який забезпечує користувачів певним гарантованим рівнем якості обслуговування.*

Термін **«режим перенесення»** (Transfer Mode) узагальнено розуміють як *сукупність методів мультиплексування, передавання та комутації, за допомогою яких у телекомунікаційній мережі уможливорюється транспортування інформації з кінця в кінець, тобто від джерела до одержувача.*

Поява даного терміна зумовлена тим, що в цифрових телекомунікаційних мережах межі між технікою мультиплексування, передавання та комутації стають важче помітними.

Нагадаємо, що під терміном «метод передавання» (на відміну від «режим перенесення») розуміють спосіб організації взаємодії приймача й передавача в процесі обмінювання сигналами між двома суміжними вузлами мережі, безпосередньо з'єднаними лінією зв'язку (проводовою або безпроводовою). Ці методи ґрунтуються на теорії передавання сигналів і в даному розділі не розглядаються.

Фізичною основою будь-якої телекомунікаційної технології є лінії зв'язку та комунікаційне (мережеве) устаткування.

**Лінії зв'язку** – це узагальнене поняття, яке, залежно від застосування певної телекомунікаційної технології, можна конкретизувати таким чином:

- **ланка, лінк (Link)** – це фізичний сегмент, який забезпечує передавання сигналів між суміжними вузлами без використання проміжного комунікаційного обладнання мультиплексування й комутації;
- **канал (Channel)** – це частина пропускної здатності ланки, яка незалежно використовується під час комутації. Канали в ланці можуть бути утворені за допомогою демультіплексора або апаратури ущільнення (наприклад, ланка з 30 каналів, кожен з яких має пропускну здатність 64 Кбіт/с);
- **комутований канал (Circuit)** – це складений канал, який утворюється в сегменті з комутованою топологією з окремих проміжних ланок або каналів та комутаційного обладнання вузлів;
- **тракт передавання (Highway)** – це всі пристрої та споруди, які беруть участь в утворенні шляху проходження інформації з кінця в кінець. Тракт, як правило, утворюють засоби кросової комутації декількох каналів у транзитних вузлах мережі.

Лінії зв'язку є середовищем передавання сигналів, а, отже, безпосередньо підтримують технології фізичного рівня моделі OSI/ISO. Комунікаційне обладнання залежно від функціональності можна поділяти на обладнання фізичного, каналного та мережевого рівнів моделі OSI/ISO.



У цьому розділі розглядаємо фундаментальні принципи, покладені в основу розробки актуальних на сьогодні телекомунікаційних технологій. Конкретні технології та принципи роботи комунікаційного обладнання розглядатимемо в розділах, присвячених організації відповідних сегментів телекомунікаційних мереж.

Режим перенесення інформації в мережі можна організувати *синхронним* способом або *асинхронним*.

**Синхронний режим перенесення** (Synchronous Transfer Mode) ґрунтується на принципі синхронного часового мультиплексування та часового розділення каналів у процесі передавання інформації від одного вузла комутації до іншого. При цьому всі ланки тракту передавання інформації з кінця в кінець працюють синхронно. Таку синхронізацію забезпечують спеціальні синхронні технології, основані на використанні генераторів тактових сигналів, які працюють від єдиного еталонного джерела в мережі.

Для **асинхронного режиму перенесення** (Asynchronous Transfer Mode) достатньо забезпечити синхронне передавання інформації лише між суміжними об'єктами (передавачем і приймачем вузлів, безпосередньо з'єднаних лінією зв'язку). У транзитному вузлі інформаційні блоки зберігаються деякий час у пристрої запам'ятовування, а потім передаються в наступний вузол мережі. При цьому швидкості у вхідному та вихідному каналах вузла можуть відрізнятись. Таким чином, при асинхронному режимі інформація переміщується мережею естафетним способом.

Відповідно до цього телекомунікаційні технології можна класифікувати як *технології синхронного* та *асинхронного*

режимів перенесення. Технологічний рівень розвитку мережі того чи іншого режиму перенесення залежить від двох факторів: рівня розвитку науково-технічного прогресу та потреб людства в послугах зв'язку певного типу та відповідної якості.

Телекомунікаційна технологія є одним з основних факторів, який характеризує телекомунікаційну мережу з точки зору можливостей з транспортування інформації.

## **7.2. Технології синхронного режиму перенесення**

### ***Синхронне часове мультиплексування***

Режим комутації часових каналів, який ґрунтується на принципі синхронного часового мультиплексування під час передавання інформації від одного вузла комутації до іншого, є відомим як **синхронний режим перенесення STM** (Synchronous Transfer Mode).

Під **мультиплексуванням** у цифрових мережах розуміють поєднання  $n$  низькошвидкісних цифрових потоків у один високошвидкісний потік. Мультиплексування застосовують з метою більш ефективного використання пропускної здатності лінії зв'язку, що зумовило вжиток у термінології зв'язківців також понять «ущільнення», «розподілення» лінії зв'язку.

Вихідні цифрові потоки, які формуються в результаті роботи різних мережевих застосовань (від різних служб), можуть істотно відрізнитися за своєю природою. Це й передавання постійного бітового потоку, передавання файлів

даних, мовленнєвих і відеосигналів в цифровій формі. Таким чином, мультиплексування забезпечує ще й *адаптацію середовища передавання лінії зв'язку* до великої кількості різнорідних мережевих додатків.

Цифровий потік кожного застосування є сигналом, що відповідає критеріям та показникам певного інформаційного повідомлення, яке необхідно передати. Часове синхронне мультиплексування полягає в тому, що вся смуга середовища поширення сигналів в лінії зв'язку на короткий проміжок часу, тривалістю  $\tau$ , по чергово надається сигналам  $n$  застосувань. Зазначений проміжок часу називають «**тайм-слотом**», інтервал  $T_u = nr$ , який відповідає  $n$  тайм-слотам, називають **циклом передавання**. Характерною особливістю **синхронного часового мультиплексування** є те, що в мультиплексному сигналі кожному початковому сигналу відповідає тайм-слот із чітко фіксованим порядковим номером у межах циклу передавання  $T_u$ . Слід зазначити, що завдяки мультиплексуванню для сигналу мультимедійного застосування (голос + відео + дані) надають відразу декілька тайм-слотів.

Пристрій, який приймає декілька потоків від різних застосувань (голос, відео, дані) й передає їх у лінію у вигляді мультиплексного сигналу, називають **мультиплексором (MUX)**, а пристрій, який виконує зворотну функцію на іншому кінці лінії, – **демультиплексором (DEMUX)**. MUX і DEMUX повинні працювати синхронно й синфазно, так як тайм-слоти відносно  $T_u$  на вході й на виході лінії зв'язку повинні збігатися. З цією метою використовують пристрої з високим стандартом частоти, які називають **таймерами**. Зазвичай, у системах

двобічного (дуплексного) зв'язку функції мультиплексування й демультиплексування поєднують у одному пристрої, який також називають мультиплексором.

Сучасні мультиплексори розподілення часу є каналоутворювальним обладнанням. Їх основна відмінність від традиційних систем ущільнення з імпульсно-кодовою модуляцією полягає в тому, що:

- мультиплексори дають змогу передавати в лінію цифрові потоки різних швидкостей (від різних джерел), тому вони ще називаються гнучкими мультиплексорами;
- мультиплексори, які мають властивість «долучення/виокремлення» (drop & insert), дозволяють відокремити від загального потоку частину сигналів або додавати сигнали до спільного лінійного потоку. Це дає змогу будувати мережі складної топології.

### ***Мультиплексування мовленнєвих сигналів***

Мовленнєвий сигнал за своєю природою є аналоговим, і для передавання в інформаційній мережі його перетворюють у цифровий. Відомо, що основну смугу частот мовленнєвого сигналу оптимізовано за індексом артикуляції (прийнятному – 0,7), що відповідає рівню чіткості слів 85-90% і складає 3100 Гц. Цю смугу розміщено в діапазоні 0,3 – 3,4 кГц, що відповідає стандартизованій смузі каналу тональної частоти (ТЧ). Зважаючи на те, що зазначену смугу необхідно

фільтрувати реальним аналоговим смуговим фільтром, який має кінцеву крутизну спаду частотної характеристики в перехідній смузі, запропоновано використовувати смугу 4 кГц як розрахункову ширину смуги стандартного каналу тональної частоти, що забезпечує захисну смугу між двома сусідніми каналами 900 Гц.

Перетворення мовленнєвого сигналу в цифрову форму здійснюється на основі імпульсно-кодової модуляції (ІКМ) (рис. 7.1).

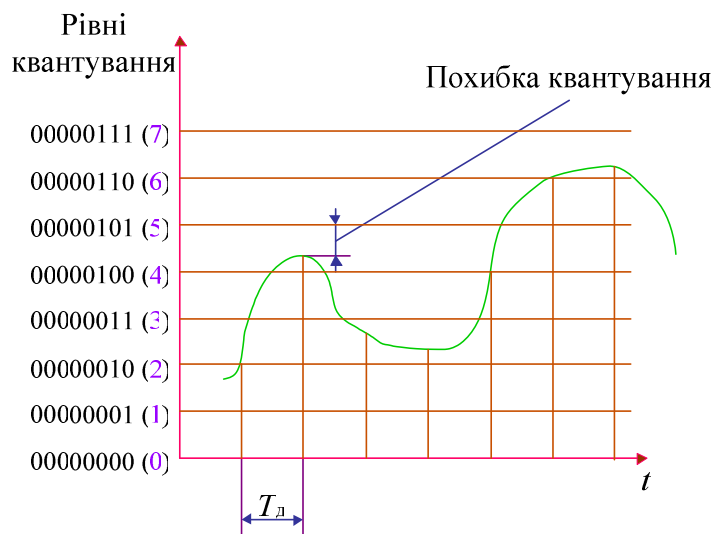


Рисунок 7.1. Перетворення безперервного сигналу в ІКМ- сигнал

Схема цього перетворення складається з таких етапів:

### 1. Дискретизування аналогового сигналу.

Відповідно до теореми Котельникова частота дискретизування аналогового сигналу, яка забезпечує його відновлення без спотворення, дорівнює подвоєнню максимальної частоти спектру сигналу. З урахуванням

верхньої межі діапазону мовленнєвого сигналу, частота дискретизації  $F_d = 2 \times 4 \text{ кГц} = 8 \text{ кГц}$ , що відповідає періоду дискретизування  $T_d = 1/8 = 125 \text{ мкс}$ .

2. **Квантування** амплітуд дискретних відліків сигналу за рівнем, тобто поділ миттєвої амплітуди на певне число рівнів (рівнів квантування). Для якісного передавання мовлення приймають 256 рівнів квантування. Величиною амплітуди дискретного відліку мовленнєвого сигналу вибирають найближчий до її значення рівень квантування. Різницю між значеннями амплітуди сигналу й найближчим рівнем квантування визначає похибка перетворення мовленнєвого сигналу в цифрову форму, яка називають *помилкою квантування*  $\Delta$ .

3. **Кодування** квантованих амплітуд дискретних відліків мовленнєвого сигналу. Якщо номери рівнів квантування подати в двійковому коді, то процес кодування зводиться до вибору номера найближчого до значення дискретної амплітуди сигналу рівня квантування. Номер рівня квантування в двійковому коді передається в лінію. Кількість позицій двійкового коду цифрового номера рівня квантування дорівнює 8 (один байт), що дає змогу закодувати номер найвищого рівня квантування  $255 \rightarrow 11111111$ .

Кодову комбінацію, яка відповідає одному дискретного відліку амплітуди мовленнєвого сигналу, називають **вбіркою**.

Зважаючи на те, що вбірки мовленнєвого сигналу надходять у лінію з частотою 8 кГц, послідовно одна за одною, отримуємо цифровий потік зі швидкістю  $C = 8 \text{ біт} \times 8 \text{ кГц} = 64 \text{ кбіт/с}$ .

Швидкість 64 кбіт/с визначено Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU-T) швидкістю основного цифрового каналу, який ще називають потоком нульового рівня DSO (Digital Service/Signal of Level 0).

Імпульсно-кодова модуляція є основою для побудови цифрових систем передавання (ЦСП). Існує декілька реалізацій цифрових систем, визнаних стандартними:

- ІКМ-30/32 (СНД) – 30-канальна;
- СЕРТ (Європа) – 30-канальна;
- Bell D1 (США) – 24-канальна;
- D2 (Bell, США) – 24-канальна;
- U.K. (Англія) – 24- канальна.

Принцип побудови ЦСП зображено на рисунку 7.2.

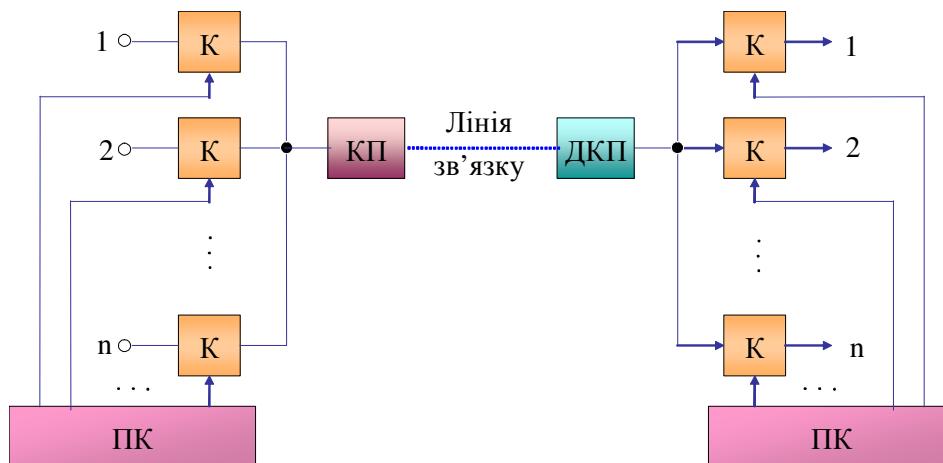


Рисунок 7.2. Структурна схема ЦСП:

К – електронні ключі, які забезпечують дискретизацію безперервних інформаційних сигналів; ПК – пристрої керування станом (замкненого, розімкнутого) ключів; КП – кодувальний пристрій, в якому груповий сигнал підлягає квантуванню й кодуванню; ДКП – декодер, який зворотно перетворює ІКМ-сигнал у груповий амплітудно-імпульсний сигнал

Функціонування такої системи пов'язано з розмежуванням часу передавання на повторювані цикли тривалістю  $T_d$ . Кожний цикл, у свою чергу, розбивають на тайм-слоти, число яких дорівнює кількості організованих у лінії каналів.

Розглянемо структуру (формат) багатоканального сигналу на виході 30-канального ЦСП.

Апаратура ІКМ–30/32 утворює в лінії 32 цифрові канали, з яких 30 призначено для передавання інформаційних сигналів, один – для синхронізації, один – для сигналізації (передавання службових сигналів перед сеансом зв'язку).

Час циклу  $T_u$  у ІКМ-30/32 відповідає період дискретизації  $T_d = 125$  мкс. Для того, щоб упродовж цього часу передати 32 цифрові потоки зі швидкостями 64 кбіт/с кожен, у лінії зв'язку необхідно забезпечити швидкість  $C_d = 64$  кбіт/с  $\times$   $\times 32 = 2048$  кбіт/с. Загальна тривалість тайм-слоту при цьому  $\tau = 125$  мкс/32 = 3,90625 мкс. Упродовж цього часу послідовно в кожному з 32-х тимчасових каналів передається 1 байт. Протягом циклу  $T_u$  передається відповідно: 8 біт  $\times 32 = 256$  байт. Формат сигналу в 256 байт показано на рисунку 7.3. Його називають **кадром, або фреймом**.

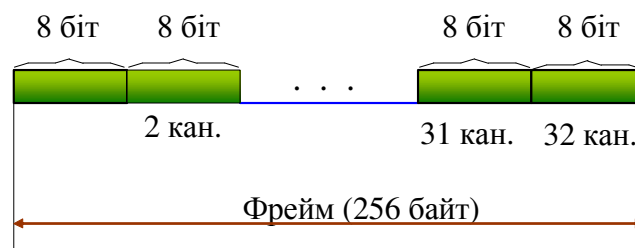


Рисунок 7.3. Формат лінійного сигналу ІКМ-30/32



Кількість біт, яка відповідає конкретному часовому каналу (тайм-слоту) в загальному форматі фрейму, називають **полем**, або **ніблом** (nibble). Положення кожного поля чітко фіксується в структурі фрейму. Це уможливлено застосуванням у ЦСП синхронізації. Синхронізація здійснюється передаванням спеціального синхросигналу (наприклад, 11111111) каналом синхронізації (наприклад, 31-им). Сигнал синхронізації в даному випадку передається зовнішнім (відносно до інформаційного) каналом, а тому вважають, що виконується ідеальне мультиплексування.

### ***Мультиплексування потоків даних***

Під час часового мультиплексування потоків даних на входи мультиплексора подаються  $n$  двійкових потоків даних, походження яких не пов'язано з формуванням вибірок для відліків амплітуд безперервних сигналів. Тому з вхідних каналів можна вибрати будь-яку логічно осмислену послідовність біт як вибірку сигналів при формуванні фрейму. Такий процес формування вибірок називають **інтерлівінгом** (interleaving).

Розрізняють такі види інтерлівінгу:

- **біт-інтерлівінг** (чергування бітів по одному з кожного каналу);
- **байт-інтерлівінг** (чергування байтів по одному з кожного каналу);
- **символьний інтерлівінг** (чергування декількох бітів, необхідних для кодування одного символу)

переданого тексту, з кожного каналу. Так, наприклад, під час передавання файлу з комп'ютерним алфавітом ASCII міжнародної версії, довжина поля коду одного символу становить 8 біт, а американської версії – 7 біт);

- **блок-інтерлівінг** (чергування блоків по кілька байт із кожного каналу).

Сигнали синхронізації та сигналізації у процесі формуванні фрейму можуть передаватися як окремими виділеними часовими каналами (ідеальне мультиплексування), так і інформаційними каналами.

Узагальнено в мультиплексуванні потоків даних розрізняють такі види синхронізації:

- за окремими полями (часовими каналами);
- за фреймом у цілому;
- за кожним бітом у межах кожного поля.

Для синхронізації в структуру фрейму після будь-якої з перерахованих груп додають по одному або кілька бітів. Можна сформувати й більш складну повторювану структуру, складену з  $m$ -фреймів і  $k$  полів синхронізації, так званий **мультифрейм**.

Без урахування синхронізації мультиплексор створює регулярний потік фреймів. Синхронізація цю регулярність порушує.

Сигналізація також може бути виконана в окремому каналі або розміщенням бітів сигналізації в полях вибірок зі зменшенням при цьому розрядної сітки поля, наприклад, на 1 біт.

Навіть зважаючи на все можливе розмаїття, структура фрейму (його формат) для конкретної системи передавання є фіксованою.

За аналогією до тривалості циклу передавання  $T_{\text{ц}}$  у ідеальному мультиплексуванні, у даному випадку можна говорити за *період повторення фрейму* - часу, що витрачається на один повний цикл, та доданому часу передавання долучених бітових груп синхронізації та сигналізації.

### ***Комутація каналів***

Надання зв'язку абонентам-кореспондентами на основі методу комутації каналів (Switching Circuits, SC) складається з трьох фаз.

**1. Налаштування дуплексного каналу.** Для цього в мережу передається службова інформація, яка містить закодовані адреси абонента. На основі цієї інформації встановлюється маршрут передавання інформаційного повідомлення, який з'єднує опорні вузли через ланцюг проміжних вузлів комутації. Службова інформація формується самим абонентом (набором номера абонента) або його терміналом і передається каналами сигналізації або інформаційними каналами.

**2. Здійснення сеансу зв'язку.** Після налаштування каналу абоненти можуть починати процес обміну інформаційними повідомленнями. При цьому ресурси мережі, які забезпечують даний сеанс зв'язку, повністю закріплені за налаштованим каналом зв'язку і, в разі пауз у процесі

передавання інформації, не можуть бути надані для організації інших з'єднань.

**3. Від'єднання каналу.** Після відповідної команди про припинення сеансу зв'язку від однієї з опорних станцій каналом сигналізації проходить сигнал роз'єднання, в результаті чого зайняті ресурси вивільнюються в мережу.

Для налаштування каналу комутаційна система повинна забезпечити взаємні з'єднання будь-яких каналів. Для комутації кожного вхідного часового каналу з кожним вихідним необхідно мати можливість перестановки вибірки, яка визначає амплітуду мовленнєвого сигналу (байти інформації) з одного часового інтервалу в будь-який інший.

У даний час використовують два принципи побудови комутаційних блоків (КБ): *просторовий* та *часовий*.

**Просторовий принцип побудови КБ.** З'єднання здійснюється в одній і тій же часовій позиції каналів вхідної ущільненої лінії (ВхУЛ) з каналами вихідної ущільненої лінії (ВихУЛ).

У цьому випадку 8-розрядна вибірка надходить з каналу і ВхУЛ в канал і ВихУЛ. Структурну схему просторового однокаскадного КБ зображено на рисунку 7.4.

У певні моменти часу з пристрою керування (ПК) подаються сигнали для замикання відповідних точок комутації. Ці точки можуть бути реалізовані на електронних елементах (електронних ключах).

Очевидно, що за такої побудови КБ комутуються цифрові канали ВхУЛ з цифровими каналами ВихУЛ тільки в одній і тій же часовій позиції (в однойменних тайм-слотах), тобто в процесі комутації немає можливості змінити часову

позицію. Здійснити таку можливість дає змогу *часовий* принцип побудови КБ.

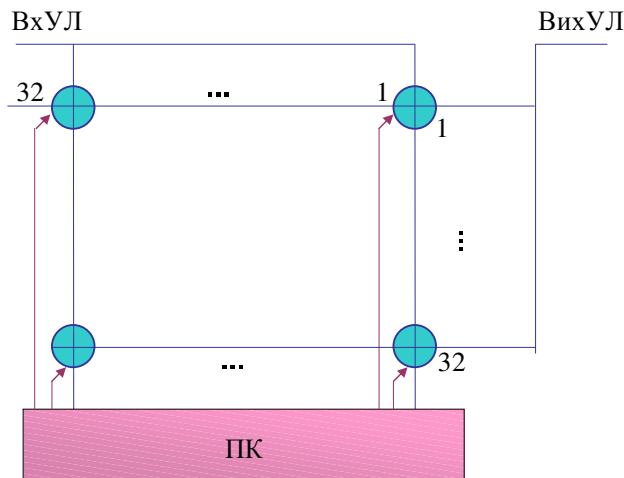


Рисунок 7.4. Просторовий однокаскадний КБ

**Часовий принцип побудови КБ** засновано на налаштуванні зв'язку входу з виходом через буферний запам'ятовувальний пристрій (БЗП) (рис. 7.5).

Канальні вибірки, які послідовно надходять з ВхУЛ в результаті демультимплексування, через допоміжну комірку ДК1, куди накопичується 8-розрядна кодова комбінація при побітовому її надходженні, розміщуються в БЗП у комірку з адресою, яка відповідає номеру часового каналу. Протягом часу одного тайм-слоту проводиться один запис у БЗП каналної вибірки, яка надходить із ВхУЛ, і одне зчитування каналної вибірки з БЗП, яке направляється в ВихУЛ. У зв'язку з цим каналний інтервал (тайм-слот) розділяється на дві фази. У першій здійснюється запис, у другій – читання.

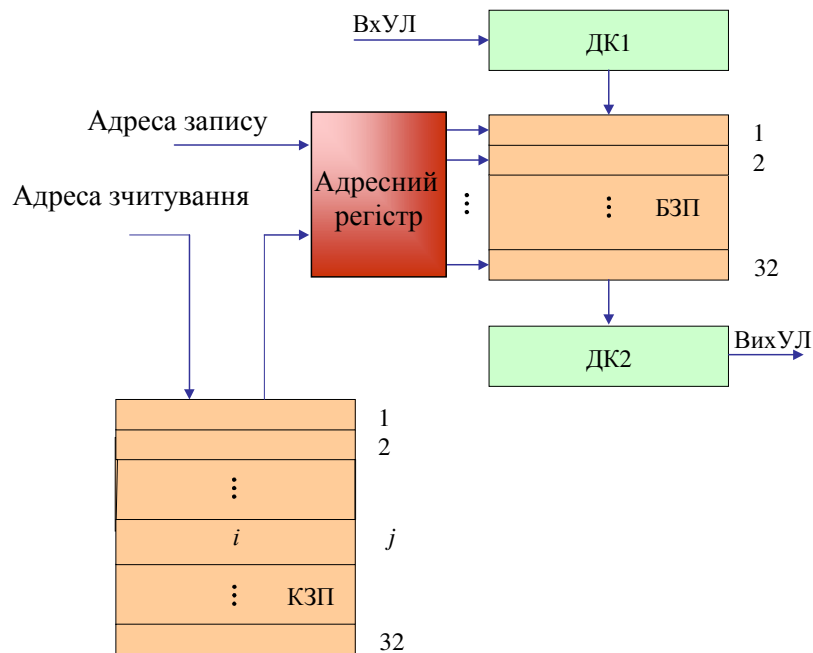


Рисунок 7.5. Комутаційний блок з тимчасовою комутацією

Зчитування вибірок здійснюється за допомогою керувального запам'ятовувального пристрою (КЗП). У ньому на етапі налаштування зв'язку за допомогою службових сигналів записується інформація в номерах вихідних часових каналів, з якими повинні бути скомутовані послідовно вхідні часові канали. Так, якщо вхідний канал  $i$  комутується з вихідним каналом  $j$ , то в  $j$ -у комірці КЗП записується число  $i$ . У другій фазі тайм-слоту з номером  $j$  подається сигнал «адреси зчитування» і з комірки  $j$  КЗП вибирається число  $i$ . Воно розміщується в адресний реєстр, у результаті чого вміст комірки з номером  $i$  з БЗП зчитується у допоміжну комірку ДК2. З ДК2 кодова комбінація побітово передається в канал ВихУЛ.

У висновку узагальнимо основне.

*Перевагами* методу комутації каналів є можливість організації сеансу зв'язку в режимі діалогу й відсутність затримань у передаванні, що є пріоритетами застосування цього методу для мовленнєвих повідомлень.

*Недоліками* методу комутації каналів є неефективне використання ресурсів мережі (простої ресурсу в паузах, наявних під час розмови абонентів) і необхідність повторних викликів у разі відмови під час налаштування з'єднання. Збій у процесі з'єднання виникає не тільки через зайнятість абонента, але й у випадку зайнятості однієї з проміжних ділянок з'єднувального тракту іншим з'єднувальним трактом. Повторні виклики, у свою чергу, створюють додаткове, небажане навантаження на мережу.

### ***Технологія ISDN***

Традиційна комутація каналів з часовим розподіленням є дуже негнучкою процедурою, так як тривалість тайм-слоту однозначно визначає швидкість передавання в каналі зв'язку. У технології ISDN зроблено першу реальну спробу безпосередньо надати послуги передавання не тільки голосової, а й відеоінформації та даних кінцевим користувачам у єдиній цифровій мережі.

Цифрова мережа інтегрального обслуговування ISDN (Integrated Services Digital Network) є інтегрованою системою зв'язку з різноманітним комплексом послуг. Вимоги різних служб до швидкості передавання можуть бути різними – від дуже низьких (1 кбіт/с – для телеметрії) до надвисоких

(140 Мбіт/с – TV високої чіткості). Для задоволення цих вимог було розроблено варіант поєднання комутації каналів з мультиплексуванням, який забезпечує широкий діапазон швидкостей передавання даних.

У системі передавання з високошвидкісною комутацією каналів використовується той самий метод часового мультиплексування, що й у системі зі звичайною комутацією каналів. Проте в одному з'єднанні (широкосмуговому каналі) може використовуватися  $n$  ( $n > 1$ ) цифрових каналів DS0 (64 кбіт/с). Таким чином, кожне під'єднання може бути кратним швидкості 64 кбіт/с.

Системи комутації, які забезпечують багатошвидкісну комутацію каналів, є більш складними в порівнянні з системами зі звичайною комутацією цифрових каналів, так як всі канали окремих з'єднувальних ланок є синхронними.

Важливою проблемою для систем з багатошвидкісною комутацією каналів є вибір базової швидкості передавання. ІТУ-Т визначив основними два інтерфейси доступу до ISDN:

- базовий доступ (Basic Rate Access) 144 кбіт/с, який забезпечує два мовленнєвих канали типу В зі швидкістю 64 кбіт/с і один сигнальний канал типу D зі швидкістю передавання 16 кбіт/с ( $2B + D$ );
- первинний доступ PRA (Primary Rate Access), який дає змогу працювати з каналами T1 (1,5 Мбіт/с) і E1 (2 Мбіт/с), які розділено на 23 і 30 каналів типу В відповідно, і, крім цього, мають один сигнальний D канал зі швидкістю 64 кбіт/с ( $23B + D$  або  $30B + D$ ).



Виділена лінія може використовувати як окремий канал В, так і їх комбінацію для досягнення збільшення швидкості. Як налаштування, так і роз'єднання зв'язку між абонентами здійснюються через сигнальний канал і відбуваються майже миттєво.

Обрана швидкість каналу має дорівнювати або перевищувати пікову швидкість передавання джерела під час усього сеансу зв'язку, хоча середня швидкість передавання може бути дуже низькою. Це принципово важливо для передавання мовлення, а особливо – відео. Зміна швидкості передавання у даному випадку характеризується «**вибуховим**» (пачковим) режимом роботи джерела, на відміну від рівномірного, так званого *ізохронного* потоку. Наприклад, коли майже застигла відеокартинка раптом змінюється новим кадром. Аналогічне можна спостерігатися у процесі передавання мовлення.

Таким чином, «вибуховий» трафік не забезпечує ефективне використання пропускної здатності каналу навіть у процесі багатошвидкісної комутації каналів.

Цифрові мережі ISDN виникли як альтернатива традиційним аналоговим мережам із застосуванням модемів, виокремлених (виділених) ліній, іншим службам глобальних мереж. Маючи значно більшу гнучкість у порівнянні з простою комутацією каналів, технології ISDN все ж зберігають фундаментальне обмеження: хоча користувач має можливість вибору швидкості передавання, сам набір швидкостей залишається цілком визначеним (фіксованим).

Системи комутації, розроблені для багатошвидкісної комутації каналів, складаються з набору окремих комутаторів,

кожен із яких здійснює комутацію каналів з певною швидкістю. Інформація з абонентської лінії до надходження на різні комутатори демультимплексується, а інформація від комутатора до абонентського лінії, навпаки, мультимплексується.

Незважаючи на всі переваги технології ISDN, мережеві ресурси продовжують використовуватися неефективно. Так, наприклад, якщо всі низькошвидкісні комутатори зайнято, то додаткове низькошвидкісне під'єднання не відбудеться, незважаючи на те, що високошвидкісні комутатори у цей час є вільними.

### **7.3. Технології асинхронного режиму перенесення**

#### ***Принцип комутації пакетів***

Телекомунікаційні мережі з комутацією каналів було розроблено й оптимізовано для досягнення найвищої якості передавання мовленнєвих повідомлень. Навіть те, що дуплексний канал при цьому використовується тільки на 50%, вважається цілком допустимим. Низька ефективність використання каналів у мережі з комутацією каналів пояснюється тим, що після налаштування з'єднання між кінцевими пристроями ресурс (пропускна здатність) *скомутованого каналу та його складових частин на час сеансу зв'язку є недоступним для інших застосовань*, навіть у тому випадку, коли дані тимчасово не передаються. Використовуючи такі телекомунікаційні мережі для передавання даних між комп'ютерами, виявлено, принаймні, два недоліки:

- з'єднання типу *термінал-хост* (наприклад, у процесі взаємодії ПК користувача з мережевим комп'ютером) звільняє канал на значний час, але телекомунікаційна мережа не може використовувати його в цей час для іншого застосування;
- мережа з комутацією каналів забезпечує передавання даних з постійною швидкістю. Це означає, що будь-якій парі термінал-хост надано однакову фіксовану швидкість, що обмежує можливості мережі для під'єднання хостів і терміналів різної продуктивності.

Упровадження телекомунікаційної мережі з асинхронним режимом перенесення може усунути ці недоліки шляхом використання так званого «*естафетного*» способу передавання повідомлень (або його частин) від вузла до вузла за маршрутом перенесення інформації в мережі. При цьому не потрібно жорсткого закріплення ресурсів ліній зв'язку, через які проходить маршрут.

Як уже розглядалося в розділі 4, комп'ютерні повідомлення (дані), згідно зі стеком протоколів моделі OSI/ISO, розподіляються на невеликі блоки, які, досягаючи мережевого рівня, перетворюються на **пакети**, отримуючи заголовок  $Z_p$ , який містить адреси джерела й споживача інформації, номер блоку в повідомленні та вказівку на його приналежність до даних повідомлень (рис. 7.6).

Перед відправленням у лінію пакет оформлюється у вигляді **фрейму**. Фрейм – це сегмент повідомлення із заголовками канального рівня. Таке формування прийнято ще називати **кадром**. Заголовок кадру  $Z_\phi$ , містить інформацію, яка

використовується для ідентифікації адреси порту призначення кадру (фрейму).

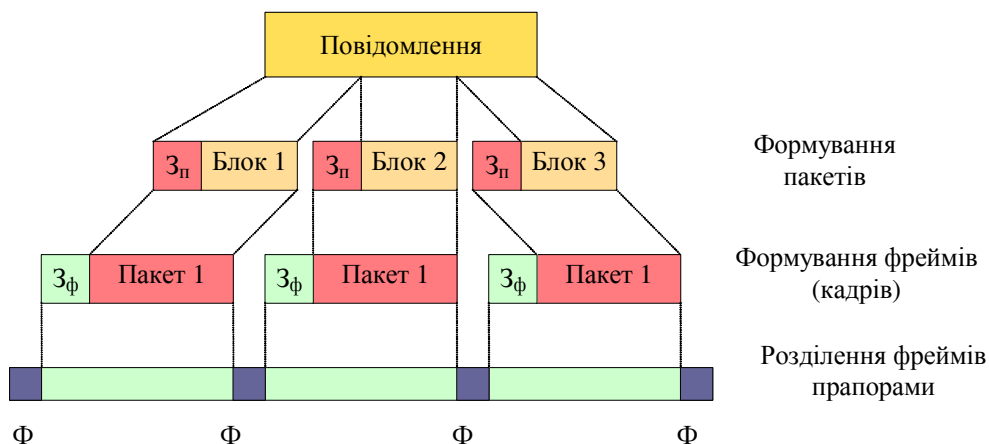


Рисунок 7.6. Передавання повідомлення пакетами

Для того, щоб на приймальному кінці лінії зв'язку відокремити один фрейм від іншого у процесі побітового передавання їх каналом, між фреймами вставляються розділові прапори. Прапор (Ф) – це поле, яке містить 8 біт, наприклад, 01111110. На приймальному вузлі прийнята послідовність бітів групується у фреймі, прапори видаляються, а з фрейму витягується пакет. Він розміщується в запам'ятовувальній пристрій (ЗП) вузла та обробляється: перевіряється на відсутність помилок та перекручень. У разі виявлення помилок і неможливості їх виправити, приймальний вузол повторює передавання фрейму.

Вилучений з ЗП пакет відповідно до таблиці адрес, збереженої на вузлі комутації, прямує у вихідну лінію та оформлюється в новий фрейм. Таким естафетним способом

сегмент інформаційного повідомлення передається мережею до вузла призначення (вхідного вузла).

На вхідному вузлі пакети накопичуються, з них витягуються сегменти, з яких далі збираються повідомлення. Таким чином, функція розбиття повідомлення на сегменти здійснюється на вихідному вузлі, а збирання – на вхідному.

Незважаючи на те, що лініями зв'язку пакети передаються у вигляді фреймів (кадрів), у проміжних вузлах відбувається комутація *саме пакетів*. Тому такий метод комутації у вузлах мережі отримав назву «**комутація пакетів**» (Packet Switching, **PS**), а мережі, відповідно, – з комутацією пакетів.

Комутація пакетів (КП) має кілька переваг над комутацією каналів (КК):

- ефективність використання ліній при КП є набагато вищою, оскільки ресурси ліній та вузлів мережі можуть динамічно розподілятися між багатьма пакетами від різних застосовань;
- у мережі з комутацією пакетів може здійснюватися перетворення швидкості передавання даних. Це дає змогу обмінюватися повідомленнями абонентських пунктів, під'єднаних до мережі каналами різної пропускної здатності (смуги пропускання);
- користувачам гарантовано під'єднання навіть, якщо мережу перевантажено. При цьому лише можуть виникнути затримки з доставкою пакетів або зменшення швидкості передавання;

- у мережах з КП можна використовувати систему пріоритетів. Пакети з високим пріоритетом доставлятимуться з меншими затримками.

### *Способи передавання пакетів у телекомунікаційній мережі*

Передавання пакетів між вузлами телекомунікаційної мережі можна реалізувати по-різному, а саме:

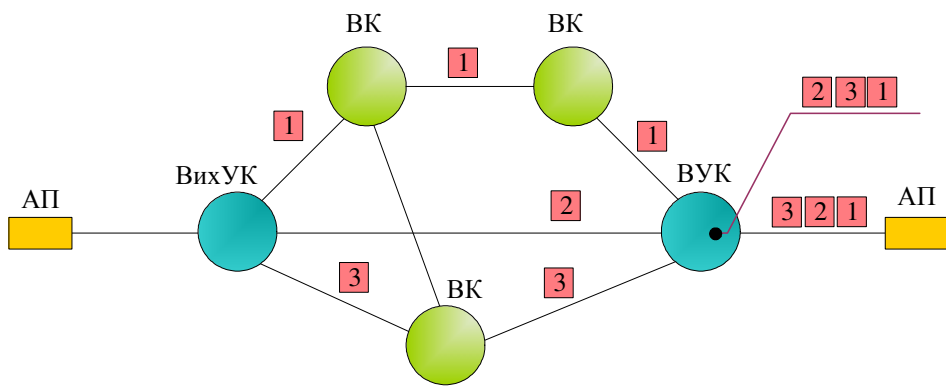
- за допомогою датаграм;
- з використанням віртуального виклику;
- з використанням віртуального каналу;
- з використанням віртуального з'єднання.

**Датаграмний спосіб** полягає у тому, що кожен пакет рухається мережею самостійно, без урахування того, як просуваються пакети, які йдуть до або після нього. Кожен вузол комутації (ВК), на основі адресної інформації полів заголовка пакета й власних відомостей про наявність незайнятих вихідних каналів, до сусідніх ВК вибирає наступний ВК, на який спрямовується пакет. У результаті пакети одного й того ж повідомлення з однією й тією ж адресою можуть слідувати від місця відправлення до місця призначення різними маршрутами й прийти у переплутаному порядку (рис. 7.7 а). Вхідний ВК (кінцевий вузол маршруту) відновлює правильну послідовність пакетів і вже в цій послідовності передає їх до пункту призначення.

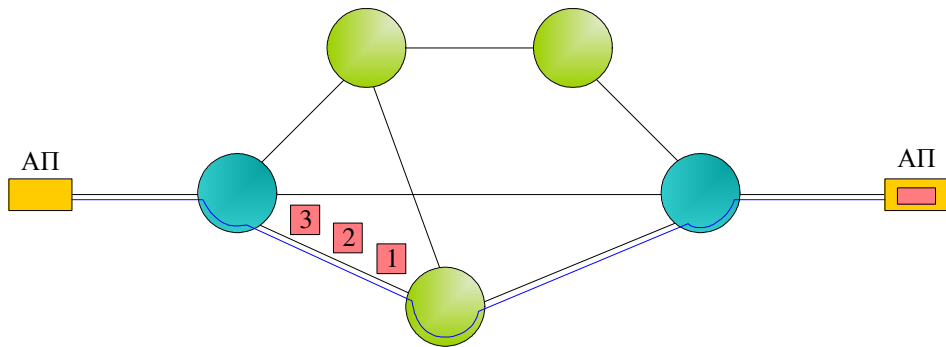
**Використання віртуального виклику.** Прикметною особливістю є те, що датаграмний спосіб доповнюється віртуальним викликом. Попередньою до фази передавання пакетів повідомлення є фаза посилки службового пакету в АП одержувача із зазначенням повного обсягу повідомлення для того, щоб зарезервувати достатній буферу пам'яті для його прийому. Після резервування пам'яті в АП у зворотний бік надсилається службовий пакет з підтвердженням про готовність до прийому повідомлення. Сеанс передавання пакетів розпочинається лише після отримання пакету про підтвердження прийому.

Обмін службовими пакетами перед сеансом передавання повідомлення називається **посилкою віртуального виклику**. Спосіб віртуального виклику зменшує ймовірність блокування роботи окремих вузлів комутації (ВК) і, отже, ймовірність виникнення безвихідних ситуацій у мережі, які гальмують проходження датаграм, а також додаткових витрат часу на посилку віртуального виклику.

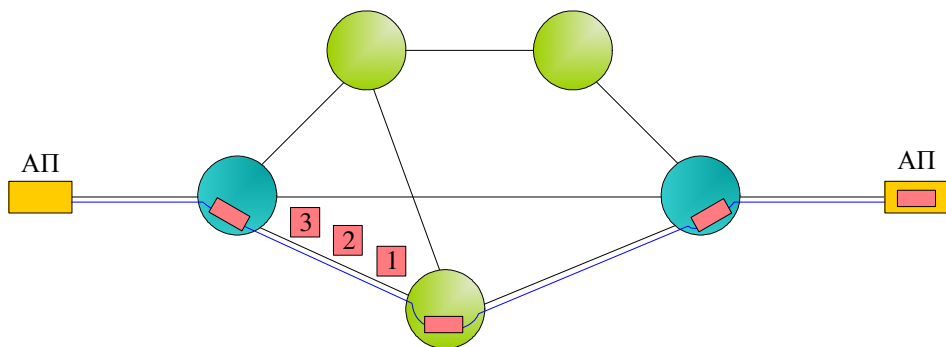
**Використання віртуального каналу.** Цей спосіб характеризується тим, що фазі передавання пакетів повідомлення від одного АП до іншого АП передують фаза налаштування логічного з'єднання між ними, яке називається **віртуальним каналом** (рис. 7.7 б). Фаза налаштування віртуального каналу містить обмін службовими пакетами, при якому, як і в попередньому способі, здійснюється резервування пам'яті для прийому повідомлення в АП одержувача, а також визначається фіксований маршрут прямування мережею пакетів переданого повідомлення. Кожен пакет забезпечується ідентифікатором віртуального каналу,



а)



б)



в)

Рисунок 7.7. Способи комутації пакетів:  
а – датаграмний; б – віртуального каналу; в – віртуального з'єднання



який розміщується в поле заголовка. Проміжні ВК, через які проходить маршрут віртуального каналу, у даній ситуації не приймають самостійних рішень щодо маршрутизації пакетів, а спрямовують пакети згідно з ідентифікаторами віртуального каналу. Оскільки пакети рухаються за фіксованим маршрутом, то, у випадку зайнятості вихідного напрямку, вони затримуються в ВК і накопичуються у вихідних буферах. Якщо вихідний буфер переповнюється, виникає блокування ВК. Блокування можуть викликати неприпустимі затримки пакетів у мережі, а також безвихідну ситуацію, яка зупиняє роботу всієї мережі. Цей недолік усувається за допомогою організації віртуального з'єднання, в якому забезпечується резервування ресурсів пам'яті в усіх проміжних ВК маршрутом проходження пакетів переданого повідомлення.

**Використання віртуального з'єднання.** Спосіб характеризується тим, що в фазі налаштування віртуального каналу здійснюється резервування буферів до ЗП ВК, які входять у маршрут передавання пакетів, достатніх для проходження пакетів без затримок (рис. 7.7 в). Цей спосіб є подібним за принципом налаштування зв'язку до методу комутації каналів (КК). Якщо налаштування зв'язку супроводжуватиметься резервуванням тайм-слотів у транзитних лініях, то відмінність від КК полягатиме лише в розмірі пакета та способі коректування помилок (при КК це робиться на вхідному ВК, а при КП – на всіх ВК, які складають маршрут віртуального каналу).

## *Технологія Х.25*

Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) та ІТУ-Т уперше затвердили метод передавання й комутації пакетів у вигляді Рекомендацій Х.25. Отже зазначений метод (протокол) дістав назву «технологія Х.25». Крім пакету розміром 128 байт, який приймається усталено, допускаються також інші розміри пакету: 16, 32, 256, 512, 1024, 2048, 4096 байт. Крім довжин пакетів, рекомендовано також формати пакетів і кадрів (фреймів), а також протокол їх передавання та приймання.

Технологія Х.25 дістала популярність як технологія передавання даних з комутацією пакетів, яка дає змогу вирішувати проблеми «поганих» каналів зв'язку з великим рівнем перешкод, якими, наприклад, є аналогові телефонні лінії.

Для забезпечення необхідної достовірності передавання інформації в технології Х.25 упроваджено багаторівневу систему виявлення й коректування помилок. Кожен ВК мережі Х.25 на шляху руху пакета перевіряє цілісність пакету, читає контрольну суму, розміщену в заголовку пакету, обчислює її нове значення й порівнює їх. Якщо кількість помилок є незначною, ВК здатний відновити пакет і передати його далі. При цьому вузол надсилає підтвердження попереднього вузла про коректний прийом пакету. Якщо ж відновити пакет неможливо, робиться запит про його повторне передавання.

Розбиття повідомлення на пакети й складання повідомлення з пакетів в технології Х.25 прийнято називати функцією **розбиття/збірки** (Packet Assembler and Disassembler, **PAD**). Функція PAD може виконуватися в будь-якому

мережевому пристрої або вузлі, який забезпечує доступ до мережі X.25. Слід зазначити, що якщо джерелом повідомлення є ЕОМ (робоча станція), функція PAD може виконуватися безпосередньо в ній.

Високий рівень перешкод на лініях призводить до зменшення швидкості передавання, а тому гранична швидкість передавання в мережах X.25 складає 64 кбіт/с. Крім того, ця швидкість не залишається постійною величиною й залежить від рівня перешкод і викликаних ними помилок.

Першу мережу передавання пакетів ARPA введено в експлуатацію наприкінці 60-х рр. у США. Фінансування проекту здійснювалося Управлінням перспективних наукових досліджень (Advance Research Project Agency) США. Аббревіатура, складена з перших літер назви цього управління, визначила назву мережі. Максимальний розмір пакету складав у мережі ARPA 1024 біт (128 байт), а максимальний розмір повідомлення не перевищував 8 пакетів.

Метод передавання й комутації пакетів реалізовано не тільки в протоколі X.25, але і, наприклад, у стеку протоколів TCP/IP, який вперше застосовано також у мережі ARPA. Надалі ARPA перетворилась в Інтернет.

### ***Особливості формування пакетів мовленнєвих повідомлень***

Мовленнєве повідомлення, подане в цифровій формі (ІКМ сигнал), є послідовністю байтів (вибірок дискретних відліків амплітуд), які в часовому каналі йдуть один за одним через 125 мкс. Особливість реалізації функції PAD при цьому

полягає в тому, що, формуючи блок, довжина якого більша від одного байта, необхідно накопичити потрібну кількість байтів. У цьому випадку відбувається затримка всіх байтів, які містить пакет, окрім останнього (рис. 7.8), на час  $\tau = 125(n-1)$  мкс, де  $n$  – кількість байтів у блоці. Перехід до пакета та фрейму залишається тим же.

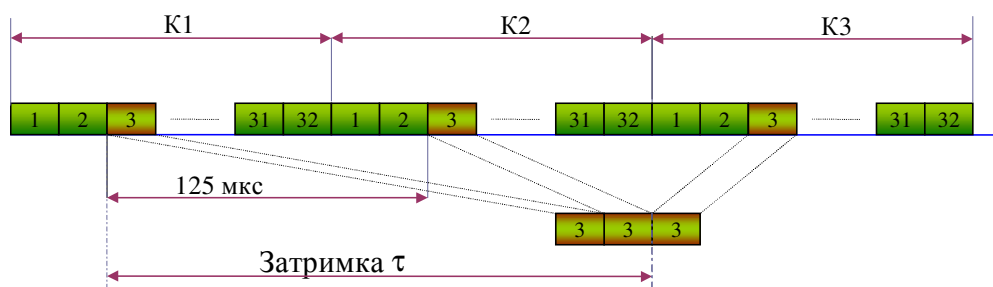


Рисунок 7.8. Формування пакета мовленнєвого сигналу:  
K1, K2, K3 – кадри

На приймальному кінці (вхідного ВК) для правильного відновлення повідомлення відбувається перетворення в ІКМ-сигнал з відповідним рознесенням у часі окремих байтів. Крім того, здійснюється узгодження в часі байтів різних блоків.

Очевидно, що наявність часових затримань у процесі передавання й отримання пакетів може суттєво спотворити мовленнєве повідомлення. Щоб запобігти цьому, для передавання мовлення пакетами необхідно використовувати високошвидкісні канали, в яких мовленнєві пакети передаватимуться пріоритетно серед інших даних.

### *Технологія ретрансляції фреймів (Frame Relay)*

У швидкісних телекомунікаційних мережах, які використовують волоконно-оптичне середовище для передавання даних, рівень помилок є набагато нижчим, порівняно з каналами аналогової телефонії. А тому надмірність кодування (застосування складних кодів для виявлення й виправлення помилок) пакетів стає непотрібною, спрощується система заголовків, якою була перенасичена обсягами інформації для відновлення пакетів.

У 90-х рр. ІТУ-Т затверджує новий протокол із сімейства протоколів Х.25, який отримав назву протоколу **ретрансляції фреймів (кадрів) - Frame Relay (FR)**. У цьому протоколі немає тієї надмірності, яка була характерною для протоколу Х.25, по-перше, тому, що він спеціально розроблявся для використання на лініях зв'язку з низьким рівнем перешкод, а, по-друге, в ньому усунуто систему контролю помилок всього фрейму. Замість цього лише перевіряється цілісність отриманого фрейму, й тільки для адресного поля здійснюється контроль помилок. Завдяки всьому цьому Frame Relay забезпечує під'єднання користувачів до телекомунікаційної мережі на швидкості 2 Мбіт/с і вищій. Основною перевагою технології Frame Relay стала низька надлишковість службової інформації в пакеті, що помітно збільшило продуктивність передавання даних у мережі. За іншими критеріями протокол Frame Relay є подібним до протоколу Х.25. Розміри фреймів можуть мати змінну довжину, оскільки самі пакети допускають використання різних довжин і, як наслідок, варіації затримок у процесі передавання фреймів. А це не

зовсім прийнятно для передавання мовленнєвих та відеоповідомлень, які вимагають регулярних швидкостей.

Сферою більш ефективного застосування технології Frame Relay є взаємодія локальних мереж LAN через глобальні телекомунікаційні мережі, а також забезпечення високошвидкісних користувальницьких інтерфейсів UNI. Оскільки Frame Relay є різновидом протоколів X.25, він добре поєднується з мережами X.25.

Передавання фреймів мережею уможлиблюється завдяки використанню віртуального каналу, віртуального під'єднання, а також датаграмного режиму.

З метою керування потоками фреймів у перевантажених мережах, на мережах FR застосовується система так званих "кредитів". Кредит CIR (Committed Information Rate) видається користувачеві, та є своєрідним дозволом на передавання даних зі швидкістю, яка не перевищує вказану. При цьому CIR, який вимірюється в кілобітах на секунду, визначається термінами дозволеного обсягу даних  $B$ , який можна надіслати користувачем у мережу за час  $T$ :  $CIR = B/T$ .

Значення CIR є середнім гарантованим мережею значенням швидкості передавання даних за умови неперевантажень мережі. Кредит CIR видає адміністрація мережі, він може бути однаковим для всіх користувачів або враховувати запит конкретного користувача.

### *Передавання й комутація комірок. Технологія АТМ*

**Технологія АТМ** (Asynchronous Transfer Mode) є провідною у порівнянні з розглянутими вище пакетними технологіями. Дану технологію ще називають «**асинхронним**

**режимом перенесення»,** що закріплено рекомендаціями ІТУ-Т. На сьогодні АТМ є єдиною технологією, яка дає змогу повноцінно передавати інтегральний трафік (голос, відео, дані), одночасно задовольняючи абсолютно несумісні вимоги до умов передавання.

Сутність технології АТМ полягає в транспортуванні всіх видів інформації пакетами фіксованої довжини в 53 байта, з яких 48 байтів визначають розмір інформаційного поля, а 5 байтів відводиться для заголовка. Такий пакет отримав назву **«комірка»** (cell). Комірки передаються без додаткового оформлення в кадр (фрейм), а для їх оброблення використовують більш прості протоколи, на відміну від передавання пакетами за протоколом Х.25. Крім того, фіксована довжина й регулярність створюваного ними потоку не вимагають використання прапора між ними для відокремлення однієї комірки від іншої. Комірки фіксованої довжини передаються каналом безперервно.

У тому випадку, коли інформаційні комірки відсутні, каналом передаються "порожні" комірки стандартної величини, тобто комірки, які не містять даних у полі інформації, що зазначено в заголовку. Порожні комірки необхідно передавати для того, щоб не порушити покоміркову дискретизацію в каналі. Покоміркова дискретизація нагадує часову дискретизацію в синхронному режимі передавання. Однак, якщо у синхронному режимі тривалість тайм-слоту (часового каналу) залежала від швидкості передавання бітів каналом, то в асинхронному режимі тривалість часу, витрачена для передавання комірки, залежить тільки від кількості бітів, необхідних для її передавання, але не від

швидкості. Таким чином, за допомогою комірок здійснюється своєрідна «часова дискретизація в каналі», у зв'язку з чим асинхронний режим передавання ще називають **асинхронним часовим мультиплексуванням**.

Відмінність асинхронного часового мультиплексування (АЧМ) від синхронного часового мультиплексування (СЧМ) полягає в тому, що комірки, які належать різним інформаційним повідомленням, можуть слідувати довільно, а тайм-слоти СЧМ для передавання різних повідомлень розташовуються на осі часу (в структурі кадру) в чітко фіксованому порядку відносно початку циклу дискретизації (початок кадру) (рис. 7.9).

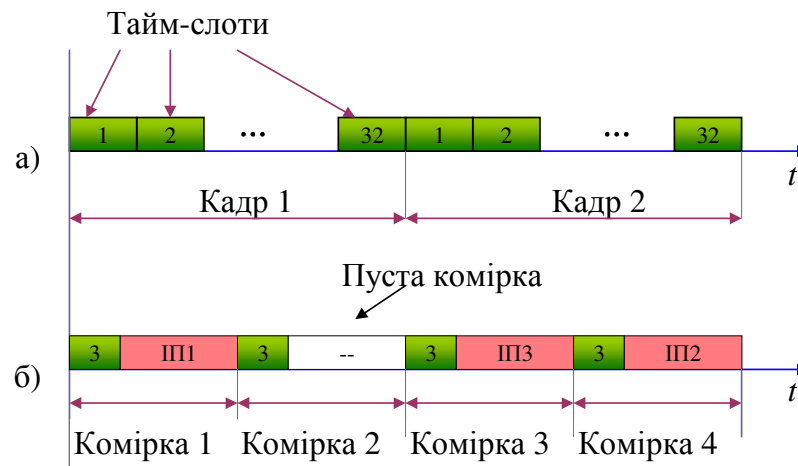


Рисунок 7.9. Принцип асинхронного мультиплексування:  
 а - синхронне мультиплексування; б - асинхронне  
 мультиплексування  
 ІП1, ІП2, ІП3 - інформаційні повідомлення.

Передавання комірок мережею здійснюється завдяки віртуальному з'єднанню, у зв'язку з чим фазі передавання



передусь фаза налаштування віртуального з'єднання, під час якої перевіряється достатність обсягу мережевих ресурсів як для якісного обслуговування вже наявних віртуальних з'єднань, так і для новостворюваного. Якщо мережевих ресурсів недостатньо, налаштування з'єднання не відбудеться. Таким чином, у мережі АТМ реалізується функція контролю й захисту від перевантажень.

Щоб зменшити часові затримання комірок у вузлах комутації, функції заголовка пакету АТМ обмежують. Основною функцією заголовка стає ідентифікація віртуального з'єднання та забезпечення гарантії правильної маршрутизації. Заголовок також дає змогу мультиплексувати різні віртуальні з'єднання в одному цифровому тракті. Оскільки помилка в заголовку може призвести до неправильної маршрутизації, передбачено виявлення й виправлення помилок у заголовку пакету АТМ.

Через обмеження функцій, які виконує заголовок пакета АТМ, його обробка є відносно простою процедурою й може здійснюватися на дуже високих швидкостях, що забезпечує незначне затримання комірок у чергах буферних пристроїв комутаторів АТМ. Продуктивність комутаторів АТМ досягає 10 Гбіт/с.

Комутатори АТМ є основними пристроями мережі АТМ, основними функціями яких є не тільки налаштування віртуального з'єднання між кінцевими пристроями користувачів, а й забезпечення так званого **режиму якісного обслуговування** (Quality of Service, **QoS**) для цього з'єднання. Параметри режиму QoS задають користувачі в заявці на під'єднання в фазі формування віртуального з'єднання.

У рекомендаціях ITU-T передбачено такі типи QoS:

- **CBR** (Constant Bit Rate) – виокремлення каналу з фіксованою пропускною здатністю, гранично допустимим затримуванням та іншими характеристиками, замовленими користувачем. Такий вид QoS в основному використовують для передавання мовлення;
- **RT-VBR** (Real Time Variable Bit Rate) – виокремлення каналу з пропускною здатністю в заданих межах (min-max) з жорсткими вимогами до затримування та іншими параметрами, замовленими користувачем. RT-VBR є ідеальним для передавання відео й мовлення;
- **NRT-VBR** (Not Real Time Variable Bit Rate) – VBR з послабленими вимогами до затримування у передаванні – застосовується для відео та мовлення, які не потребують режиму реального часу;
- **ABR** (Available Bit Rate) – надання користувачеві залишково вільної частини фізичного каналу. Під'єднуючись, користувач встановлює лише межі допустимих змін швидкості передавання. Величина затримувань є контрольованою. Даний режим застосовують для передавання даних;
- **UBR** (Unspecified Bit Rate) – найбільш низькопріоритетний режим передавання, особливість якого в тому, що надається для користування певний канал без будь-яких гарантій якості передавання;

- **UBR+** – модифікований UBR, який передбачає припинення передавання комірок повідомлення у разі виникненні перевантаження мережі. Застосування UBR + дає змогу розвантажити фізичні канали.

Забезпечення режиму QoS принципово відрізняє технологію ATM від усіх наявних мережевих технологій. Особливого значення вона набуває в процесі інтегрування даних відео й мовлення, надзвичайно чутливих до затримування під час передавання.

Єдиним протоколом, який забезпечує QoS у комутаторах ATM, є протокол PNNI Phase 1.0 (Private Network – to – Network Interface). Протокол досить складний, для його роботи потрібно вдсятеро більше процесорного часу, ніж, наприклад, для відомого протоколу визначення найкоротшого шляху (OSPF), який використовується в маршрутизаторах.

### *Технологія Ethernet*

**Технологія Ethernet** була першою мережевою технологією, в якій запропоновано для доступу до мережі використовувати спільне розподільче середовище (без частотного поділу). Дана технологія пройшла декілька етапів еволюційного розвитку й з простої “шинної” технології локальних мереж перетворилася на технологію не тільки локальних, але й територіальних сегментів.

Завдяки тому, що кожні 5 –7 років швидкість протоколів Ethernet збільшувалася в 10 разів, утворився ієрархічний ряд швидкостей Ethernet: 10 Мбіт/с (**Ethernet**), 100 Мбіт/с (Fast

Ethernet, **FE**), 1 Гбіт/с (Gigabit Ethernet, **GE**), 10 Гбіт/с (10 Gigabit Ethernet, **10GE**), і це ще не межа.

На сьогодні технологія Ethernet міцно увійшла до переліку базових технологій канального рівня для цифрових мереж. Відмінною особливістю канального рівня Ethernet є його розкладання на дві підрівня:

- підрівень керування доступом до середовища (Media Access Control, **MAC**);
- підрівень керування логічним каналом (Logical Link Control, **LLC**).

Підрівень MAC з'ясовує алгоритм доступу до середовища, фізичні адреси портів входу кінцевих пристроїв мережі й підтримує функції спільного використання фізичного середовища. Підрівень LLC підтримує різні режими обслуговування, а саме: обслуговування без налаштування з'єднання та без підтвердження отримання; обслуговування, орієнтоване на з'єднання; обслуговування з підтвердженням без налаштування з'єднання.

У мережах Ethernet застосовано метод доступу до середовища передавання даних, який отримав назву **метод множинного доступу з розпізнаванням частоти-носія та виявленням колізій** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, **CSMA/CD**).

Усі вузли в мережі мають безпосередній доступ до спільного середовища передавання, що й визначає його як множинний або колективний доступ. Однак одночасне передавання двома й більше вузлами мережі кадрів у спільне

середовище призводить до їх зіткнення й спотворення. Ця ситуація називається **колізією**. Щоб уникнути колізій, метод CSMA/CD дає змогу вузлам прослуховувати основну гармоніку сигналу, так звану частоту-носія. Відсутність частоти-носія свідчить про те, що спільне середовище передавання вільне. У цьому випадку вузол має право ініціювати передавання своїх кадрів.

Кадр, який надійшов у спільне середовище передавання, є доступним кожному вузлу, але фіксує його в своєму внутрішньому буфері лише той вузол, який розпізнає в заголовку кадру свою адресу. У вузлі призначення дані, які надійшли в кадрі, обробляються й передаються вгору по стеку. Після цього в середовище прямує кадр-відповідь за адресою вузла-джерела, вказаною у відповідному полі прийнятого кадру.

Після закінчення передавання кадру кожен вузол зобов'язаний витримати паузу, так званий **міжкадровий інтервал**. Пауза необхідна для повернення мережевих адаптерів у вихідний стан і запобігання монопольного захоплення спільного середовища передавання одним вузлом.

Зауважимо, що механізм прослуховування середовища та міжкадровий інтервал не запобігають виникненню колізій, тому що рішення про те, що середовище вільне (на момент відсутності в ньому кадрів, що передаються) можуть прийняти одночасно декілька вузлів та розпочати передавання своїх кадрів. Колізії – це нормальне явище для технології Ethernet. Щоб коректно обробляти колізії, всі вузли постійно спостерігають за виниклими у середовищі передавання сигналами. Якщо передані та спостереженні сигнали відрізняються, фіксується виявлення колізії. Вузол, який

першим виявив колізію, перериває передавання свого кадру та підсилює ситуацію колізії, надсилаючи в мережу спеціальну послідовність з 32 біт, так звану JAM-послідовність. Після цього всі передавальні вузли зобов'язані припинити передавання своїх кадрів та зробити паузу на деякий час. Після закінчення паузи будь-який вузол знову може зробити спробу захопити спільне середовище та почати передавання кадру.

Оскільки тривалості пауз є випадковими величинами, метод доступу до середовища також є ймовірним. Вірогідність успішного захоплення спільного середовища для передавання кадрів залежить від інтенсивності роботи вузлів, тобто від завантаженості мережі. Якщо інтенсивність є значною, пропускна здатність мережі Ethernet різко падає, а тому збільшується кількість повторних спроб передавання кадрів.

Метод випадкового доступу до середовища є недоліком технології Ethernet, однак забезпечує надзвичайну простоту її реалізації, низьку вартість обладнання, а отже, широку популярність.

Зазначимо, що спробою усунення зазначеного недоліку стало впровадження технології з так званим **маркерним доступом**. Це технології ARCnet, Token Ring, FDDI.

**Маркер** доступу – це службовий пакет, який передається від одного вузла до іншого поланцюгово або кільцем. Передавати дані може тільки вузол, який захопив маркер. У заголовку маркера робиться відмітка про зайнятість, і маркер перетворюється на обрамлення початку кадру. Інші вузли побітово транслюють кадр передавального вузла. Вузол, якому адресовано поточний кадр, зберігає його копію в своєму буфері для наступної обробки та транслює його далі мережею,

зробивши позначку про отримання. Коли кадр доставлено в передавальний вузол, останній видаляє його й/або передає наступний кадр аналогічним способом або, у разі припинення передавання, позначає маркер як вільний. У зазначеному підході виникнення колізій є неможливим, однак, через складність реалізації мережевих адаптерів, він обумовлює високу вартість обладнання, а тому ці технології виявилися менш перспективними, на відміну від Ethernet, і сьогодні майже не застосовуються.

Для зменшення виникнення колізій у Ethernet можна зменшити кількість вузлів у сегменті, або пришвидшити роботу протоколу. Саме останнє, у свою чергу, підштовхнуло до формування ієрархії швидкостей Ethernet. Устаткування Ethernet усіх поколінь є сумісним між собою та використовує відкриті стандарти.

**Стандарти IEEE 802.x** розроблялися Комітетом 802 Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers, **IEEE**). У даних стандартах зосереджено рекомендації з проектування нижніх рівнів локальних сегментів.

Поява терміну «Ethernet» пов'язана з кабелем (ether – середовище передавання), оскільки перші мережеві технології Ethernet засновано на коаксіальному кабелі діаметром 0,5 дюйма.

Для **Ethernet** зі швидкістю 10 Мбіт/с стандарту **IEEE 802.3** визначено такі специфікації фізичного рівня:

- **10Base-5** – "товстий коаксіал", коаксіальний кабель діаметром 0,5 дюйма з хвильовим опором 50 Ом;

максимальна довжина сегмента – 500 метрів (без повторювачів);

- **10Base-2** – "тонкий коаксіал", коаксіальний кабель діаметром 0,25 дюйма з хвильовим опором 50 Ом; максимальна довжина сегмента – 185 метрів (без повторювачів);
- **10Base-T** – кабель на основі неекранованої витвої пари. утворює „зіркову” топологію на основі концентратора; відстань між концентратором і кінцевим вузлом – не більша ніж 100 м;
- **10Base-F** – волоконно-оптичний кабель; топологія є аналогічною до стандарту 10Base-T; існує декілька варіантів цієї специфікації: 10Base-FL (відстань до 2000 м), 10Base-FB (відстань до 1000 м).

Перша цифра вказує на бітову швидкість протоколу, слово Base – метод передавання на базовій частоті, а останній символ позначає тип кабелю.

Подальша розробка стандартів ґрунтувалася на використанні комутованої топології (комутована Ethernet) та надвисоких швидкостей із застосуванням напівдуплексного та повнодуплексного режимів передавання даних між портами вузлів, що практично робить неможливим виникнення колізій.

**Fast Ethernet** має такі специфікації фізичного рівня (стандарт **IEEE 802.3u**):

- **100Base-FX** – багатомодовий волоконно-оптичний кабель з двох волокон; специфікація орієнтована на магістральні з'єднання; у напівдуплексному зв'язку



максимальна відстань між двома вузлами – 412 м, у повному дуплексі – 2 000 м;

- **100Base-TX** – дві кручені пари: одна пара для передавання даних, інша – для прийому; максимальна відстань – 100 м;
- **100Base-T4** – чотири кручені пари; специфікація розроблена з метою використання чотирипарних кабелів для телефонії. Три пари задіяно для передавання даних із сумарною швидкістю 100 Мбіт/с, одна пара застосовується для виявлення конфліктів. Максимальна відстань – 100 м.

Специфікації фізичного рівня **Gigabit Ethernet** (стандарт **IEEE 802.3z**):

- **1000Base-SX** регламентує передавання даних багатомодовим волоконно-оптичним кабелем на довжині хвилі 850 нм. У процесі повнодуплексного передавання максимальна довжина фізичного сегмента може досягати 500 м;
- **1000Base-Lx** визначає передавання даних по волоконно-оптичному кабелю на довжині хвилі 1300 нм; для багатомодового кабелю максимальна довжина фізичного сегмента досягає 550 м, для одномодового – 5000 м;
- **1000Base-CX** регламентує використання мідного подвійного коаксіального кабелю з хвильовим опором 150 Ом для напівдуплексного передавання; максимальна відстань – 25 м.

Специфікації фізичного рівня **10 Gigabit Ethernet (10GE)** регламентуються стандартом **IEEE 802.3ae** та допускають використання багатомодового й одномодового волоконно-оптичних кабелів на довжині хвилі 850 нм, 1300 нм і 1550 нм. Максимальна відстань – 40 км. Більш пізні варіанти стандарту забезпечують роботу на відстані до 90 км.

Високошвидкісні варіанти Ethernet презентовано на ринку новітньою апаратурою – маршрутизаторами/комунікаторами GE та 10GE, які застосовують для побудови високошвидкісних міських та регіональних мереж передавання даних. Поверх Ethernet можливим стало також передавання голосу та відео. У зв'язку з цим виник та набув широкого вжитку термін «Carrier Ethernet» (переносник Ethernet) (див. п. 12.6).

Актуальними є на сьогодні також стандарти **безпроводової Ethernet - IEEE 802.11x**.

### *Безпроводові локальні мережі Ethernet*

*Безпроводові локальні мережі зв'язку* (Wireless Local Area Networks, **WLAN**) – це радіомережі з малою зоною покриття, які забезпечують такі ж можливості зв'язку, що й кабельні мережі, а також вільне переміщення користувачів, які використовують ноутбуки.

Базовий стандарт **IEEE 802.11**, названий у комерційних пропозиціях **Wi-Fi**, пропонує швидкість передавання 1 Мбіт/с з використанням діапазону частот 2,4 ГГц. Зазначений діапазон не потребує ліцензування й призначено для промислового, наукового та медичного обладнання,

під'єднаного до локальної мережі. Основним обладнанням є **спеціальні безпроводові мережеві інтерфейсні плати** (безпроводові мережеві адаптери) й **точки доступу** (базові станції), з'єднані з проводовою локальною мережею або шлюзом доступу в Інтернет.

Стандарт IEEE 802.11 та всі наступні його версії використовують на MAC-рівні **множинний доступ з контролюванням частоти-носія та запобіганням колізій** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, **CSMA/CA**), який за багатьма показниками є схожим на специфікацію проводового Ethernet, тільки замість з'ясування колізій забезпечує їх запобігання. У даному випадку прослуховують як фізичний, так і *віртуальний канал*. Це відбувається тоді, коли одна станція перебуває в зоні дії двох інших станцій.

Проаналізуємо особливості найбільш частозгадуваних версій стандарту IEEE 802.11.

Стандарт **IEEE 802.11a** описує мережу з розширеною смугою частот та швидкістю передавання 54 Мбіт/с.

Більшість сучасного обладнання, призначеного для WLAN, створюється на базі стандарту **IEEE 802.11b**. Цей стандарт забезпечує безпроводовий зв'язок у діапазоні базового стандарту частот (2.4 ГГц), однак інша технологія модуляції дає змогу досягти в мережі швидкості передавання 11 Мбіт/с.

У фізичному середовищі IEEE 802.11b інформація поширюється за допомогою малопотужного шумоподібного сигналу. У діапазоні 2.4 ГГц формується близько десяти частотних каналів шириною 22 МГц. Дальність зв'язку при

цьому досягає 110 км, якщо є пряма видимість між кінцевими точками. В умовах різновисотної забудови, сніжно-дошового клімату дальність зв'язку варіюється в межах 5 км.

Безпроводова мережа стандарту IEEE 802.11b гарантує необхідну безпеку, передбачену стандартом **WPA** (Wi-Fi Protected Access). Спосіб шифрування даних ґрунтується на алгоритмі спільного ключа.

Завдяки підтримці роумінгу між точками доступу з ресурсами мережі можуть працювати мобільні користувачі. Для цього необхідно налаштувати точки доступу, під'єднані до стаціонарної мережі, в кількості, яка забезпечує радіопокриття необхідної площі.

Стандарт **IEEE 802.11g** використовує метод модуляції 802.11a і смугу частот 802.11b. Пристрої, які базуються на цьому стандарті, забезпечують швидкості передавання даних до 54 Мбіт/с.

Існує ще один стандарт цієї серії – це стандарт **IEEE 802.16**. На відміну від стандарту IEEE 802.11, він вирішує зовсім інші проблеми. Це стандарт широкосмугової безпроводової мережі стаціонарного типу. Мережі 802.16, розраховані на роботу в високочастотному діапазоні (10 – 66 ГГц і нижче), можуть охоплювати цілі райони міст з відстані на кілька кілометрів та застосовуються як безпроводовий аналог кабельного телебачення.

## Контрольні питання

1. Подайте визначення терміна «телекомунікаційна технологія»?
2. Чим відрізняється процес передавання даних від перенесення даних у мережі?
3. У який спосіб можна організувати режими перенесення даних у мережі, та в чому полягає їхня відмінність?
4. У чому полягає принцип синхронного часового мультиплексування?
5. Охарактеризуйте сучасні мультиплексори, назвіть їх основні відмінності від традиційних систем ущільнення з імпульсно-ковою модуляцією.
6. У чому полягає особливість мультиплексування мовленнєвих сигналів, потоків даних?
7. Проаналізуйте недоліки мереж із комутацією каналів?
8. На чому ґрунтується принцип технології ISDN? У чому її переваги й недоліки?
9. Перерахуйте та проаналізуйте основні технології асинхронного режиму перенесення.
10. Проаналізуйте основні способи передавання пакетів у телекомунікаційній мережі.
11. Поясніть специфіку асинхронного часового мультиплексування?
12. Що називається «режимом якісного обслуговування», і яка з технологій максимально забезпечує його?

13. Чим вирізняється технологія Ethernet? Що сприяє поширенню сфери застосування цієї технології?

14. Чи вважаєте Ви, що технології комутації каналів треба замінити технологіями комутації пакетів? Чи можуть ці технології співіснувати? Аргументуйте свою думку.

## **Розділ 8. Мережеві концепції. Динаміка розвитку мереж**

**Концепція побудови мережі** відтворює систему поглядів на те, як повинна функціонувати мережа зв'язку, яка задовольняє певні потреби користувачів, і уявлення про те, як це можна практично реалізувати.

Формування певної мережевої концепції ґрунтується, насамперед, на *конкретизації переліку функцій, виконання яких передбачено в мережі, способі їх поєднання й групування в функціональні модулі та способі реалізації цих функціональних модулів* (програмний, апаратний, програмно-апаратний).

З'ясовуючи перспективи впровадження тієї чи іншої мережевої концепції, враховують рівень науково-технічного прогресу в суспільстві, якість розробок телекомунікаційних технологій та потреби суспільства в певному наборі послуг зв'язку.

У цьому розділі подано огляд основних напрямів еволюції мережевих концепцій від епохи аналогової телефонії до сучасних уявлень про те, як повинна функціонувати телекомунікаційна мережа, яка відповідає вимогам світового Інформаційного співтовариства.

### **8.1. Концепція Єдиної автоматизованої мережі зв'язку (ЄАМЗ)**

Особливістю початкового етапу розвитку мереж зв'язку, як глобальних об'єктів, є побудова окремих мереж для кожного виду інформації, яку необхідно було передати.

Провідною на цьому етапі була телефонна мережа, оскільки телефонний зв'язок на той час дістав найбільшу популярність в суспільстві.

Помітний прогрес у розвитку технічних засобів доставки різних видів інформації надала концепція **Єдиної Автоматизованої мережі зв'язку (ЄАМЗ)**, яка виникла на початку 90-х років минулого століття. Її основною ідеєю стало об'єднання мереж, структурно й функціонально відмінних і призначених для передавання різної інформації, у єдину мережу зв'язку, побудовану з максимальним використанням спільних систем передавання й розподілення інформації. Перетворення різних видів інформації в основному в електричні сигнали *аналогової форми* дало змогу на той момент лише уніфікувати в технічно допустимих межах сигнали, які передають у однакових напрямках та об'єднати системи передавання одного напрямку в єдину систему з відповідною пропускнуою здатністю. Доцільність злиття мереж електрозв'язку було зумовлено також стрімким прогресом у сфері систем комутації, спрямованому на об'єднання комутаційних станцій різного призначення в єдині системи комутації зі спільним керуванням.

Концепція ЄАМЗ ґрунтувалася на виокремленні сукупності мережевих вузлів, мережевих станцій та ліній передавання, які утворюють мережу типових каналів передавання та типових лінійних трактів - **первинну мережу ЄАМЗ**. Ця мережа з відповідними пристроями керування й експлуатацією стала своєрідним «кістяком» загальної мережі, типові канали якої виділялися для створення різних, так званих, **вторинних мереж**. Будь-яка вторинна мережа



визначалась сукупністю каналів, виокремлених із загальної первинної мережі для її організації і кінцевих пристроїв-перетворювачів інформації певного виду в електричні сигнали, які передавалися індивідуальними абонентськими лініями до найближчих вузлових пунктів, де налаштовано комутаційне обладнання даної вторинної мережі.

Вторинні мережі розділялись за типом передаваної інформації та відомчої приналежності. У межах сформульованої концепції до складу ЄАМЗ входять наступні вторинні мережі:

- телефонного зв'язку загального користування (ТфЗК), яку одночасно можна використовувати для передавання даних, факсимільної передачі, «повільного» відеотелефона;
- телеграфного зв'язку загального користування (ТлгЗК) між підприємствами зв'язку;
- абонентського телеграфу між підприємствами та установами;
- загальнодержавної мережі передавання даних;
- передавання програм телемовлення;
- фототелеграфного передавання газет;
- факсимільного зв'язку;
- різних відомств.

Технічна реалізація концепції ЄАМЗ ґрунтувалася на аналогових системах передавання, основою яких були канали тональної частоти (ТЧ) зі смугою частот 0,3 – 3,4 кГц. Відповідно до рекомендацій Міжнародного консультативного

комітету з телеграфії й телефонії (МККТТ), реорганізованого надалі в ІТУ-Т, канали ТЧ об'єднувалися в такі групи: первинна – 12 каналів ТЧ, перенесених в діапазон 60 – 108 кГц; вторинна – п'ять первинних груп (60 каналів ТЧ), перенесених в діапазон частот 312 – 552 кГц; третинна – п'ять вторинних груп (300 каналів ТЧ), перенесених в діапазон частот 812– 2044 кГц. Крім того, МККТТ допускав варіанти створення інших груп, наприклад, зі смугою 8516 – 12388 кГц (три 300-канальні групи) та вище. Максимальна кількість каналів у загальних лінійних трактах кабельних ліній або стовбурах радіорелейних ліній, визначала назву системи передавання (наприклад, К–1920 – кабельна система на 1920 каналів ТЧ).

На базі первинної мережі ЄАМЗ, заснованої на аналогових системах передавання з частотним розподілом каналів, можна було утворювати також широкосмугові канали для звукового мовлення та звукового супроводу програм телебачення та ін.

ЄАМЗ набула поширення в основному в країнах колишнього соціалістичного табору.

Сьогодні розглядаємо концепцію ЄАМЗ як «доцифровий» період еволюційного розвитку мереж зв'язку. Однак створення єдиної універсальної інтегрованої та уніфікованої мережі зв'язку, як і раніше, залишається одним з пріоритетних завдань, намагання вирішити яке стимулює науково-технічний прогрес у галузі зв'язку, і саме концепцію ЄАМЗ можна вважати першим кроком у цьому важливому напрямку.

Терміни «первинна мережа» та «вторинні мережі» дотепер є активними у вжитку, хоча їх семантика трансформувалася під впливом технологічного прогресу, на чому зосереджено увагу в наступних розділах.

## **8.2. Концепція цифрової мережі інтегрального обслуговування (ISDN)**

Поява програмно-керованих електронних АТС, систем ІКМ з часовим розподілом каналів (ЧПК), а також перехід до наскрізних цифрових трактів передавання в мережі з кінця в кінець дало змогу створити *інтегровані цифрові мережі зв'язку*, якими розпочато другий – цифровий етап розвитку телекомунікаційних мереж. *Інтеграція комутаційного й каналотворювального обладнання* визначили концептуальну сутність цифрової інтегрованої мережі.

Розробка методу комутації пакетів і створення перших мереж ЕОМ з пакетною комутацією уможливили появу гібридних мереж, у яких інтегровано метод комутації каналів (КК) і метод комутації пакетів (КП).

Гібридні та інтегровані цифрові мережі забезпечили на початку 80-х років минулого століття перехід до **цифрової мережі інтегрального обслуговування** (Integrated Services Digital Network, **ISDN**). ІТУ-Т в Рекомендації I.112 подано таке визначення цієї мережі: «*ISDN - це мережа, яка забезпечує надання декількох різних видів обслуговування зв'язком і передбачає цифрові з'єднання між інтерфейсами користувач-мережа*».

У ISDN на основі єдиних принципів побудови й функціонування інтегровано не тільки комутаційне й передавальне обладнання, а й різні типи переданої інформації (мова, дані і т.д.), методи комутації (КК, КП), різні види обслуговування (скорочений номер, зворотний виклик, переадресація виклику та ін.)

Користувачі ISDN отримали можливість позбутися незручностей, пов'язаних з необхідністю мати кілька абонентських ліній спеціалізованих вторинних мереж і декілька абонентських номерів одного й того ж абонентського пункту для передавання різних видів інформації.

Окрім однієї абонентської лінії й одного абонентського номера, очевидними перевагами ISDN є також:

- наявність багатофункціональних терміналів;
- потужна пакетна система сигналізації № 7 (СС-7), яка забезпечує ефективне використання засобів зв'язку.

ISDN широко розповсюджена в Європі, США, Канаді, Японії та інших країнах світу.

Відповідно до рекомендацій ІТУ-Т ISDN поділяють на два види:

- **вузькосмугові** (Narrow ISDN, **N-ISDN**) (Рекомендація І.120);
- **широкосмугові** (Broadband ISDN, **B-ISDN**) (Рекомендація І.121).

N-ISDN – це такі мережі, в яких швидкість передавання від 64 Кбіт/с до 2,048 Мбіт/с, а B-ISDN – такі, в яких використовують широкосмугові канали із швидкістю передавання понад 2 Мбіт/с.

## Вузькосмугова ISDN

Особливістю концепції N-ISDN були *інтегрований доступ* з обмеженою кількістю інтерфейсів та все ще *окремі спеціалізовані мережі*. Передбачено три таких мережі: мережа з КК, мережа з КП та мережа СС-7. Термінальне обладнання (ТО) під'єднувалося до цих мереж через спеціальний інтерфейс в точці доступу, забезпечуючи тим самим для ТО інтегрований (універсальний) доступ до будь-якої з перерахованих мереж.

На рисунку 8.1 подано концептуальне уявлення про декомпозицію функціональної структури з виділенням трьох технологічних підмереж N-ISDN.

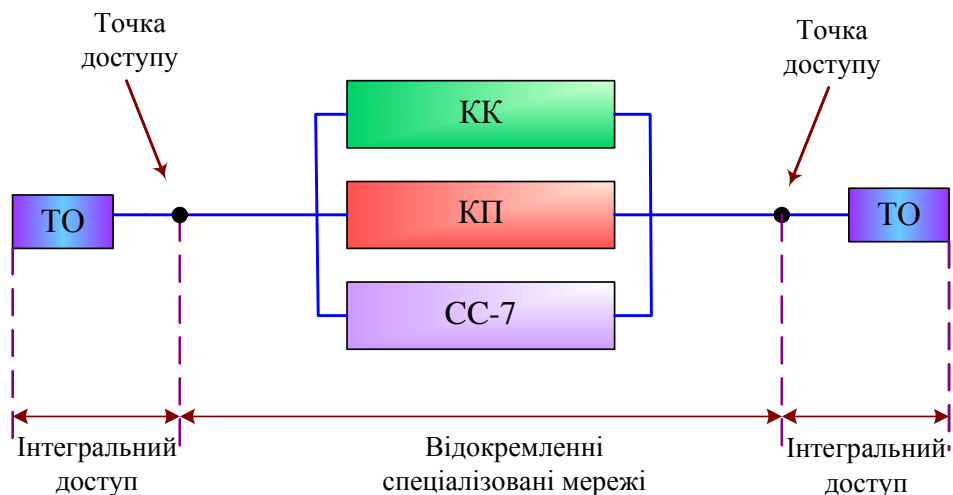


Рисунок 8.1. Концептуальне уявлення N-ISDN

## *Засоби реалізації N-ISDN*

Концепція N-ISDN, як і будь-яка мережева концепція, ґрунтується на комплексі технічних засобів, за допомогою яких вона може бути реалізована, основними серед яких є такі:

- ISDN-станції (ISDN-комутатори);
- ISDN-термінали (цифрові телефонні апарати);
- внутрішні адаптери ISDN (мости/маршрутизатори) для під'єднання ПК до ISDN-мережі;
- зовнішні пристрої (блоки) для під'єднання ПК або ЛОМ до ISDN-мережі;
- мережеві закінчення (Network Terminator, **NT**) NT1 і NT2;
- інтерфейси ліній зв'язку (BRI та PRI).

## *Інтерфейси N-ISDN*

У ISDN-мережах використовують два специфічних типи інтерфейсів:

- *інтерфейс базового доступу* (Basic Rate Interface, **BRI**), який регламентує з'єднання ISDN-станції з абонентом;
- *інтерфейс первинного доступу* (Primary Rate Interface, **PRI**), який забезпечує зв'язок між ISDN-станціями.

**Інтерфейс BRI** в основному застосовують для під'єднання окремих абонентів або невеликих організацій. До

цього інтерфейсу може бути під'єднано до восьми ISDN-пристроїв, але при цьому доступними в кожний момент часу є лише два В-канали, інші виклики утримуються (режим HOLD) за допомогою сигналізації в D-каналі. Усі пристрої конкретного користувача можуть мати один абонентський номер, незалежно від типу служб зв'язку. Для вибору одного з пристроїв можна використовувати також так званий розширений абонентський номер MSN (Multiple Subscriber Number).

На логічному рівні BRI – це особливим чином структурований цифровий потік, розділений на три канали: два інформаційні канали типу В з пропускною здатністю 64 Кбіт/с кожен та один службовий канал типу D з пропускною здатністю 16 Кбіт/с. Саме тому BRI ще називають 2В + D.

При використанні BRI між ISDN-станцією та цифровим телефонним апаратом, В-каналами передають цифровані мовленнєві сигнали. Якщо доступ до ПК і ЛОМ чи вихід в Internet є віддаленими, В-канали використовують для обміну даними. При цьому однією лінією BRI можна передавати два незалежних потоки повідомлень – за кількістю В-каналів.

D-канал, як уже зазначено, виконує службові функції, основними серед яких є такі: передавання службової інформації (сигнали виклику, маршрут дзвінка, номери того, хто викликає, і того, кого викликають та ін.), одночасне обслуговування декількох В-каналів, здійснення контролю зайнятості В-каналів, присвоєння кожному абоненту визначеного імені (у разі під'єднання даного абонента до бази даних на ISDN-станції), виведення номера й імені абонента,

який телефонує, на екран дисплея ISDN-термінала та ін. Протокол обміну сигналами D-каналу діє на 1-3 рівнях еталонної моделі OSI.

**Інтерфейс PRI**, зазвичай, використовують для поєднання телефонних станцій та локальних мереж. ISDN-станції, в яких сходяться BRI-інтерфейси, з'єднуються між собою широкосмуговими магістралями, які й підтримують інтерфейс PRI.

Логічно PRI побудовано за тим же принципом, що й BRI-інтерфейс: певна кількість В-каналів та один D-канал. Іншими словами, PRI можна описати формулою  $nB + D$  ( $23B + D$  в США та Японії, де стандартним є канал T1, і  $30B + D$  в Європі, де діє стандарт E1). При цьому слід зазначити, що D-канали в PRI й BRI відрізняються пропускнуою здатністю: якщо в BRI швидкодія D-каналу дорівнює 16 Кбіт/с, то в PRI – 64 Кбіт/с.

### ***Термінали ISDN. Еталонна конфігурація інтерфейсу «користувач-мережа»***

Розрізняють два типи терміналів в ISDN:

- *термінальне обладнання типу 1* (Terminal Equipment type 1, **TE1**) – це спеціалізовані цифрові телефонні апарати, термінали ISDN (цифрування аналогового мовного сигналу відбувається безпосередньо в апараті). Термінали TE1 під'єднують до мережі ISDN через цифрову лінію зв'язку з чотирьох скручених пар проводів;



- *термінальне обладнання типу 2 (Terminal Equipment type 2, TE2) – це термінали, які було розроблено не для ISDN (вони з'явилися раніше стандартів ISDN). Термінали TE2 під'єднують до мережі ISDN через спеціальні термінальні адаптери.*

На рисунку 8.2 зображено еталонну конфігурацію інтерфейсу "користувач-мережа" (Рекомендація I.411), яка забезпечує під'єднання користувачів до мережі ISDN.

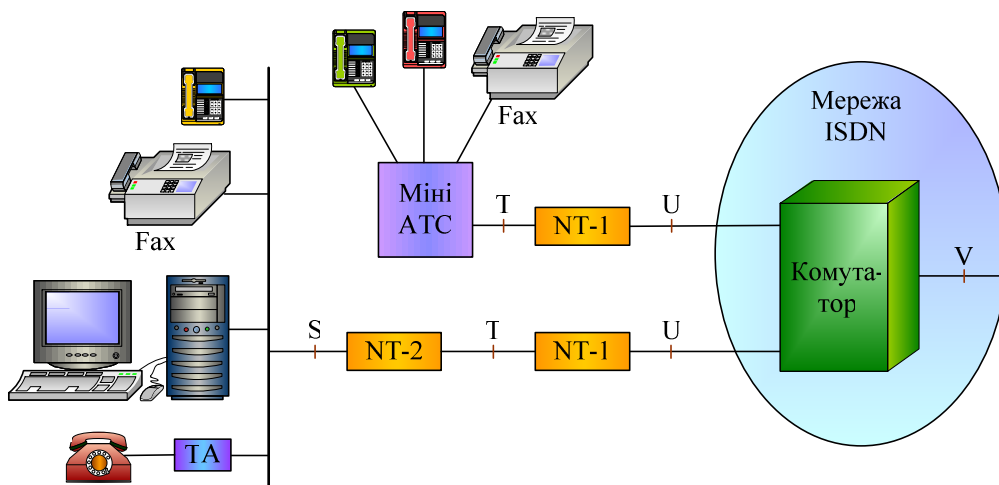


Рисунок 8.2. Еталонна конфігурація інтерфейсу «користувач-мережа»

Вона складена з таких елементів, як термінальне обладнання (TE1 і TE2), термінальний адаптер (ТА), кінцеве обладнання мережі (мережеві закінчення NT1 і NT2) та інтерфейсні еталонні точки (R, S, T, U, V).

Еталонна **точка R** забезпечує узгодження терміналу TE2 з термінальним адаптером (ТА ISDN). Терміналами можуть

бути аналоговий телефонний апарат, факсимільний, телетексний, відеотексний та інші апарати, а також персональні ЕОМ. ТА ISDN може бути або автономним пристроєм, або платою всередині ТЕ2. Якщо ТЕ2 реалізовано як автономний пристрій, то він під'єднується до ТА через стандартний інтерфейс фізичного рівня (наприклад, RS-232, V.24 або V.35).

Еталонна **точка S** реалізує взаємодію терміналу ТЕ1 або ТА ISDN, якщо даний термінал не є терміналом ISDN, і мережевого закінчення NT2. До однієї абонентської лінії ISDN можна під'єднувати (до чотирипроводової шини S на основі інтерфейсу S) до восьми терміналів. Уважають, що мережа починається з NT2. У NT2 виконуються функції другого та третього рівнів моделі OSI. Опції NT2 може здійснювати міні-АТС з функціями ISDN, яка обслуговує свої термінали. У цьому випадку вона відразу під'єднується до мережевого закінчення NT1 через еталонну точку Т.

Еталонна **точка Т** забезпечує взаємозв'язок NT2 з NT1, у якій реалізуються функції першого (фізичного) рівня моделі OSI. Фактично NT1 є пристроєм (лінійним терміналом), який утворює дуплексний канал з відповідним пристроєм, налаштованим на території оператора мережі ISDN.

Еталонна **точка U** забезпечує взаємозв'язок з абонентською лінією NT1, яка знаходиться на стороні абонента з аналогічним пристроєм на вході комутатора. U-інтерфейс (вита пара) призначено для роботи з віддаленим користувачами (до 4 – 7 кілометрів).

Еталонна **точка V** – це інтерфейс для з'єднання з іншими комутаторами. Цей інтерфейс цікавить тільки оператора мережі ISDN.

Основним призначенням N-ISDN є передавання телефонного трафіку. Тому за основу адреси ISDN було взято формат міжнародного телефонного плану номерів, описаного у Рекомендації E.163 (ITU-T). Для підтримки більшої кількості абонентів і для використання адрес інших мереж, наприклад X.25, формат було розширено. Стандарт адресації в мережах ISDN отримав номер E.164.

У мережах ISDN розрізняють номер абонента та адресу абонента. Номер абонента відповідає точці T під'єднання всього призначеного для користувача устаткування до мережі. Наприклад, уся офісна МІНІ-АТС може ідентифікуватися одним номером ISDN.

Номер ISDN складається з 15 десяткових цифр та містить, як і телефонний номер, за стандартом E.163 поле "Код країни" (від 1 до 3 цифр), поле "Код міста" і поле "Номер абонента". Адреса ISDN містить номер плюс до 40 цифр підадреси. Підадресу використовують для нумерації термінальних пристроїв за інтерфейсом користувачів, тобто під'єднаних до шинного інтерфейсу – точки S.

### ***Широкосмугова ISDN***

Накопичений досвід зі створення та експлуатації вузькосмугових ISDN, у яких застосовано канали передавання 64 кбіт/с, а також подальший розвиток технологій засобів зв'язку та обчислювальної техніки, волоконно-оптичних кабелів, уможливили створення широкосмугової ISDN (B-ISDN), яка використовує швидкість передавання каналом вищу від 2 Мбіт/с. B-ISDN таким чином забезпечила

інтеграцію більш широкого спектру видів зв'язку, зокрема кабельне телебачення.

Концепцію побудови В-ISDN було подано ІТU-Т в Рекомендації І.121. У ній задекларовано такі аспекти, як принципи побудови В-ISDN, види широкопasmового сервісу, особливості організації інтерфейсів «користувач-мережа» та «мережа-мережа», використання технології АТМ як основної транспортної технології, сполучення В-ISDN з N-ISDN.

На рисунку 8.3 наведено концептуальне уявлення В-ISDN.

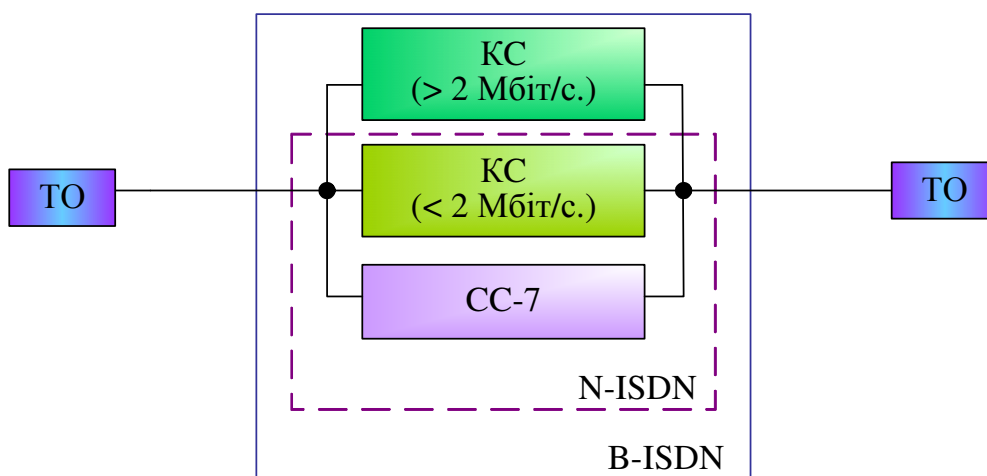


Рисунок 8.3. Концептуальне уявлення В-ISDN

В-ISDN містить широкопasmові (понад 64 кбіт/с) і вузькопasmові (64 кбіт/с) інформаційні канали та відповідні комутаційні системи (Ш-КC і У-КC), а також систему сигналізації СС-7. Легко зрозуміти, що вузькопasmові інформаційні канали й комутаційні системи в поєднанні з системою сигналізації СС-7, утворюють вузькопasmову ISDN.

У деяких експериментальних системах В-ISDN як систему керування застосовано не тільки СС-7, а й усю N-ISDN.

### ***Види широкосмугового сервісу***

Для широкосмугових видів сервісу рекомендаціями ІТУ-Т (Рекомендація І.362) передбачено чотири класи сервісу (А, В, С, D).

Як зображено у таблиці 8.1, найбільш жорстким вимогам до передавання інформації відповідає клас А. У цьому класі треба забезпечувати сталу швидкість передавання, що є необхідним, наприклад, для телефонії, телебачення. Якщо, передаючи відеоінформацію або дані, можна допустити змінну швидкість без втрати якості, то доцільним буде клас В. Класи С і D, у першу чергу, можна використовувати для передавання даних не в реальному масштабі часу, наприклад, для інформації в режимі електронної пошти. Клас D, визначений рекомендаціями ІТУ-Т (F.812, І.211, І.327, І.362 - І.364), застосовують для зв'язку локальних обчислювальних мереж (ЛОМ).

Таблиця 8.1

<b>Характеристика виду сервіса</b>	<b>Технічні характеристики класа сервісу</b>			
	<b>А</b>	<b>В</b>	<b>С</b>	<b>Д</b>
Узгодження часу взаємодії між джерелом та користувачем	Потребує	Потребує	Не потребує	Не потребує
Швидкість передавання	Постійна	Змінна		

## *Еталонна конфігурація інтерфейсу “користувач-мережа”*

Еталонну конфігурацію N-ISDN з невеликими змінами та доповненнями визнано також придатною для B-ISDN, що закріплено Рекомендацією I. 413 (ITU-T).

Еталонну конфігурацію інтерфейсу “користувач-мережа” для B-ISDN наведено на рис. 8.4.

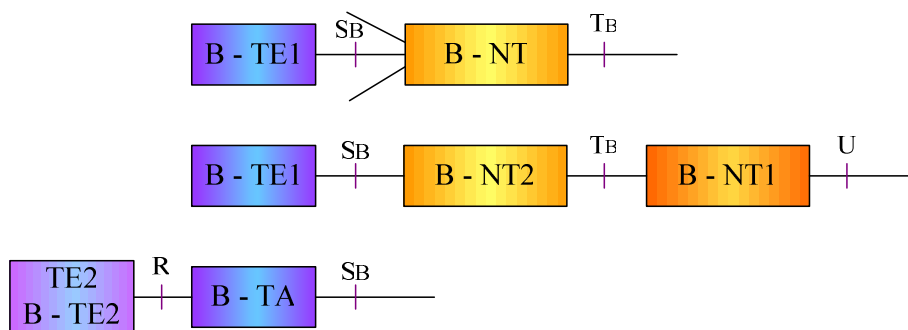


Рисунок 8.4. Еталонна конфігурація інтерфейсу «користувач-мережа» для B-ISDN

Широкосмугові термінали B-TE1 (Broadband Terminal Equipment) під'єднують до широкосмугового мережевого закінчення B-NT, яке забезпечує під'єднання терміналів до мережі АТМ, а також можливість спільного використання абонентської лінії декількома B-TE1. Можливим є також поділ B-NT на два типи мережевих закінчень:

- **B-NT1**—широкосмугове мережеве закінчення для під'єднання терміналів зі стандартним для B-ISDN інтерфейсом;

- **B-NT2** – широкосмугове мережеве закінчення для під'єднання терміналів з нестандартним для B-ISDN інтерфейсом.

У B-ISDN виділяють, за аналогією до N-ISDN, інтерфейсні еталонні точки доступу: R, SB, TB та еталонну точку доступу до широкосмугової абонентської лінії – UB.

На відміну від N-ISDN, де використовують шинну структуру під'єднання абонентських терміналів за S-інтерфейсом, у B-ISDN застосовують структуру під'єднання «зірка» за SB-інтерфейсом до мережевого закінчення B-NT.

Мережеве закінчення B-NT2 виконує функції як фізичного рівня, так і більш високих рівнів моделі OSI, основними серед яких є адаптація до різних інтерфейсів фізичних середовищ (мідь, оптичне волокно) й топологій, мультиплексування або концентрація трафіку джерел, контроль параметрів користувача, керування протоколами сигналізації та ін. Мережеве закінчення B-NT2 може бути відсутнім за умов, коли можливим є пряме з'єднання терміналу B-TE1 з широкосмуговим мережевим закінченням B-NT1. Еталонна точка TB є інтерфейсом між B-NT2 і B-NT1.

У комутаційній системі забезпечується комутація як широкосмугових, так і вузькосмугових каналів (для N-ISDN). Широкосмуговий доступ орієнтовано на стандартні швидкості передавання 155 Мбіт/с і 622 Мбіт/с. У еталонних точках SB і TB підтримуються всі види широкосмугового сервісу.

Інтерфейс зі швидкістю 155 Мбіт/с допускає використання як асинхронного, так і синхронного методу мультиплексування, передбачено передавання як окремих

комірок, так і їх груп, об'єднаних в кадри, з під'єднанням міжкадрових блоків синхронізації.

Аналогічно, шляхом об'єднання чотирьох інтерфейсів зі швидкістю передавання 155 Мбіт/с, організовано інтерфейс, який підтримує швидкість 622 Мбіт/с.

Сигнальна інформація та інформація користувачів передаються по окремих віртуальних каналах. Сигнальне повідомлення із запитом на налаштування віртуального каналу може додатково містити статистичні параметри потоку інформації, що передається та необхідну якість обслуговування.

### *Еталонна модель протоколів B-ISDN*

Розбиття на рівні (рівнева архітектура) є центральною ідеєю створення будь-якої протокольної моделі і еталонної моделі протоколів B-ISDN зокрема. Загальний вигляд еталонної моделі протоколів на технології ATM подано на рисунку 8.5.

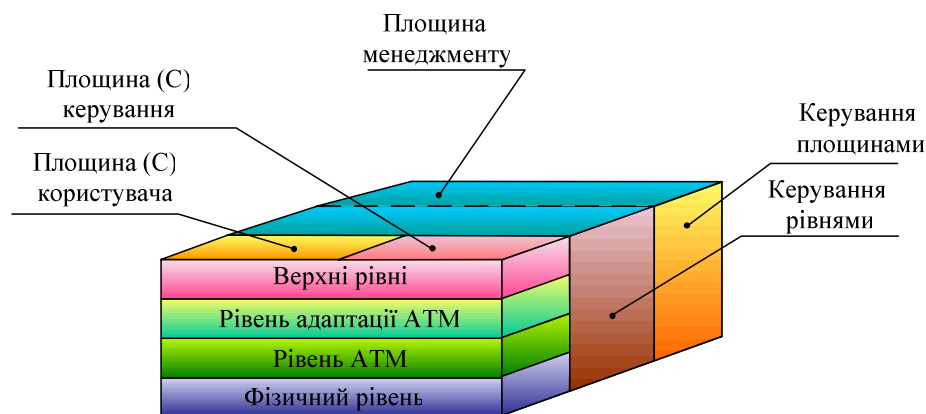


Рисунок 8.5. Еталонна модель протоколів B-ISDN



Відповідно до Рекомендації I.321 (ITU-T), модель містить у собі три площини: площину користувача, площину керування й площину менеджменту.

**Площина користувача (U-plane)** забезпечує транспортування всіх видів інформації з відповідними механізмами захисту від помилок, контролю й керування потоком, обмеження навантаження та ін. Площина користувача має рівневу структуру.

**Площина керування (C-plane)** визначає протоколи налаштування, контролю й роз'єднання з'єднань; виконує функції сигналізації. Площина керування також має рівневу структуру.

**Площина менеджменту (M-plane)** забезпечує виконання функцій двох типів: адміністративне керування площинами й рівнями. Адміністративне керування площинами здійснює координацію між усіма «гранями» моделі протоколів і всієї B-ISDN, пов'язуючи її в єдине ціле. Сфера керування площинами не має рівневої структури.

Функціями керування рівнями є розподілення мережевих ресурсів, узгодження їх з параметрами трафіку, оброблення інформації експлуатації та технічного обслуговування, керування мережею. Керування рівнями має рівневу структуру.

Опції рівневої еталонної моделі протоколів B-ISDN визначено в Рекомендаціях I.321 і I.413 (ITU-T). Перші три рівні – це фізичний рівень; рівень АТМ, де відбувається структурування комірок; рівень адаптації АТМ, який підтримує послуги більш високого рівня (такі, як емуляцію каналів, високу швидкість передавання даних без налаштування з'єднання, ретрансляцію кадрів тощо).

Фізичний рівень відповідає першому рівню еталонної моделі OSI/ISO, рівень ATM і частина рівня адаптації ATM відповідають другому рівню OSI/ISO та вищим.

Мережі В-ISDN на основі технології ATM розраховано на використання в локальному секторі, міських і глобальних мережах для передавання різних видів трафіку: аудіо, відео на вимогу, телебачення високої чіткості. В-ISDN фактично є першою мультисервісною мережею.

### **8.3. Концепція інтелектуальної мережі (IN)**

Поява комутаційних систем з програмним керуванням започаткувала наступний етап розвитку телекомунікацій, зокрема телефонії. Наявність програмного керування в комутаційних системах дала змогу реалізувати нову, в порівнянні з попередніми мережевими концепціям, *функціональну модель мережі*. Якщо в раніше розглянутих концепціях основні функції мережі було зосереджено в комутаційному вузлі, монолітному функціональному модулі, то тепер з'явилася можливість відокремити *функції керування з'єднаннями* від *функцій пов'язаних з логікою формування послуг* і, таким чином, відобразити функціональну модель мережі *дворівневою архітектурою* (див. рис. 8.6). Це, у свою чергу, дозволило реалізувати зазначені функції в окремому обладнанні та забезпечити до нього віддалений доступ з метою спільного використання всіма комутаційними вузлами мережі зв'язку.

Програмну реалізацію принципу формування послуг, серед яких, наприклад, переадресація виклику, обмеження потоку викликів, телефонні картки та ін., можна розглядати як наділення мережі «інтелектуальністю».



Рисунок 8.6. Архітектура інтелектуальної мережі

ITU-T у Рекомендаціях Q. 1201 і Q. 1290 дає таке визначення терміна «інтелектуальна мережа».

**Інтелектуальна мережа** (Intelligent Network, IN) є архітектурною концепцією, яку застосовують для *мереж електрозв'язку, передбачає чітко визначений набір гнучковикористовуваних засобів, які сприяють створенню та долученню в мережі зв'язку нових послуг, зокрема послуг, керованих користувачем.*

Концепція IN, таким чином, встановлює набір правил, відмінною рисою яких є те, що вони не залежать від створюваної послуги й від структури мережі, яка надає цю послугу. Більшу частину логіки, що є частиною програмного забезпечення АТС, для реалізації інтелектуальної мережі перенесено на невелику кількість спеціалізованих комп'ютерів. Послуги IN підтримуються шляхом інформаційного обміну між комутаційними станціями, зазначеними комп'ютерами та деякими іншими спеціалізованими пристроями (призначення яких розглядатимемо далі). Концепцію IN у принципі можна реалізувати також у аналоговій мережі, але її реалізація на базі цифрової інтегрованої мережі є значно ефективнішою.

## Елементи мережі

На рисунку 8.7 зображено структурну модель інтелектуальної мережі, яку складають компоненти ІN і зв'язки між ними.

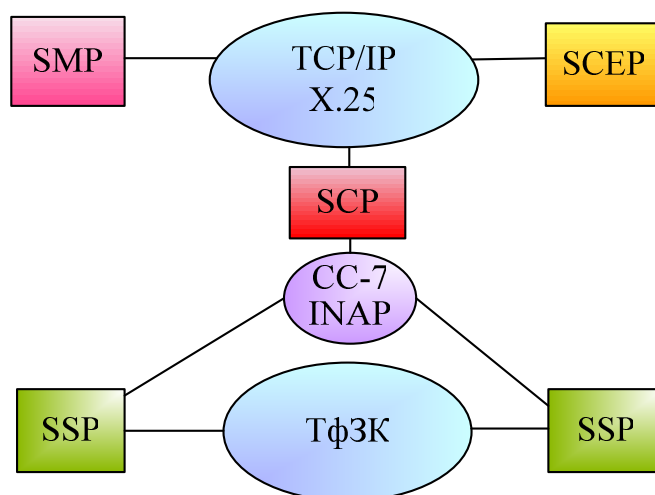


Рисунок 8.7. Структурна модель інтелектуальної мережі

**SSP (Service Switching Point) – вузол комутації послуг,** який є звичайною комутаційною станцією, в якій збережено всі функції керування процесом надання основних послуг зв'язку та додаткові програмні засобами, котрі надають змогу підтримувати діалог з абонентом (запрошення абонента до набору додаткових цифр, розпізнавання мови і т.д.). SSP з'ясовує, чи вимагає прийнятий ним від абонента виклик звернення до послуг ІN, а у разі потреби спрямовує відповідний запит у вузол керування послугами SCP. Таким чином, SSP забезпечує доступ абонентів мережі зв'язку до послуг ІN та підтримує протоколи взаємодії з іншими

елементами IN. Запити на послуги передають мережею **СС-7**, використовуючи спеціальний протокол прикладного рівня **INAP** (Intellegent Network Application Protocol), який визначає синтаксис та семантику операцій, призначення та порядок їх оброблення. Цей протокол прикладного рівня, який підтримує система **СС-7**, забезпечує взаємодію між прикладними процесами у вузлах IN.

**SCP** (Service Control Point) – **вузол керування послугами**, який містить програми, що централізовано реалізують логіку послуг, системне програмне забезпечення, а також базу даних реального часу. **SCP** приймає запит від **SSP** та направляє йому інструкції для подальшої обробки дзвінка відповідно до необхідної послуги.

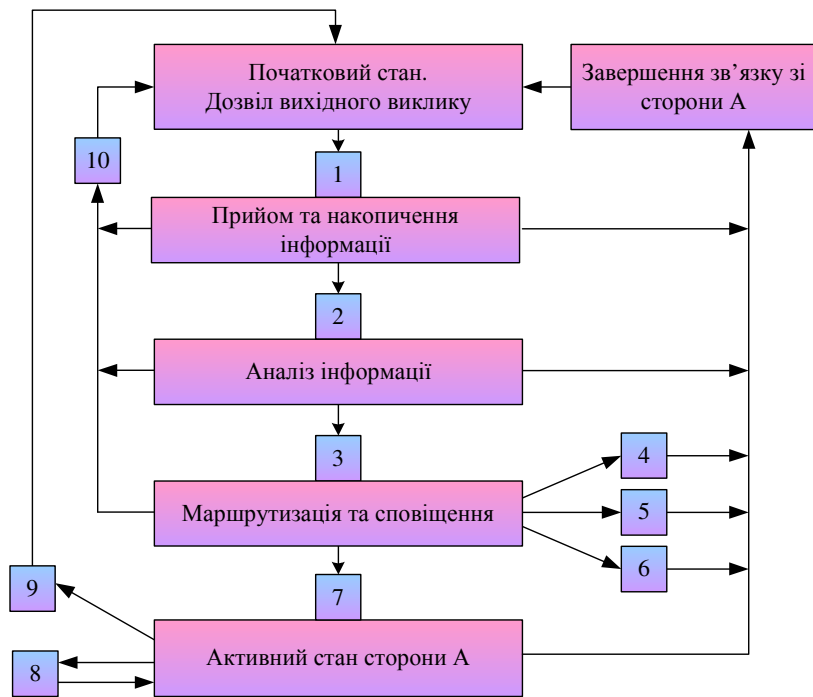
**SMP** (Service Management Point) – **система експлуатаційного керування** та **SCEP** (Service Creation Environment Point) – **середовище створення послуг** надають змогу оператору мережі контролювати та керувати параметрами й конфігурацією послуг IN. Середовище створення послуг містить засоби конструювання, модифікації та тестування послуг до початку комерційної експлуатації та засоби завантаження відповідних програм у **SMP**. **SMP** забезпечує експлуатаційне керування наявними послугами, підготовкою нових послуг і їх долученням. У якості протоколів взаємодії між **SMP**, **SCEP** і **SCP** використовують **X.25** і стек **TCP/IP**.

### *Модель обслуговування IN-виклику*

Модель IN-виклику детально описано в Рекомендації МСЕ Q.1214. Вона складається з двох частин: модель вихідної сторони (А) та модель вхідної сторони (В). На рисунку 8.8 показано модель IN-виклику для вихідної сторони (А). Модель вхідної сторони (В) є подібною.

Модель містить послідовність точок, які відображають фази станів базового процесу, виконуваного комутаційною станцією під час налаштування з'єднання, через які проходить процес обслуговування виклику з моменту, коли абонент зняв слухавку, до закінчення сеансу зв'язку. Між точками базового процесу можуть бути точки звернень до послуг IN або подій, які становлять інтерес з точки зору логіки послуги IN. Ці точки називають «**тригерними точками**». Якщо в процесі обслуговування виклику виявлено активну тригерну точку, то процес призупиняється до того часу, поки SSP і SCP не завершать обмін інформацією, в результаті якого визначаються параметри наступного стану базового процесу.

Модель IN-виклику є надзвичайно важливим елементом інтелектуальної мережі та принципово відрізняється від раніше впроваджених моделей, у яких оброблення виклику комутаційна станція здійснювала від початкового до кінцевого стану без зупинки. Зауважимо, що для впровадження концепції ISDN необхідними є дорогі ISDN-апарати, які здатні безпосередньо замовляти додаткові послуги. У концепції IN логіку послуги розміщено в загальномережевому вузлі керування послугами (SCP), а абонент повинен мати тільки телефонний апарат з тональним набором для „спілкування” з механічним голосом за командою SCP.



Тригерні точки:

- 1 Вихідний виклик дозволено
- 2 Інформація накопичена
- 3 Інформація проаналізована
- 4 Маршрут не знайдено
- 5 Зайнята сторона, що викликається
- 6 Сторона, що викликається, не знайдена
- 7 Відповідь сторони, що викликається
- 8 Втручання у фазу розмови сторони А
- 9 Роз'єднання сторони А
- 10 Відмова від зв'язку сторони А

Рисунок 8.8. Модель ІN-виклику для вихідної сторони

## Концептуальна модель IN

Концепцію інтелектуальної мережі описано в Рекомендації ІТУ-Т серії Q.12xx. Зокрема, концептуальну модель IN подано архітектурою, яка відображає концепцію IN у різних площинах, котрі розкривають різний ступінь деталізації (див. рис. 8.9).

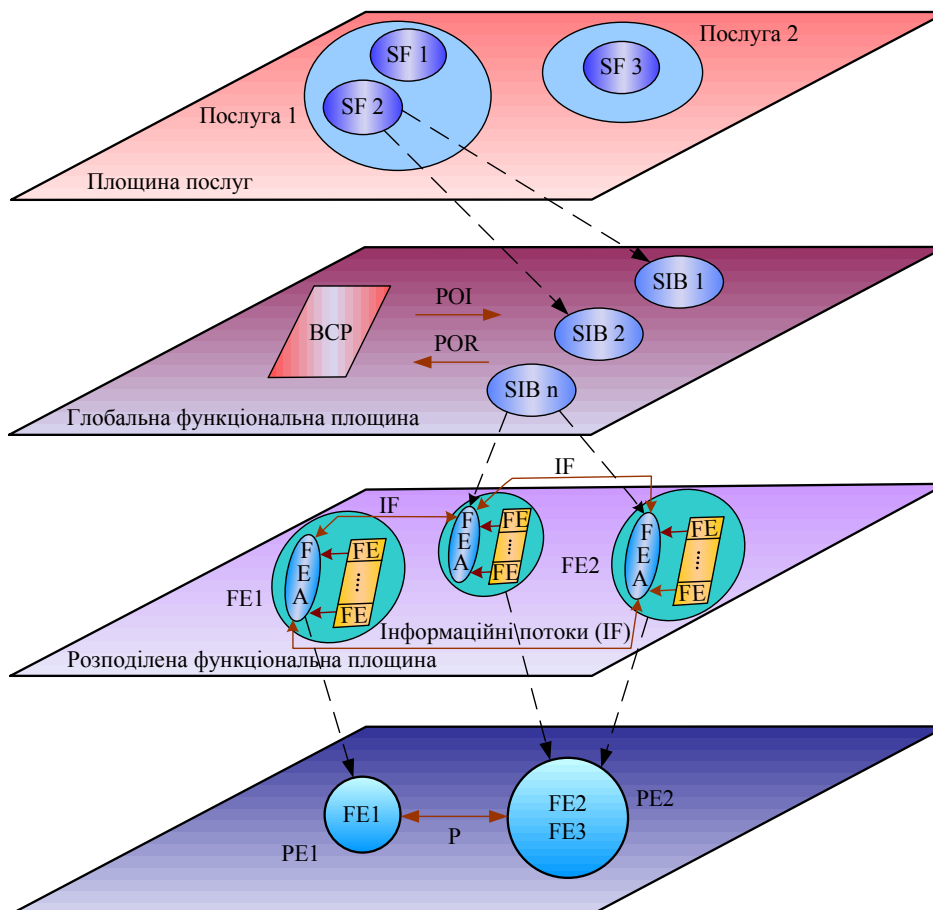


Рисунок 8.9. Концептуальна модель IN

Модель містить чотири розташованих одна над іншою площини, кожна з яких є абстрактним поданням (зі своїм



ступенем деталізації) тих можливостей, якими володіє інтелектуальна мережа.

Зміни, пов'язані з тією або іншою послугою функції, відображено на кожній площині відповідними об'єктами, причому функціональні об'єкти сусідніх площин заданим способом співвідносяться один з одним.

За допомогою поданої концептуальної моделі можна проектувати послуги та моделювати їх подання для мереж IN, які мають різну структуру та різні принципи організації. Розглянемо більш детально, чим відрізняються площини моделі та яким є їх призначення.

**Площина послуг.** Верхня площина моделі репрезентує послуги так, як їх сприймає кінцевий користувач. Таке подання не містить інформації про способи та деталі реалізації послуги в мережі. Окрім того, на цій площині видно, що послуга компонується з однієї або декількох різних стандартизованих складових. Кожну з цих складових користувач сприймає як один із атрибутів послуги. Стандартом визначено як сукупність таких складових, так і правила їх використання.

**Глобальна функціональна площина** відображає мережу IN у вигляді єдиного функціонального об'єкта. На цій площині подано незалежні від послуг функціональні блоки, узагальнено названі «*конструктивними блоками*» (Service Indepebded building Block, **SIB**). Одним із таких блоків (SIB) є блок, який реалізує *базовий процес обслуговування виклику* (Basic Call Process, **BCP**). Він виконує традиційні для звичайної комутаційної станції функції, а саме: налаштування з'єднання, роз'єднання, зберігання оперативних даних, а також

здатен, виявляючи запити послуги IN, звертатися до інших блоків. Звернення ВСР до інших SIB відбувається за допомогою логічного інтерфейсу, так званої **точки ініціалізування** (Point of Initiation, **POI**). Після завершення процесу надання послуги IN (у іншому блоці), відбувається повернення в ВСР, який продовжує роботу, використовуючи дані, отримані після повернення. Повернення здійснюється через інший логічний інтерфейс, який називають *точкою повернення* (Point of Return, **POR**).

Необхідність специфікації точок POI та POR зумовлена тим, що одна й та ж сукупність SIB може надавати абсолютно різні послуги залежно від того, з яких точок ВСР здійснено запит.

**Розподільча функціональна площина** відображає те, як реалізацію послуги IN шляхом розподілення здійснюють програмні засоби. Кожен об'єкт (Functional Entity, **FE**) на цій площині може виконувати декілька призначених ньому дій.

Блоки SIB подано на розподільчій функціональній площині у вигляді послідовності дій, які виконують об'єкти FE. Деякі з таких дії пов'язані з обміном інформацією між FE, що відображено на цій площині у вигляді інформаційних потоків.

**Фізичну площину** відображають фізичні елементи мережі (Physical Entity, **PE**), в якій реалізується концепція IN. Такими PE можуть бути комутаційні станції, спеціалізовані комп'ютери або бази даних. На фізичній площині показано також, у яких PE розміщено ті чи інші FE.

Підсумовуючи вищевикладене, можна сказати, що концептуальна модель IN є засобом для розмежування етапів

проектування послуг та послідовності дій на кожному з них. Моделюючи процедури керування зв'язками користувачів на розподільчій функціональній та фізичній площинах цієї моделі, можна проаналізувати та порівняти можливі варіанти архітектури ІN з урахуванням їх економічної доцільності та ефективності функціонування.

Декларований у стандартах для ІN принцип незалежності її архітектури від типу мережі зв'язку є чинним, оскільки міжнародними стандартами однозначно визначено функціональні модулі платформи ІN та взаємозв'язку між компонентами ІN. Однак відповідь на питання про те, якій частині абонентів мережі загального користування є доступними послуги ІN, залежить від принципу організації доступу до платформи ІN, а також від кількості на мережі цифрових комутаційних станцій, способів маршрутизації, систем сигналізації та ін.

Упровадження ІN, як довів світовий досвід, стримує висока вартість програмно-апаратних засобів для побудови платформи ІN і невизначеність попиту на послуги ІN. Передбачено, що спільне використання В-ISDN і ІN, надасть змогу вирішити цю проблему.

#### **8.4 Концепції керування мережами (TMN і TINA)**

Функції керування мережею займають особливе місце в межах узагальненої функціональної моделі мережі, оскільки робота будь-якої мережі є неможливою без обслуговування, а отже, керування на різних рівнях. Функції керування є певною надбудовою над усіма іншими функціями мережі, а тому

породжують відносно самостійні концепції їх реалізації. На даний момент запропоновано та апробуються дві концепції реалізації функцій керування: *концепція мережі керування телекомунікаціями (TMN)* та *архітектура мережевого інформаційного забезпечення телекомунікацій (TINA)*.

Керування мережею ґрунтується на зборі статистики про проходження сигналів та неординарні або аварійні ситуації, які виникають, тестуванні стану елементів на різних ділянках мережі. Ці функції неможливо здійснити без сигналізації про стани систем (вихід з ладу елементів систем передавання або систем комутації).

### ***Основні положення концепції TMN***

Для передавання службових сигналів у системі керування необхідним є спеціальні службові канали, які з'єднують пункти системи керування та керовані елементи мережі. Для вирішення цього завдання було розроблено модель спеціалізованої мережі, яка відображає відповідні функціональні блоки й схему їх взаємодії, канали керування та типи інтерфейсів зв'язку, необхідні для реалізації функцій керування на різних ділянках мережі. Така модель отримала назву «**концепція мережі керування телекомунікаціями**» (Telecommunications Management Network, **TMN**). Завданнями TMN є такі:

- забезпечувати можливості використовувати різні стратегії керування й ступені розподілення функцій керування;

- реалізовувати керування різнорідними мережами, обладнанням та послугами в телекомунікаційному середовищі;
- забезпечувати функціонування структур ізольованого типу, в яких функції керування можуть здійснюватися автономно;
- швидко адаптовуватися до технологічних і функціональних змін у телекомунікаціях;
- гарантувати безпеку та цілісність інформації у процесі виконання функцій керування.

Концепція TMN, відповідно до Рекомендації M.3010 ITU-T, підтримує такі рівні керування:

- рівень адміністративного керування (**B-OSF**);
- рівень керування обслуговуванням (**S-OSF**);
- рівень керування мережею (**N-OSF**);
- рівень керування елементами (**NE-OSF**);
- рівень мережевих елементів (**NEF**).

Аналізуючи загальну архітектуру TMN, виокремлюють *функціональну, інформаційну та фізичну* архітектури мережі.

**Функціональна архітектура TMN** базується на функціональних блоках (ФБ), які забезпечують загальні функції TMN і взаємодіючих між собою у мережі ПД через опорні (інтерфейсні) точки. Функціональні блоки TMN можуть бути розташовані як у межах мережі керування, так і поза нею, серед яких основними є блоки:

- операційної системи (Operations System - **OS**), яка обробляє інформацію керування телекомунікаціями для контролю, координації та керування функціями зв'язку, а також функції самої TMN. Ці ФБ формують ядро TMN;
- елементів мережі (Network Element - **NE**), пов'язаних з TMN як об'єкти контролю і керування, хоча вони не є частиною TMN;
- робочої станції (Work Station – **WS**), що забезпечує засоби для подання інформації TMN. WS організовує інтерфейс між системою керування та персоналом;
- проміжного пристрою сполучення або медіатора (Mediation - **M**), що обробляє інформацію, яка проходить між **OS** і **NE**;
- Q-адаптера (Q-Adapter – **QA**) для під'єднання зовнішніх відносно TMN опорних точок з інтерфейсами  $Q_x$  і  $Q_3$  до опорних точок TMN та здійснює взаємодію з мережевими елементами або операційними системами, які мають непередбачені в TMN інтерфейси.

Визначення функціональних блоків і опорних точок між ними вимагає специфікації інтерфейсів, які застосовують в TMN. Інтерфейси, рекомендовані для TMN, показано на рисунку 8.10.

Q-інтерфейс існує між двома TMN - блоками, які знаходяться в одному TMN-домені.  $Q_x$  переносить інформацію, якою обмінюються MD і DCN.

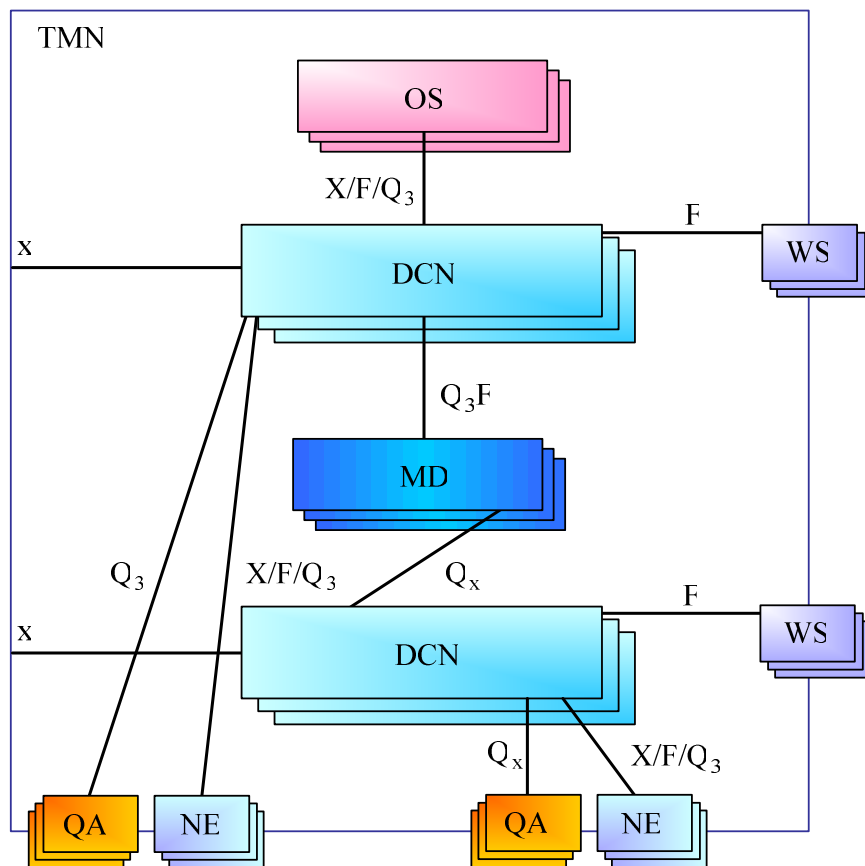


Рисунок 8.10. Інтерфейси, застосовувані в TMN

F-інтерфейс – це інтерфейс між WS і OS та між WS і MD.

X-інтерфейс – це інтерфейс між двома OSs, що знаходяться в розділених доменах TMN або OS та іншої OS, яка знаходиться поза TMN.

Через  $Q_x$ -інтерфейс взаємодіють блоки NE та MD; QA та MD; MD та MD. Будь-який функціональний блок, який взаємодіє з OS, використовує  $Q_3$  інтерфейс.

Інтерфейси TMN міжопераційні, тобто є формально певним набором протоколів, процедур, форматів повідомлень і

семантики, які використовують для передавання інформації керування.

Для розмежування функціональних блоків застосовують принцип *опорної точки*. Опорна точка визначає межі послуг між двома функціональними блоками. На рисунку 8.11 наведено опорні точки TMN.

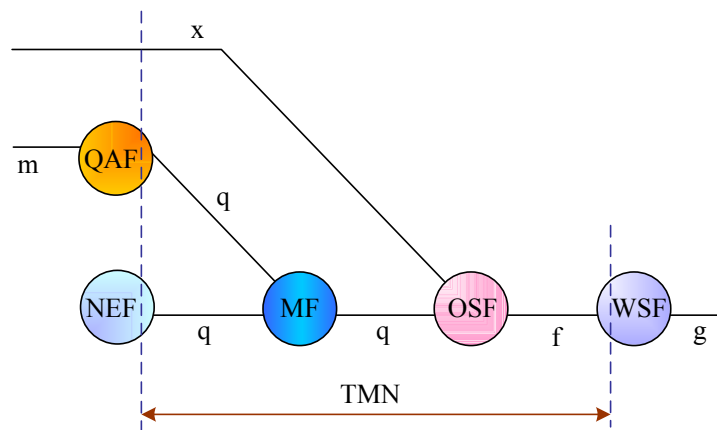


Рисунок 8.11. Опорні точки TMN

Рекомендаціями ITU-T визначено три типи опорних точок:

- **q** – між функціями операційної системи (**OSF**), функціями Q-адаптера (**QAF**), функціями медіатора (**MF**) і функціями мережевого елемента (**NEF**);
- **f** – для приєднання функцій робочої станції (**WSF**);
- **x** – між функціями **OSF** двох TMN або між функцією **OSF** однієї TMN та еквівалентної функцією **OSF** іншої мережі.



**Функціональна архітектура TMN** і вхідні в неї опорні точки визначають рамки завдань у розробці вимог для специфікації інтерфейсів TMN.

**Інформаційна архітектура TMN** ґрунтується на принципах керування, характерних для моделі взаємодії відкритих систем та таких, які базуються на *об'єктно-орієнтованому підході*. Об'єктно-орієнтовані принципи застосовують лише до інтерфейсів, через які взаємодіють пов'язані системи керування, вони не повинні обмежувати внутрішню реалізацію цих систем. Інформаційний обмін описують термінами керованих об'єктів, котрі розглядаються як деякі ресурси, над якими здійснюють керування. Таким чином керований об'єкт є абстракцією ресурсу, що відображає його властивості з точки зору керування. Керований об'єкт може бути також комбінацією ресурсів (мережа). Можуть існувати керовані об'єкти, які репрезентують логічні ресурси TMN, а не ресурси мережі електрозв'язку.

Керування мережею зв'язку – це *прикладний інформаційний процес*. Оскільки кероване середовище є розподіленим, виникає необхідність організувати обмін інформацією між процедурами керування. Інформаційна модель керування визначає сферу, в якій обмін здійснюється стандартними способами на прикладному рівні, а також охоплює різні прикладні функції керування, такі, як зберігання, пошук та обробка інформації. Функції, застосовані на цьому рівні, називають **блоками функцій TMN**.

Для керування об'єктами запропоновано структуру "адміністратор-агент". Адміністратор видає вказівки й отримує повідомлення про їх виконання. Агент керує

взаємопов'язаними з ним об'єктами, подає адміністратору вигляд цих об'єктів та повідомляє про їх стан. Один адміністратор може брати участь у обміні інформацією з багатьма агентами, в цьому випадку необхідною є синхронізація вказівок. Один агент також може взаємодіяти з декількома адміністраторами та отримувати кілька вказівок одночасно. Весь обмін інформацією між адміністратором і агентом реалізується шляхом використання послуг загальної інформації керування (CMIS) та протоколу (CMIP), визначених у Рекомендаціях X.170, X.711 (ITU-T).

У TMN для збору інформації від агентів адміністратор використовує метод упорядкованого опитування. Агенти зберігають зібрану статистичну інформацію у своїх базах даних **МІВ** (Management Information Base). Структуру МІВ, зазвичай, зображують у вигляді ієрархічно організованого дерева **МІТ** (Management Information Tree). На верхніх рівнях МІТ розташовано найбільш важливі атрибути, які детальніше характеризуються атрибутами нижніх рівнів **МІТ**.

Організаційні вимоги до керування містять у собі поділ сфери керування на кілька функціональних, таких, як безпека інформації, нарахування оплати, усунення пошкоджень у межах кожної групи керованих об'єктів. Сфери керування можуть *бути окремими, взаємодіючими, автономними або перекривати одна одну*. Останні залучають у тому випадку, якщо один або декілька об'єктів одночасно належать до декількох сфер.

Спрощену **фізична архітектура TMN** показано на рисунку 8.12. Вона містить компоненти, які є фізичною реалізацією функціональних блоків і мережі передавання даних, а також інтерфейси, призначені для взаємодії між ними.

Медіатори, які виконують проміжну обробку та зберігання даних і перетворення протоколів, не є необхідними компонентами, тому що їхні функції можуть реалізовувати безпосередньо в мережевих елементах Q-адаптери. Кожна з опорних точок фізично реалізується у вигляді відповідного інтерфейсу.

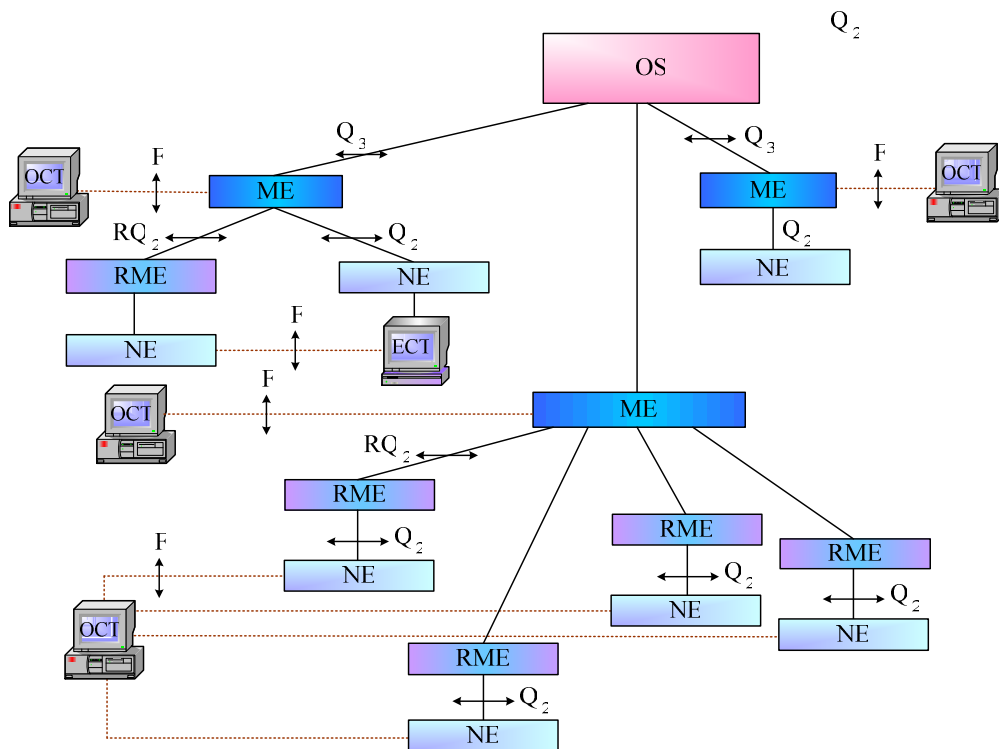


Рисунок 8.12. Спрощена фізична архітектура TMN

**Мережа передавання даних** – це телекомунікаційна мережа у межах TMN. Функцію передавання даних DCF використовують функціональні блоки для обміну інформацією, вона забезпечує маршрутизацію, переприймання й взаємодію, засоби для транспортування інформації, яка

належить до керування електрозв'язком між блоками функцій керування на 1-3 рівнях еталонної моделі OSI/ISO. **DCF** може складатися з ряду мережевих сегментів різних типів (WAN, MAN, LAN, мереж системи сигналізації за ОКС № 7 або вбудованих каналів зв'язку синхронної цифрової ієрархії). Взаємодія між різними поєднаними підмережами здійснюється також за допомогою **DCF**.

Доступ до TMN від зовнішніх джерел може бути необхідний у процесі взаємодії з іншими мережами TMN або з користувачами мережі. Необхідність взаємодії з іншими TMN виникає тоді, коли треба забезпечити з'єднання з кінця в кінець у процесі проходженні декількох різнорідних сегментів мережі. Часто це пов'язано з наданням інформації для іншої TMN і частково – з її керуванням. Доступ користувача до TMN дає змогу керувати й мати зворотний зв'язок. При такому доступі передбачається, що послуги керування для користувача забезпечують постачальники послуг, а доступна інформація належить винятково до функцій керування TMN.

Між TMN і користувачем зовнішнього доступу може відбуватися обмін інформацією керування двох видів: тією, яка стосується специфічного інтерфейсу або специфічної лінії (наприклад шлейфу за запитом користувача) або тієї, яка стосується подій на різних лініях і послугах, доступних користувачеві. В останньому випадку обмін інформацією керування відбувається централізовано в точці x на з'єднанні між двома TMN або TMN і мережею користувача. Для цього необхідно забезпечити користувачів спільним доступом до операцій керування послугами зв'язку, разом з такими, як безпека доступу й перетворення протоколів.

## ***Основні положення концепції TINA***

Концепція TINA (Telecommunications Information Networking Architecture) є інтегрованою архітектурою мережевого інформаційного забезпечення телекомунікацій, яку застосовують до будь-яких типів послуг та мереж, але спрямованою вона є, в основному, на підтримку надання *широкосмугових послуг, послуг мобільності та інформаційних послуг*.

Концепцію TINA розроблено консорціумом, до якого ввійшли 40 компаній – лідерів телекомунікаційного та комп'ютерного ринку. Вона розглядалася як головний інструмент конвергенції основних телекомунікаційних напрямків B-ISDN, TMN і IN.

Від B-ISDN TINA запозичила принцип розподілення завдань керування транспортуванням інформації користувачів та керування з'єднанням. Від TMN було взято принцип поділу на рівні експлуатаційного (адміністративного) керування. Від інтелектуальної мережі IN TINA запозичила ідею відокремлення функцій надання послуг від функцій комутації, а також принципи функціонального моделювання. Аналогічно до принципів IN, відповідно до яких логіка керування послугами та певні бази даних вилучено з комутаційних систем, принципи TINA дають змогу виокремити з них ще й функції послуг комутації разом з тригерними таблицями.

Актуальність концепції TINA була обумовлена потребою розробників телекомунікаційного обладнання в такій архітектурі, яка дасть змогу:

- уніфікувати засоби й способи керування різнорідними мережами;
- спільно використовувати вже наявні та ті, що перебувають у стадії розробки, засоби зв'язку;
- поєднати переваги традиційних систем комутації й широкосмугових мереж та Інтернету.

TINA є модульною, об'єктно-орієнтованою архітектурою керування, яка дає змогу конструювати послуги, мінімально зосереджуючись на фізичних конфігураціях, у яких вони будуть реалізовані. Це забезпечує гнучкість розміщення функцій керування послугами між терміналом користувача й мережевими елементами. (Нагадаємо, що «об'єктами» називають функції мережі, реалізовані програмно).

У концепції TINA комутаційні системи подано як набір простих функцій комутації, керованих об'єктами, які розміщені в терміналах і/або на серверах, сумісних із так званим **середовищем розподіленого оброблення** (Distributed Processing Environment, **DPE**). Останнє підтримується кожним мережевим вузлом, тобто розподіляє програмні компоненти по різних частинах мережі відповідно до вимог користувача та реальних мережевих можливостей (характеристики трафіку, завантаження мережі, надійність).

Архітектура TINA передбачає поділ застосовань і середовища DPE, яке підтримує їх функціонування (див. рис. 8.13). Крім того, TINA розподіляє все програмне забезпечення на застосовання, які забезпечують послуги, й застосування, які забезпечують загальний контроль мережевих ресурсів та керування ними.

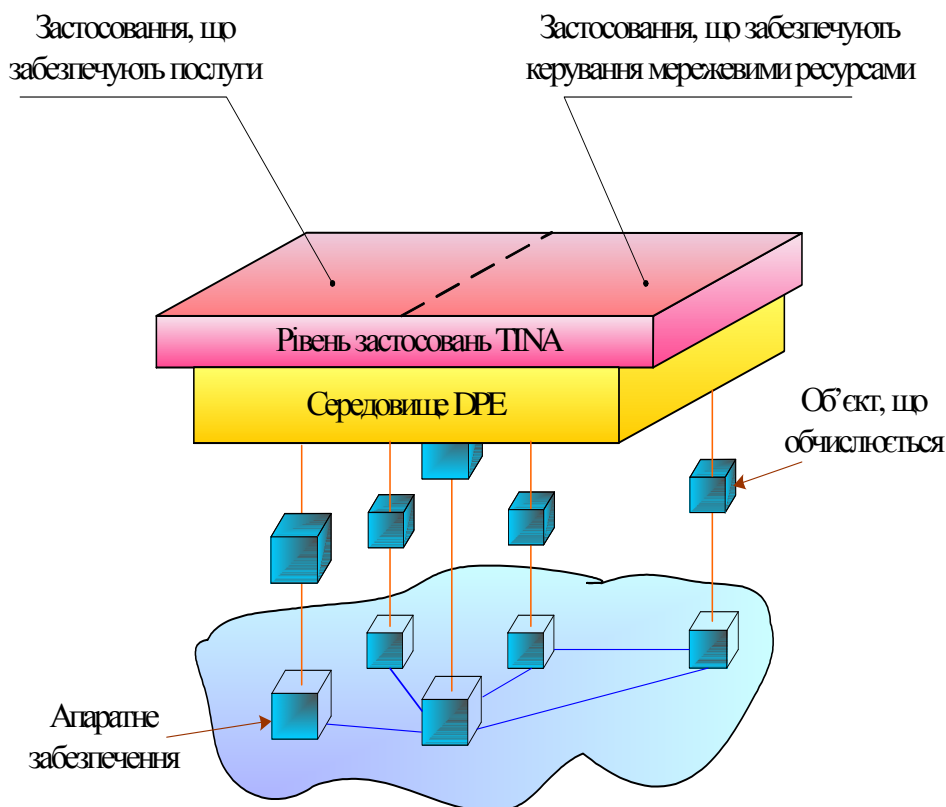


Рисунок 8.13. Архітектура TINA

Послуги в TINA моделюються шляхом взаємодії обчислювальних об'єктів, які містять у собі логіку, інтерфейси та операції. У Рекомендаціях X.901 – X.903 (ITU-T) архітектурою TINA визначена група так званих, “породжувальних” обчислювальних об'єктів, які можуть використовуватися для створення нових послуг за допомогою налаштування параметрів і об'єднання. Таким чином, послуги створюються на основі *набору компонентів, який постійно розвивається*. Кожна нова послуга може бути створена на основі попередньої, без повернення щоразу до початкового набору компонентів, як це робиться у випадку з блоками SIB

для створення послуг у ІN. Середовище DPE підтримує довільний розподіл і взаємодію обчислювальних об'єктів, тож спеціалізовані мережеві вузли не трибуються. Як бачимо, хоча обидві системи – ІN та TІNA – є архітектурами керування послугами для інформаційних мереж довільного типу, між функціонально-орієнтованою архітектурою ІN і об'єктно-орієнтованою архітектурою TІNA є принципові відмінності, які ускладнюють їх міграцію та взаємодію.

Принципи TІNA спрямовано на відокремлення досить стабільних функцій оперативного та експлуатаційного керування від функцій розробки послуг, які вимагають гнучкості, динамічності та стрімкомінливих мережевих технологій. TІNA застосовують для будь-яких типів послуг та мереж, але спрямована, в основному, на підтримку широкосмугових послуг, послуг мобільності та інформаційних послуг.

TІNA є надзвичайно перспективною розробкою, розрахованою на середні та тривалі терміни застосування, але не позбавлена, однак, певних недоліків. Основний недолік полягає в тому, що TІNA пропонує зовсім нову архітектуру, зосереджуючи при цьому недостатньо уваги на проблемі її сумісності з наявними системами.

### **8.5. Концепції мереж наступного покоління (NGN)**

Швидкий розвиток у ХХІ столітті цифрових мультисервісних мереж зумовив виникнення нової мережевої концепції – концепції **мереж наступного покоління** (Next Generation Network, **NGN**).



У Рекомендації Y.2001 (ITU-T) NGN визначено як концепцію побудови мереж зв'язку, які надають необмежений набір послуг (зокрема й широкосмугових) з гнучкими можливостями щодо їх керування, персоналізації та створюють нові послуги за рахунок уніфікації мережевих рішень з використанням мультисервісної транспортної мережі, винесенням функцій надання послуг в кінцеві вузли мережі та можливістю інтеграції з традиційними мережами зв'язку.

NGN – це мультисервісна мережа, яка забезпечує пакетне передавання всіх видів трафіку з різними вимогами до якості обслуговування й надає користувачам можливість вільного доступу до мереж і до послуг постачальників-конкурентів та/або до послуг з їх вибором.

Визначення NGN можна доповнити такими характеристиками:

- **універсальна мобільність** (generalized mobility) передбачає, що для користувачів і будь-яких рухомих об'єктів надання послуг є безперервним та повсюдним, тобто взаємодія та доступ до послуг не залежатимуть від змін місцезнаходження або технічних умов. Рівень доступу до послуг обумовлюється лише технологічними можливостями мережі доступу, узгодженням рівнів обслуговування між мережею реєстрації користувача та візитною мережею;
- можливість широкосмугового передавання з **наскрізним QoS** передбачає досягнення угод з різними кінцевими системами щодо забезпечення

необхідної якості обслуговування з кінця в кінець, щодо використання наборів параметрів протоколу верхнього рівня для керування нижнім рівнем, а також досягнення угод про механізми QoS рівня доступу та транспорту;

- забезпечення безлічі технологій для мереж доступу;
- повна захищеність інформації в мережі;
- незалежність функцій, пов'язаних з послугами, від внутрішніх транспортних технологій;
- забезпечення відкритих інтерфейсів для взаємодії з традиційними мережами;
- різноманітні схеми ідентифікації користувачів та уніфіковані (за оцінкою користувача) характеристики одних і тих самих послуг у різних мережах.

Отже, основним принципом концепції NGN є відокремлення *функцій транспортування, функцій керування викликами та функцій керування послугами*. Багаторівневу архітектуру концепції NGN подано на рисунку 8.14.

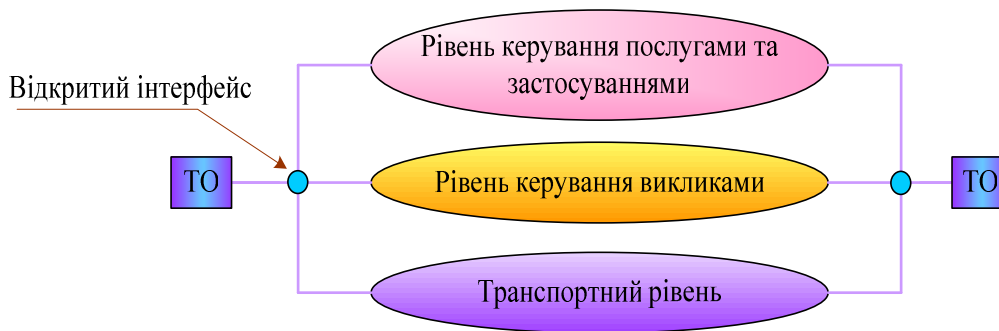


Рисунок 8.14. Багаторівнева архітектура концепції NGN

Основними завданнями **транспортного рівня** є прозоре передавання інформаційних потоків, а також підтримка взаємодії з наявними мережами зв'язку.

На **рівні керування викликами** обробляють інформацію сигналізації та керування комутацією й передаванням.

**Рівень керування послугами** забезпечує керування логікою послуг та застосовань.

Такий функціональний розподіл дає змогу уніфікувати завдання, пов'язані з керуванням викликами, відокремивши їх від особливостей застосовуваних транспортних технологій, та використовувати однакову логіку формування послуги незалежно від типу транспортної мережі та мережі доступу.

Таким чином, мова йде про розподіл архітектури, в якій зв'язок між компонентами здійснюється тільки через відкриті інтерфейси (інтерфейси з відкритими специфікаціями).

На початкових етапах розгортання NGN розмовне з'єднання між користувачами з аналоговими та цифровими телефонними апаратами (ISDN), під'єднаними до NGN, залишатиметься однією з основних послуг. Але організація розмовного з'єднання в NGN має принципові відмінності від налаштування з'єднання в традиційних телефонних мережах. Ці відмінності пов'язано з тим, що мовлення (в даному випадку медіа-трафік) і сигнальна інформація для керування обслуговуванням виклику в NGN передають різними маршрутами та обробляють різні мережеві пристрої, а не єдиний вузол комутації каналів (АТС), як у традиційній ТфЗК. Медіа-трафік проходить безпосередньо між шлюзами доступу або транспортними шлюзами. Сигналізація ж керування

обслуговуванням виклику проходить через інший пристрій – спеціальний *програмний комутатор*, але завжди не там, де проходить медіа-трафік. Маршрути медіа-трафіку й сигналізації сходяться в *прикордонному контролері сеансів* – ще одному спеціальному пристрої, який застосовують у NGN (його функції детальніше розглядатимемо в розділі 10.5).

Отже, з функціями комунікаційного обладнання (мультиплексорів, комутаторів і маршрутизаторів) до складу NGN також входять контролери сигналізації й шлюзове обладнання різного призначення. Особливе місце тут займає програмний комутатор, який дає змогу надавати мовленнєві послуги у процесі взаємодії мереж з синхронним режимом перенесення (класична телефонія) та з асинхронним (середовища з пакетною комутацією).

**Програмний комутатор (Softswitch).** Новий тип комутаторів, який реалізує архітектуру гнучкої програмної комутації. Дає змогу подолати проблеми взаємодії між собою транспортних шлюзів з різними системами сигналізацій. Основною такою системою у процесі конвергенції мереж і послуг зв'язку є система сигналізації № 7 (СС-7). Взаємозв'язок мереж СС-7 та ІР, що є необхідним для проходження викликів як через телефонну мережу, так і через ІР-мережу, надзвичайно важливий. Особливим аспектом застосування Softswitch є реалізація міжоператорської взаємодії, а також підтримка системи оперативно-розшукових заходів (СОРЗ), яка на сьогодні є обов'язковою функцією всіх вузлів комутації.

Приклад побудови мережі NGN подано на рисунку 8.15.

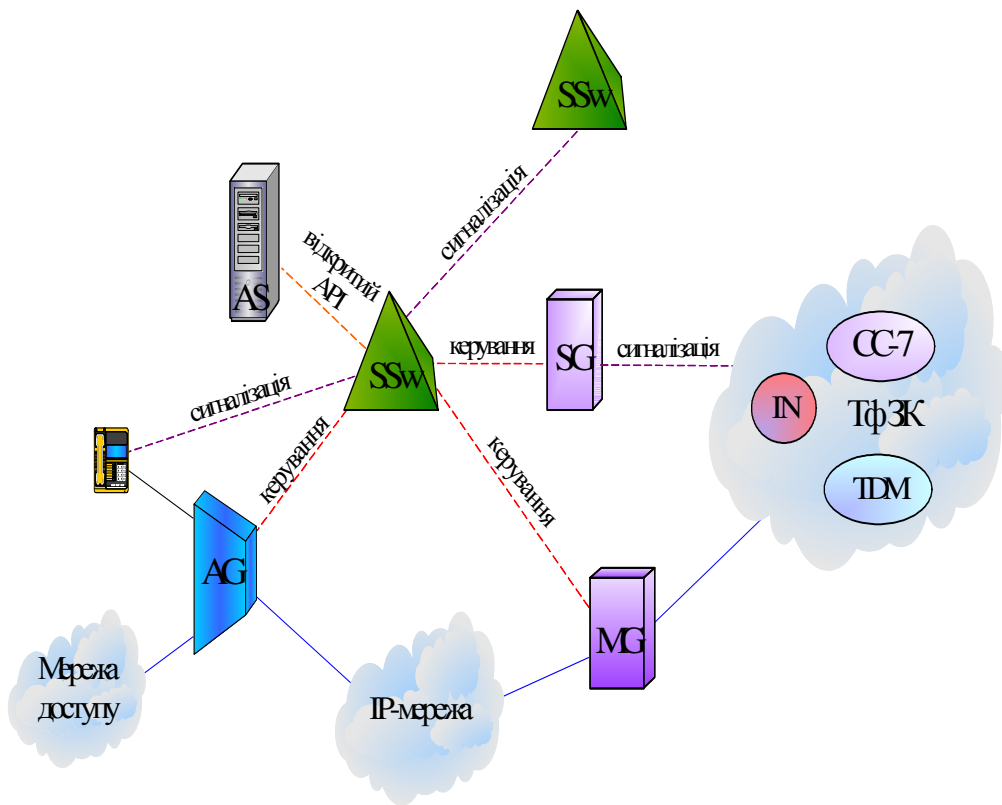


Рисунок 8.15. Приклад мережі NGN

AG (Access Gateway) – шлюз доступу;

MG (Media Gateway) – транспортний шлюз;

SG (Signaling Gateway) – шлюз сигналізації;

AS (Application Server) – сервер застосовань;

SSw (Softswitch) – програмний комутатор.

Softswitch виконує функції керування обслуговуванням викликів і обробляє всю сигналізацію, керує всіма шлюзами (AG, MG, SG), надає інформацію про маршрутизації виклику, визначає стан оброблення кожного виклику в шлюзі й стан

інформаційних каналів, передає інформаційні повідомлення користувачів між транспортними шлюзами, а також між IP-телефонами та іншими терміналами, виконує функції обліку вартості послуг.

Сервер застосовань **AS** реалізує логіку послуг. Виклик, який вимагає додаткової послуги, або може бути переданий від Softswitch до шлюзу доступу для подальшого керування цією послугою, або сам Softswitch може отримувати від шлюзу доступу інформацію, необхідну для виконання логіки послуги.

На транспортний шлюз **MG** надходять потоки мовленнєвої інформації з боку ТфЗК, він перетворює цю інформацію в пакети й передає її за протоколом IP у мережу з маршрутизацією пакетів, і все це виконує під керуванням Softswitch.

Шлюз доступу **AG** є інтерфейсом між IP-мережею та мережею доступу (проводовою або безпроводовою), передає сигнальну інформацію до Softswitch, перетворює призначену для користувача інформацію й передає її або до іншого порту цієї ж IP-мережі, або в іншу мережу (з комутацією пакетів або каналів).

Сигнальний шлюз **SG** забезпечує доставку до Softswitch сигнальної інформації, яка надходить від ТфЗК, а також перенесення сигнальної інформації в зворотному напрямку.

Провідне місце в мережах NGN займає спеціальний **протокол ініціалізування сеансів зв'язку** (Session Initiation Protocol, **SIP**). SIP є текстово орієнтованим протоколом прикладного рівня, який призначено для організації, модифікації та завершення різних сеансів зв'язку, зокрема мультимедійних конференцій, телефонних з'єднань, широкомовної розсилки мультимедійної інформації та з'єднань

користувачів з різними інфокомунікаційними застосуваннями. SIP використовують для взаємодії Softswitch між собою. Крім того, за допомогою SIP користувачі можуть брати участь у вже активних сеансах зв'язку, а також бути запрошеними іншими користувачами до участі у новостворюваному сеансі.

Отже, NGN – це повноцінна платформа для швидкого створення нових комунікаційних послуг. Значну роль у цьому процесі відіграє Softswitch, який забезпечує нові можливості завдяки **інтерфейсам прикладного програмування** (Application Programming Interface, **API**), які ґрунтуються на відкритих стандартах. Softswitch дає змогу операторам і провайдерам послуг інтегрувати в мережі NGN застосування як від виробника Softswitch, так і від інших виробників, а також самостійно розробляти свої власні програми. Додатково до функціональної сумісності шлюзів і Softswitch, інтерфейси API стандартизовано ще й для того, щоб будь-який незалежний сторонній розробник міг створювати власні застосування.

ITU-T ініціалізував процес стандартизації мереж нового покоління в рамках Проекту Глобальної інформаційної інфраструктури (GII), що обумовило створення ряду рекомендацій з GII серії Y. Однак питання реалізації виходили за межі розгляду GII. У зв'язку з цим було прийнято рішення доповнити рекомендації з GII специфікаціями з реалізації для їх конкретного втілення.

NGN, за даними рекомендаціями, повинна сприяти конвергенції мереж та конвергенції послуг. Основне тлумачення полягає в тому, що NGN повинна розглядатися як конкретна реалізація концепцій, визначених для GII.

## **8.6. Основні тенденції розвитку телекомунікацій**

У перспективі розвитку телекомунікацій помітними є тенденції до:

- «мультисервісності», тобто незалежності технологій надання послуг від транспортних технологій;
- «широкосмуговості», яка забезпечить гнучкі та динамічні зміни швидкості передавання інформації в широкому діапазоні відповідно до поточних потреб користувача;
- «мультимедійності», тобто здатності мережі передавати багатокomпонентну інформацію (мовлення, дані, відео, аудіо та ін.) з необхідною синхронізацією цих компонентів у реальному часі й використанням складних конфігурацій сполучень;
- «інтелектуальності» – можливості керувати послугою, викликом і з'єднанням користувачами або постачальниками послуг;
- «інваріантності доступу», тобто можливості організувати доступ до послуг незалежно від технології, яку використовують;
- «багатооператорності», тобто участі декількох операторів у процесі надання послуги та розмежування їх відповідальності відповідно до сфер їх діяльності.

Реалізація перерахованих тенденцій дасть змогу вийти на телекомунікаційний ринок мереж з пакетною комутацією для надання як традиційних послуг зв'язку, так і



мультимедійних. Традиційними послугами, реалізованими зараз засобами IP, є передавання мовлення через Інтернет VoIP (Voice over IP), потокове відео (Streaming Video), інтерактивні ігри (Interactive Games), Інтернет-радіо (Internet Radio) та ін. Сучасні вимоги до якості передавання трафіку для надання зазначених послуг суттєво відрізняються від попередніх вимог передавання даних.

У процесі передавання мультимедійного трафіку через Інтернет, разом з мережевим і нижніми рівнями, починають діяти також верхні рівні обладнання користувача, у яких виконуються протоколи контролю перенесення мультимедійного трафіку "з кінця в кінець", алгоритми стискування та кодування інформації.

У цілому, перехід на IP-основу зводиться до розподілу функцій перенесення інформації та функцій керування перенесенням інформації через мережу, а також відокремленні функцій послуг та застосовань від телекомунікаційних функцій.

Процес конвергенції мереж прискорює розвиток фундаментальних тенденцій у телекомунікаціях, а саме:

- кардинальна зміна мережевих архітектур, відмова від жорсткої ієрархії мереж, прикметної для концепції ЄАМЗ;
- фундаментальний поділ рівнів транспортування інформації та рівня формування послуг;
- перехід від телекомунікацій до інфокомунікацій;

- рівноправна участь у інформаційному процесі всіх учасників: користувачів, мережевих операторів і контент-провайдерів.

Процеси конвергенції можна спостерігати також у сфері послуг, термінального та комунікаційного устаткування мереж.

Еволюція телекомунікаційних мереж у напрямку NGN відбуватиметься шляхом об'єднання транспортних мереж та мереж доступу як на апаратному рівні, так і на програмному. NGN розвиватиметься завдяки поєднанню технологій, які використовують для задоволення конкретних запитів користувачів. Також необхідно враховувати невизначеність у співвідношенні часток трафіку різних типів, транспортованих мережею, та критерії оцінювання якості перенесення інформації. Значимість тих або інших критеріїв змінюватимуться залежно від рівня розвитку телекомунікації.

Складність переходу до NGN пов'язана з тим, що в наявних мережах використовують різне програмне забезпечення. Для того, щоб усунути таке протиріччя, розроблено концепцію відкритого доступу до послуг **OSA** (Open Service Access), що передбачає використання інтерфейсних пристроїв, які забезпечують взаємодію різних мереж. (Концепцію OSA розглядатимемо у розділі 17).

Варто ще раз зосередити увагу на тому, що NGN – це лиш ідеологія реконструкції телекомунікаційних мереж, у якій запропоновано різні інженерні рішення. Конкретний вибір тих чи інших рішень залежатиме від економічних, технічних, соціальних, політичних та інших умов, які, врешті-решт,

визначатимуть темпи переходу телекомунікаційних мереж до NGN у різних країнах.

NGN – не єдина інноваційна модель розвитку телекомунікацій. Наприклад, активно також проводять обговорення концепції мереж майбутнього, яку умовно названо **FGN** (Future Generation Network), де NGN розглядають уже як преамбулу, стартовий майданчик для подальшої фундаментальної реконструкції та переходу до інфокомунікаційних мереж.

### **Контрольні питання**

1. Що відображає поняття "мережева концепція"?
2. На чому базується побудова тієї чи іншої мережевої концепції?
3. Поясніть специфіку концепції ЄАМЗ?
4. Які чинники сприяли виникненню концепції ISDN?
5. На які два види, відповідно до Рекомендацій ITU-T, поділяють ISDN,?
6. Охарактеризуйте комплекси засобів, за допомогою яких може бути реалізована N-ISDN?
7. Проаналізуйте особливості інтерфейсів BRI та PRI?
8. Перерахуйте елементи еталонної конфігурації інтерфейсу «користувач-мережа» для N-ISDN.
9. Назвіть призначення інтерфейсних еталонних точок R, S, T, U, V.
10. На чому ґрунтується концепція побудови B-ISDN?
11. Охарактеризуйте особливості широкосмугових видів сервісу, визначених рекомендаціями ITU-T для B-ISDN.

12. Перерахуйте елементи еталонної конфігурації інтерфейсу «користувач-мережа» для В-ISDN.
13. Перерахуйте та охарактеризуйте рівні (площини) еталонної моделі протоколів В-ISDN.
14. Що сприяло появі концепції інтелектуальної мережі (IN)?
15. Поясніть термін «інтелектуальна мережа».
16. Перерахуйте та охарактеризуйте призначення елементів структурної моделі інтелектуальної мережі.
17. Відобразіть модель IN-виклику й прокоментуйте алгоритм її роботи.
18. Охарактеризуйте архітектуру концептуальної моделі IN.
19. Поясніть призначення та роль концепцій керування мережами зв'язку.
20. У чому полягає суть концепції TMN?
21. Охарактеризуйте елементи фізичної архітектури TMN.
22. Що взято за основу побудови концепції TINA?
23. Поясніть основні положення концепції TINA.
24. На чому ґрунтується концепція NGN? Якими функціями наділяють мережі наступного покоління?
25. Яке комунікаційне обладнання застосовують у NGN?
26. Охарактеризуйте основні тенденції розвитку телекомунікацій.

## Розділ 9. Транспортні мережі

### 9.1. Різновиди транспортних сегментів

Транспортна мережа виконує функцію перерозподілення трафіку між усіма поєднаними елементами мережі і є сегментом формування суто транзитного трафіку (СФТТ) (див. розділ 5). Такий сегмент може бути наявним у мережах, які охоплюють різні території (LAN, MAN, WAN).

Нижче наведено найбільш частовживані терміни, за допомогою яких прийнято розрізняти СФТТ:

- **Опорна магістраль (Backbone)** – сегмент, побудований з використанням обладнання та телекомунікаційних технологій фізичного рівня. Різницю топологій фізичних зв'язків у процесі реалізації опорної магістралі (ланцюг, кільце) відображено в таких поняттях, як: *«спільна шина»*, *«хребтова мережа»*, *«транспортне кільце»*.
- **Опорна магістральна мережа** є, як правило, сегментом, утвореним сукупністю опорних вузлів, з'єднаних поперечними магістралями, з використанням обладнання й технологій канального рівня. Чим повнішою є зв'язність опорної мережі, тим вищою є надійність даного сегмента.
- **Сколапсована магістраль (Collapsed Backbone)** – стягнута в точку опорна мережа (точніше – один опорний вузол). Поєднання окремих сегментів у даному випадку здійснюється в межах одного

комунікаційного пристрою (магістрального комутатора або маршрутизатора).

- **Базова мережа (Core Network)** – сегмент рівня ядра мережевої інфраструктури, реалізований з використанням технологій фізичного, канального та мережевого рівнів моделі OSI/ISO; поєднує мережі різних операторів і провайдерів у глобальну мережу.

Магістральний сегмент може бути утвореним на рівні доступу, розподілення або ядра мережі (див. рис. 9.1 а, б, в). Основними факторами, які при цьому слід враховувати, є : розмір території, охоплюваної мережею, вимоги до пропускної здатності СФТТ та інтенсивність транзитного трафіку, вимоги до розширюваності й масштабованості мережі, а також обмеження у вартості.

Побудова транспортних мереж базується на вищерозглянутих принципах побудови сегментів фізичного, канального та мережевого рівнів моделі OSI/ISO. Однак, оскільки для сегментів LAN, MAN та WAN розроблено спочатку різні телекомунікаційні технології, то й елементи обладнання, які використовують для побудови відповідних їм СФТТ, мають певні відмінності.

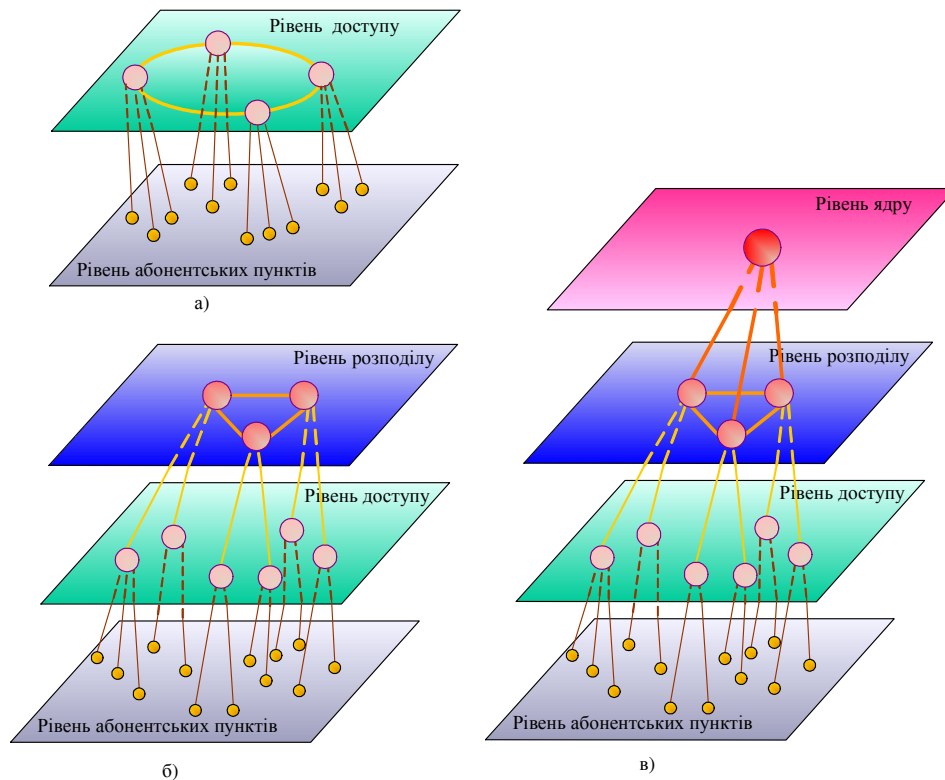


Рисунок 9.1 Магістральні сегменти, утворені на різних рівнях  
 а) опорна магістральна на рівні доступу;  
 б) опорна магістральна мережа на рівні розподілення;  
 в) сколапсована магістраль на рівні ядра.

## 9.2. Організація транспорту в сегментах LAN

### *СФТТ на основі розподільчих середовищ*

Об'єднати мережі робочих груп невеликого підприємства або відділу можна шляхом організації **опорної магістралі** типу «загальна шина» (див. рис. 9.2). У мережах Ethernet для цього, зазвичай, застосовують "товстий" або

"тонкий" коаксіальний кабель, під'єднаний **відгалужувачем**, так званим «**зубом вампіра**». Зуб відгалужувача – це спеціальна тонка голка, яку вводять до половини товщини внутрішньої жили кабелю.

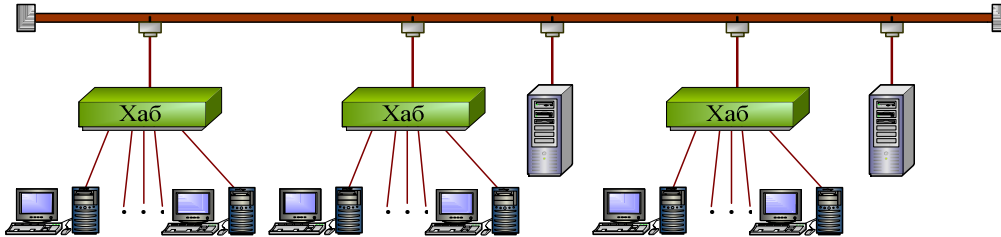


Рисунок 9.2. Опорна магістраль типу «загальна шина»

Збільшують фізичний розмір магістралі за рахунок застосування повторювачів.

**Повторювач** – це двопортовий пристрій, призначений для об'єднання фізичних сегментів коаксіального кабелю в єдине розподільче середовище.

**Опорна магістраль** типу «**хребтова мережа**» може бути утворена з'єднаними ланцюгово концентраторами (хабами) – устаткуванням фізичного рівня для локальних мереж (див. рис. 9.3).

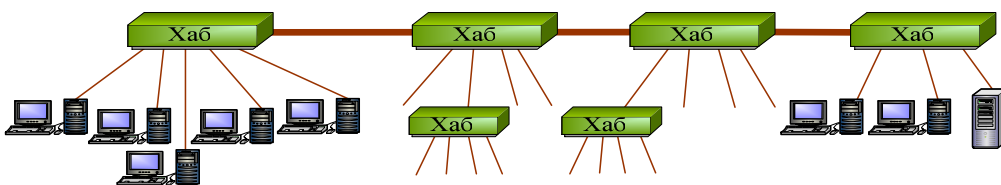


Рисунок 9.3. Опорна магістраль типу «хребтова мережа»



**Концентратор (хаб)** – це багатопортовий повторювач. Принцип його роботи полягає в *побітовому повторенні кадру* на всіх чи деяких портах, залежно від конкретного алгоритму, визначеного відповідним стандартом застосованої мережевої технології. Це є рівнозначним поширенню сигналу в коаксіальному кабелі. Концентратори розрізняють за типом мережевої технології, для якої вони призначені, наявністю додаткових функцій (підтримка резервних зв'язків, захист від несанкціонованого доступу), конструктивним виконанням (багатосегментні, стекові).

**Магістраль кампусу** створюють за типом «*транспортного кільця*», використовуючи технології FDDI (див. рис 9.4).

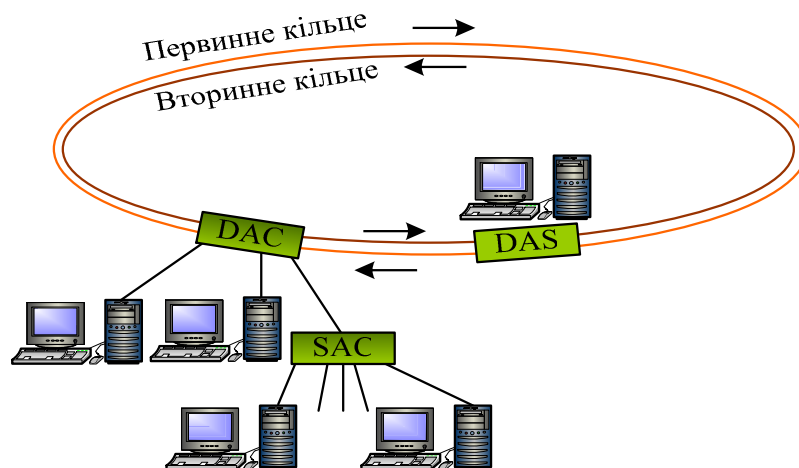


Рисунок 9.4. Опорна магістраль «транспортне кільце»

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) — це перша технологія сегментів LAN, у якій для середовища передавання застосовано волоконно-оптичний кабель. Стандарти ISO 9314.xx, які описують FDDI, гарантують передавання даних зі

швидкістю 100 Мбіт/с подвійним кільцем задовжки до 100 км з маркерним доступом. Подвійне кільце забезпечує захист 1+1 (основний та резервний шлях), тим самим підвищуючи відмовостійкість мережі за рахунок стандартизованих процедур відновлення після відмов різного типу.

Кільця в мережах FDDI – спільне колективне середовище передавання, у якому наявні протокол фізичного рівня, протокол підрівня маркерного доступу до середовища (MAC) і протокол підрівня керування логічним каналом (LLC), визначений у стандарті IEEE 802.2. Таким чином, технологія FDDI вписується в структуру стандартів 802. Особливістю технології FDDI є наявність рівня SMT (Station Management) – керування під'єднаним вузлом (робочою станцією). Він з'ясовує конфігурацію під'єданого вузла й кільця, забезпечує збір статистики та ізоляцію неактивних елементів, генерацію діагностичних кадрів, планування навантаження й переспрямування потоків даних у вторинне кільце у разі аварійності первинного. Іноді вторинне кільце застосовують, щоб підвищити пропускну здатність мережі до 200 Мбіт/с.

Обладнання FDDI складають адаптери, концентратори й мости.

**Адаптери FDDI** з оптичними трансиверами під'єднують робочі станції (вузли) безпосередньо до кільця або через концентратор. За конструкцією вони нагадують мережеві адаптери інших технологій, але вимагають високої продуктивності шини й процесора, а їх ціна може перевищувати ціну комп'ютера.

**Концентратори FDDI** розрізняють за способом під'єднання до основного кільця (див. рис 9.4):

- **DAC** (Dual Attached Concentrator) – концентратор подвійного під'єднання, що дає змогу під'єднувати до подвійного кільця вузли (хости й концентратори) одинарного під'єднання;
- **SAC** (Single Attached Concentrator) – концентратор одинарного під'єднання, що дає змогу під'єднувати вузли одинарного під'єднання.

Концентратори FDDI, як правило, мають модульну структуру. Модулі можуть мати фіксований набір портів або змішані інтерфейсні модулі (для різних типів оптичних середовищ). Для під'єднання вузлів, які не потребують повної пропускної здатності FDDI, частіше застосовують концентратори, які мають убудовані мости для переходу на інші мережеві технології.

**Мости FDDI** зв'язують сегменти (декілька кілець FDDI) між собою або з сегментами мереж подібних технологій (Ethernet, Token Ring). Мости не об'єднують кільця в єдине велике кільце, вони лише забезпечують передавання кадрів даних між сегментами. Мости для підключення сегментів з іншими технологіями поділяються на два типи: транслявальні та інкапсулювальні. *Транслявальний міст* перетворює кадр іншої технології в кадр FDDI, що дає змогу налаштувати зв'язки, наприклад, між вузлом Ethernet і FDDI. *Інкапсулювальні мости* працюють попарно: міст-передавач поміщає в поле даних кадру FDDI отриманий кадр "чужих" технологій та передає його за протоколом FDDI мосту-приймачу, який, у свою чергу, витягує інкапсульований кадр "чужих" технологій та передає його в інший сегмент за

протоколом відповідної йому технології. Саме інкапсулювальні мости дають змогу використовувати сегмент FDDI тільки як опорну магістраль, не надаючи можливості налаштувати безпосередній зв'язок з кінцевими вузлами локальної мережі.

### ***СФТТ на комутованій топології***

Розподільчі середовища в сегментах LAN, а також для формованих у них СФТТ, втратили свою актуальність. Це зумовлено, з одного боку, необхідністю забезпечувати все більш високі швидкості для транзитного трафіку, який створюють у локальних мережах мультимедійні застосовання, а з іншого – жорсткими вимогами до гарної масштабованості локальних мереж. Очевидних переваг та перспектив для впровадження в цій ситуації набуває комутована топологія.

Найбільш популярною для реалізації комутованої топології в сегментах LAN є технологія Ethernet. Комутована Ethernet пропонує недороге комунікаційне обладнання та ієрархію швидкостей передавання (10 Мбіт/с, 100 Мбіт/с, 1000 Мбіт/с, 10 000 Мбіт/с та вище).

СФТТ, виконаний на базі комутованої Ethernet, залежно від масштабу мережі, може бути сколапсованою магістраллю або опорною магістральною мережею. Основним комунікаційним устаткуванням для цього обирають комутатор Ethernet.

**Комутатор** (Switch) працює на каналному рівні моделі OSI/ISO та використовує адреси каналного рівня (MAC-адреси).

На рисунку 9.5 подано узагальнену схему комутатора Ethernet.

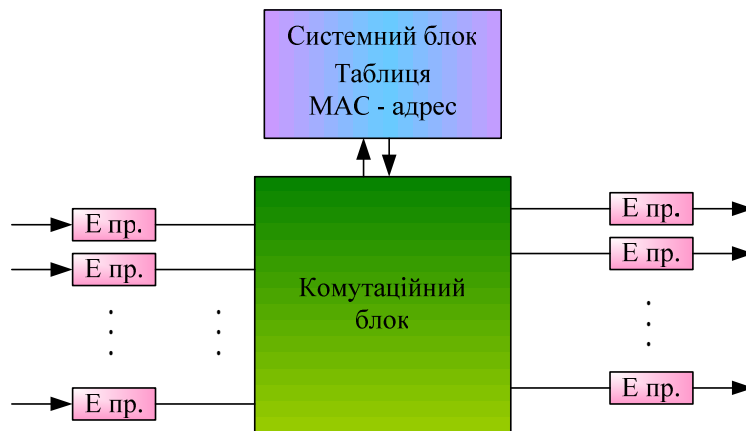


Рисунок 9.5. Схема комутатора Ethernet

Кожен порт комутатора обладнано спеціалізованим процесором, який обробляє кадри незалежно від процесорів інших портів. Крім того, комутатор має системний модуль, який координує роботу всіх процесорів. Системний модуль створює таблицю MAC-адрес усіх вузлів, під'єднаних до портів комутатора, і, проаналізувавши адресну інформацію кадрів, керує роботою комутаційного блоку, який виконує з'єднання внутрішніх ланцюгів «вхід-вихід». У загальному випадку N-портовий комутатор із напівдуплексними портами забезпечує  $N/2$  незалежних ланцюгів, які діють одночасно. За рахунок цього загальна продуктивність сегмента з комутованою топологією підвищується. У разі повного дуплексу кількість ланцюгів теоретично може досягати N.

Для забезпечення роботи в умовах, коли кадри надходять швидше, ніж вони можуть бути передані, комутатор повинен мати достатній обсяг буферу. Якщо буфер заповнено, черговий кадр буде втрачено. У напівдуплексному режимі комутатор може досить просто боротися з перевантаженням, пригальмовуючи вхідні порти. Для цього він спеціально створює колізію та змушує, таким чином, джерело повторно передавати кадр. Можливим є також завчасне захоплення середовища передавання після закінчення чергового кадру, тобто раніше, ніж це передбачено стандартом 802.3. Ці дії називаються агресивною поведінкою комутатора. Але у повнодуплексному режимі, який застосовано на швидкості 100 Мбіт/с та вищій, таких дій не передбачено, а для регулювання потоку долучено спеціальні службові символи у вигляді кодів фізичного рівня: «призупинити передавання на певний час» і «продовжити передавання». Порти комутаторів зобов'язані реагувати на їх появу.

Необхідно зазначити, що робота комутаторів не позбавлена певних недоліків. Так, у розділі 5 вже натискалися, що кадри з *широкомовними MAC-адресами* або невідомими (спотвореними в результаті програмних або апаратних збоїв) адресами призначення комутатор передає на всі порти. Таким чином, наявність комутаторів у мережі не перешкоджає поширенню широкомовних кадрів у всі сегменти, зокрема у СФТТ. Якщо такі кадри генеруються інтенсивно, виникає ситуація *«широкомовного шторму»*, унаслідок чого мережа може бути виведена з нормального режиму роботи.

Ще одним недоліком комутаторів є підтримка в сегменті тільки зв'язків з *топологією «дерево»*. Якщо в комутованій

топології помилково з'явиться лінія, яка утворює на певній ділянці петлю, ця ділянка практично вийде з ладу: почнуть виникати масові колізії через нескінченне повторення та розмноження кадрів.

Захистити сегмент від широкомовного шторму та підтримувати петлювату структуру зв'язків на відміну від комутатора може маршрутизатор.

**Маршрутизатор** (router), на відміну від комутатора, підтримує протоколи не тільки каналного, але й мережевого рівня. Протоколи мережевого рівня забезпечують збір інформації про топологію з'єднань, із замкнутими контурами також, й побудову таблиць маршрутизації з маршрутами до всіх відомих маршрутизатору логічним мереж. На основі таблиць маршрутизації маршрутизатор виконує передавання пакетів з однієї мережі в іншу й може приймати рішення щодо вибору найбільш раціонального маршруту передавання даних у складних топологіях зв'язків. Маршрутизатор більш надійно й ефективно ізолює трафік однієї логічної мережі від іншої, завдяки системі наявних у ньому налаштовувальних фільтрів.

За типом функціональних завдань маршрутизатор є типовим обчислювальним пристроєм з одним або навіть декількома процесорами та зі складним програмним забезпеченням реального часу. Роль маршрутизатора може виконувати й серверний комп'ютер, якщо мережевий рівень його операційної системи підтримує передавання пакетів. Універсальні операційні системи Unix або Windows забезпечені програмним модулем, який дозволяє налаштування режиму «маршрутизатор».

Оскільки маршрутизатор обробляє кожний пакет за допомогою мікропрограми окремо, його продуктивність є значно нижчою, ніж у комутатора. Таким чином, маршрутизатор може спричинити гальмування проходження трафіку, якщо він встановлюється на рівні ядра.

З метою поєднання переваг комутатора й маршрутизатора та усунення властивих кожному з них недоліків було розроблено комунікаційний пристрій **маршрутизувальний комутатор, або так званий комутатор 3-го рівня** (тобто мережевого). Можливими є два варіанти вирішення:

- пакети, які передаються з однієї логічної мережі в іншу, маршрутизуються, а всередині мережі – комутуються;
- маршрутизуються тільки кілька перших пакети стійкого потоку, а всі інші пакети цього потоку комутуються.

У комутаторах 3-го рівня здійснюється перенесення процедур маршрутизації з програмованих процедур в НВІС (надвеликі інтегральні схеми), які працюють на жорсткій логіці. Недоліком комутаторів 3-го рівня є їх непристосованість до потреб змінювати протоколи маршрутизації. У цьому випадку необхідно замінити високовартісну НВІС.



### 9.3. Транспортні мережі METRO

Транспортні мережі територіальних сегментів MAN і WAN (масштабу міста, великого регіону) як мережі загального користування (публічні мережі) отримали назву «**транспортні мережі METRO**» (з англійської Metropolitan – місто, мегаполіс). Їх завданням є перерозподілення транзитного трафіку, який створюють не лише окремі користувачі, а й сегменти LAN. Усі вони висувають різні вимоги до транспортування інформації з кінця в кінець. Таким чином, транспортні мережі METRO необхідно будувати, враховуючи можливості надання так званого диференційованого сервісу в точках входу-виходу (вузлах доступу) транспортної мережі, що забезпечує налаштування гнучких і прозорих з'єднань, які передають пакетовані дані (кадри, комірки) канального рівня поверх фізичного рівня.

На відміну від сегментів LAN, транспортні мережі METRO перетворюються на дворівневу телекомунікаційну інфраструктуру, яка містить технології фізичного й канального рівнів. Таку архітектуру називають **платформою надання сервісів (Service Provisioning Platform, SPP)**. На рисунку 9.6 наведено архітектуру такої мережі.

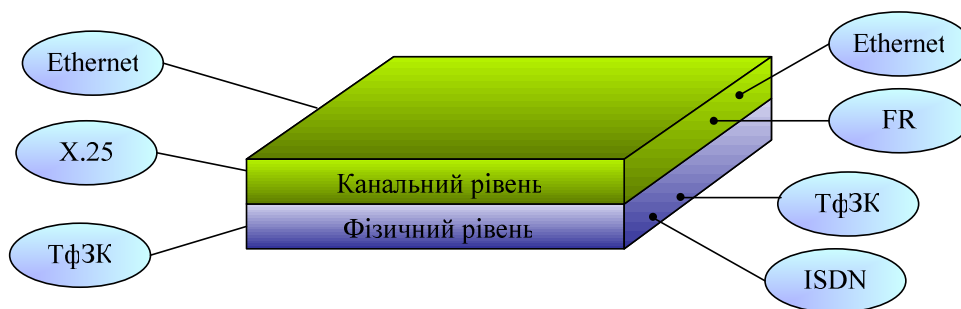


Рисунок 9.6. Архітектура транспортної мережі METRO

Якщо в сегментах LAN фізичний рівень базується в основному на використанні лінків, обмеження на фізичну довжину яких передбачено стандартами структурованих кабельних систем (СКС) (див. розділ 12), то в територіальних транспортних мережах довжина ліній зв'язку є досить великою, отже, і вартість, відповідно, дуже високою. У зв'язку з цим гостро постає питання ефективності використання смуги пропускання таких ліній. Крім того, в публічних мережах необхідно забезпечувати можливість задоволення запитів різних користувачів та надання різноманітних сервісів (організацію різних режимів перенесення інформації, смуги пропускання каналів).

Таким чином, фізичний рівень транспортної мережі МЕТРО перетворюється у відносно самостійну мережу, в якій застосовано специфічні для неї технології фізичного рівня, що надають **первинні сервіси** (Background Services) каналного рівня у вигляді *каналів точкових з'єднань з заданою смугою пропускання*. Таку мережу прийнято називати **первинною мережею**. Термін перейшов у спадок від концепції Єдиної автоматизованої мережі зв'язку (ЄАМЗ), про яку йдеться в розділі 8. Під первинними мережами в епоху аналогової телефонії розуміли мережі, які надають виділені канали для двоточкових з'єднань пунктів накладених «вторинних» мереж.

На каналному рівні реалізується комутована топологія з використанням первинного сервісу для організації зв'язків між вузловими пунктами, в яких налаштовується комунікаційне обладнання відповідної *базової телекомунікаційної технології каналного рівня*. Таким чином, поверх первинної мережі також утворюються «вторинні мережі», які надають **сервіси**

**базових мережевих технологій (Network Based Services), тобто технологій каналного рівня. Їх називають "базовими сервісними мережами".**

### ***Телекомунікаційні технології та устаткування фізичного рівня METRO***

У територіальних (MAN, WAN) телекомунікаційних мережах використання спільного комунікаційного середовища здійснюється шляхом його поділу на множини незалежних каналів двоточкового з'єднання пари пунктів (вузлів доступу). Спільне середовище передавання в даному випадку, як відомо, можна розподіляти за частотою (FDM), за часом (TDM), за довжиною хвилі (WDM). Як комунікаційне обладнання вузлів доступу застосовують різні мультиплексори.

**Мультиплексори** забезпечують спільне використання фізичної лінії, під'єднаної до єдиного виходу мультиплексора, декількома інформаційними потоками, які надходять на його входи. При цьому середовище передавання вихідної лінії поділяється на кількість каналів, яка дорівнює кількості входів. Поділяти можна за частотою або за часом зайняття. Розрізняють мультиплексори сегментів доступу й транспортних сегментів. При цьому беруться до уваги також технологічні особливості фізичного рівня передавання сигналів у широкосмугових середовищах.

Виокремлюють три покоління транспортних технологій фізичного рівня METRO:

- плезіохрона цифрова ієрархія (PDH);

- синхронна цифрова ієрархія (SDH);
- щільне хвильове мультиплексування (DWDM).

Перші дві технології підтримують ієрархії швидкостей, тому, організувавши інформаційний обмін між під'єднаними повільними сегментами, можна вибрати будь-яку відповідну швидкість передавання цифрових потоків .

Технологія DWDM стала більш пізнім досягненням у сфері створення високошвидкісних каналів. Вони вже не є цифровими, тому що надають для передавання інформації виокремлену (виділену) хвилю.

### *Цифрова ієрархія*

Ефективне використання широкосмугових ліній зв'язку вимагає пришвидшення передавання цифрових потоків до кількох тисяч, сотень і більше кілобіт за секунду. Використовуючи каскадне ввімкнення мультиплексорів, можна формувати різні рівні швидкостей: DS0, DS1, DS2, DS3, DS4 і т. д. (рис. 9.7).

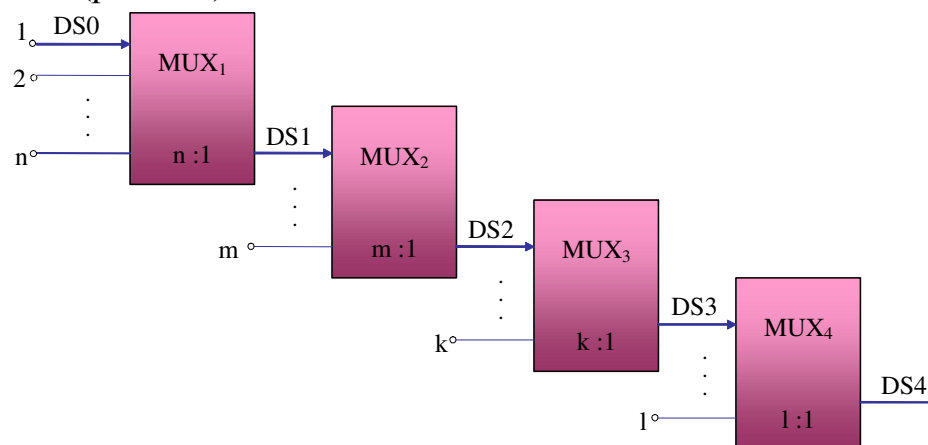


Рисунок 9.7. Цифрова ієрархія швидкостей

Усіх їх об'єднано загальним поняттям **цифрової ієрархії**. Цифрова ієрархія дозволяє довести процес мультиплексування до необхідного рівня, що дає змогу формувати потрібну кількість каналів рівня DS0 со швидкістю 64 кбіт/с, вибіраючи різноманітні коефіцієнти мультиплексування  $n$ ,  $m$ ,  $k$ ,  $l$ .

На початку 80-х років у світі було зrealізовано три цифрових ієрархії.

**Перша ієрархія** (прийнята в США й Канаді) забезпечує на виході мультиплексора MUX1 потік DS1 з коефіцієнтом мультиплексування  $n = 24$  і швидкістю

$$T1 = 64 \times 24 = 1544 \text{ кбіт/с (1,5 Мбіт/с)}.$$

На наступних рівнях використовуються коефіцієнти мультиплексування  $m = 4$ ;  $k = 7$ ;  $l = 6$ , що забезпечує отримання послідовності швидкостей:

$$T2 = T1 \times 4 = 6 \text{ Мбіт/с (для рівня DS2);}$$

$$T3 = T2 \times 7 = 45 \text{ Мбіт/с (для рівня DS3);}$$

$$T4 = T3 \times 6 = 274 \text{ Мбіт/с (для рівня DS4)}.$$

**Друга ієрархія** (прийнята в Японії) зі швидкістю DS0 і рядом коефіцієнтів мультиплексування  $n = 24$ ;  $m = 4$ ;  $k = 5$ ;  $l = 3$  забезпечує таке передавання:

$$T1 = 64 \times 24 = 1,5 \text{ Мбіт/с (для рівня DS1);}$$

$$T2 = T1 \times 4 = 6 \text{ М біт/с (для рівня DS2);}$$

$$T3 = T2 \times 5 = 32 \text{ Мбіт/с (для рівня DS3);}$$

$$T4 = T3 \times 3 = 98 \text{ Мбіт/с (для рівня DS4)}.$$

**Третя ієрархія** (прийнята в Європі та Південній Америці) – швидкість DS0 та коефіцієнти мультиплексування  $n = 30$  (32);  $m = 4$ ;  $k = 4$ ;  $l = 4$ , забезпечує швидкості відповідно:

$$E1 = 64 \times 30 = 2 \text{ Мбіт/с (для рівня DS1);}$$

$$E2 = E1 \times 4 = 8 \text{ Мбіт/с (для рівня DS2);}$$

$$E3 = E2 \times 4 = 34 \text{ Мбіт/с (для рівня DS3);}$$

$$E4 = E3 \times 4 = 140 \text{ Мбіт/с (для рівня DS4).}$$

Європейська ієрархія дозволяє організовувати 30, 120, 480 і 1920 каналів рівня DS0 в лінії, що знайшло відбиття в назві систем передавання, в таких якб: ІКМ-30, ІКМ-120, ІКМ-480 тощо.

Паралельний розвиток різноманітних ієрархій гальмував розвиток світових глобальних телекомунікацій, а тому ІТУ-Т упроваджує заходи щодо їх уніфікації та можливого об'єднання. Внаслідок було стандартизовано як основні рівні DS1, DS2 і DS3 - першої ієрархії та рівні DS1, DS2, DS3 і DS4 - другої та третьої ієрархій, а також визначено коефіцієнти перехресного мультиплексування:

$$T2_{\text{другої ієрархії}} = E1 \times 3;$$

$$E4 = (T3_{\text{першої ієрархії}} \times 3) \text{ або}$$

$$(T3_{\text{другої ієрархії}} \times 4).$$

Стандартизовані рівні ієрархій дістали загальну назву **плезіохрона цифрова ієрархія** (Plesiochronous Digital Hierarchy, **PDH**).

### ***Технологія PDH***

«Плезіо» означає «псевдо-», тобто «плезіохрона» – «схожа, подібна до синхронної». Особливістю плезіохронних мереж є відсутність спільного еталонного джерела синхронізації в мережі. Наявність місцевих синхронізувальних таймерів забезпечує синхронізацію лише для приймання/передавання на рівні DS1 (рис. 9.8).

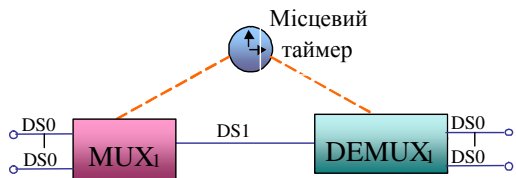


Рисунок 9.8. Робота мультиплексорів у режимі прийом/передача

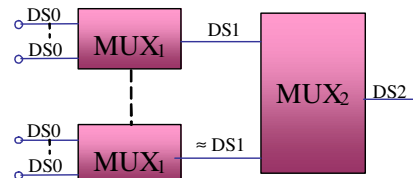


Рисунок 9.9. Каскадне включення мультиплексорів

Однак при каскадному ввімкненню (рис. 9.9) синхронна робота мультиплексорів MUX1 в плезіохронних мережах не забезпечується. Щоб вирівняти швидкості передавання цифрових потоків у PDH-технології в процесі формуванні потоків рівня DS2 і вищого, використовується біт-інтерлівінг з побітовою синхронізацією. При цьому мультиплексор MUX2 сам вирівнює швидкості вхідних потоків від мультиплексорів MUX1 шляхом додавання потрібної кількості нівелювальних бітів у каналах з відносно низькими швидкостями передавання або вилученням бітів у каналах з високими швидкостями. Інформація про вилучені або долучені біти передається службовими каналами, які формують окремі біти в структурі фрейму. Ця схема повторюється на наступних рівнях мультиплексування.

На приймальному кінці у процесі демультимплексування зазначені біти видаляються або долучаються відповідно до службової інформації, яка надійшла.

Виникає питання: «Навіщо вирівнювати швидкості вихідних потоків?» Вирівнювання швидкостей є важливим для точного визначення меж фрейму на приймальному кінці та розміщення бітів службової інформації в його структурі.

PDH-технологію широко застосовують для організації великої кількості мовленнєвих цифрових каналів у волоконно-

оптичних лініях зв'язку. Так, один канал рівня DS4 зі швидкістю E4 (140Мбіт/с) є еквівалентним 1920 каналам зі швидкістю 64 кбіт/с. Це є доцільним та зручним для створення високошвидкісних цифрових потоків, які проходять транзитом через СК, для організації в них кросової комутації ліній зв'язку. Однак долучення (вилучення) бітів для вирівнювання швидкостей унеможливорює виокремлення каналу зі швидкістю 64 кбіт/с або 2 Мбіт/с із загального потоку в транзитному вузлі без повного демультимплексування. Загальна схема каналу передавання з використанням технології PDH на швидкості 140 Мбіт/с повинна складатися з трьох рівнів мультимплексування на передавальному кінці та трьох рівнів демультимплексування на приймальному кінці. Це є суттєвим недоліком PDH-технології, який обмежує її застосування, наприклад, у банківських мережах передавання даних, де часто виникає необхідність долучення/вилучення каналів 64 кбіт/с та 2 Мбіт/с. Використання великої кількості мультимплексорів і демультимплексорів значно підвищує вартість телекомунікаційної мережі, а тому її експлуатація є економічно не вигідною.

Через свою негнучкості PDH мережі є менш доцільними, ніж синхронні мережі.

### ***Технологія SDH***

Прагнення подолати недоліки PDH-технології призвело до розробки у 1984-1986-х роках у США ієрархії синхронної оптичної мережі (Synchronous Optical Network, **SONET**), а в Європі – **синхронної цифрової ієрархії** (Synchronous Digital



Hierarchy, **SDH**). Обидві ієрархії орієнтовано на використання ВОЛЗ.

Цифрові мережі, які застосовують синхронні телекомунікаційні технології, мають загальномережеву синхронізацію від центрального опорного джерела (центрального таймера), точність якого не гірша від  $10^{-9}$ .

Необхідність вирівнювати швидкості вихідних потоків у даному випадку майже відсутня, а це забезпечує можливість формувати фрейми фіксованого формату, використовуючи *байт-інтерлівінг* на всіх рівнях мультиплексування. Фіксований формат дає змогу чітко позиціонувати в структурі фрейму розташування полів, відповідних каналам зі швидкістю 64 кбіт/с, 2 Мбіт/с та ін.

Основним форматом вихідного синхронного потоку є так званий **синхронний транспортний модуль STM-1**, який забезпечує швидкість передавання 155,52 Мбіт/с та дає змогу інкапсулювати (вставляти) в нього всі фрейми європейської PDH ієрархії (E1, E2, E3 та E4).

У структурі STM наявними є спеціальні покажчики початку будь-якого інкапсульованого фрагменту. Ці покажчики розміщують у поле заголовку фрейму STM. Використання покажчиків значно спрощує процедуру виокремлення потоків, різних швидкостей із загального цифрового потоку та дає змогу гнучко компонувати внутрішній формат STM.

Побудова швидкостей ієрархії SDH ґрунтується також на використанні коефіцієнтів мультиплексування. У SDH ці коефіцієнти набувають постійного значення, яке дорівнює 4, та фігурують у назві транспортного модуля у вигляді

співмножника: STM-1 (155,52 Мбіт/с); STM-4 (622 Мбіт/с); STM-16 (2, 5 Гбіт/с); STM-64 та ін.

Таким чином, розробникам технології SDH вдалося не тільки забезпечити нарощування швидкостей передавання, але й урахувати стандарти наявної технології PDH, використовуючи вже відому на той час технологію інкапсуляції даних (технологію інкапсуляції застосовано в протоколі TCP/IP мережі Internet для транспортування IP-пакетів через мережі з різними архітектурами). У SDH-технології принцип інкапсуляції розвинуто у **технологію віртуальних контейнерів**.

Контейнерами називаються фрейми стандартних розмірів із приєднаними до них заголовками. У полях заголовка міститься інформація, необхідна для маршрутизації, та покажчики початку розміщення потоків різних швидкостей, які надходять з каналів доступу. Ці потоки називаються **трибами**.

Цифрові потоки каналів доступу зі швидкостями передавання, відповідними стандартному ряду PDH, називають **трибами PDH**, а потоки каналів доступу зі швидкостями передавання, відповідними стандартному ряду SDH, – **трибами SDH**.

Кожен триб (трибний потік) інкапсулюється у відповідний йому за розміром контейнер, забезпечений своїм заголовком. Так, наприклад, сформований після інкапсуляції триба 140 Мбіт/с контейнер визначив розмір поля корисного навантаження синхронного транспортного модуля STM-1 в 2349 байт, а долучення до нього полів заголовків – розмір самого STM-1: 2430 байт або  $2430 \times 8 = 19440$  біт, що з частотою повторення 8000 Гц визначає швидкість

породжувального члена ряду для ієрархії SDH:  $19440 \times 8000 = 155,52$  Мбіт/с.

Контейнери менших розмірів, у свою чергу, можуть міститися в контейнерах з більшою ємністю корисного навантаження, які також мають свої заголовки, і т. д., за принципом “матрьошки”. Це і є технологія віртуальних контейнерів, заснована на принципах інкапсуляції. Оскільки контейнери є не фізичними об'єктами, а логічними, їх називають **віртуальними контейнерами**.

Віртуальні контейнери можуть групуватися по кілька штук для розміщення в полях корисного навантаження контейнерів верхніх рівнів (більшого розміру). На кожен вкладений контейнер заводиться свій покажчик в полі заголовка зовнішнього контейнера. Згідно з основною схемою мультиплексування для ієрархії SDH, модулі STM-1 далі можуть мультиплексуватися з коефіцієнтом  $n$ , кратним 4 (як уже зазначалося вище), а потім передаватися лінією зв'язку.

Для реалізації технології SDH розроблено спеціальні мультиплексори введення/виведення, через які здійснюють доступ у мережу та вихід з мережі, тобто реалізується функція відгалуження трибних потоків. Вони містять відповідно порти введення/виведення (трибні порти) й лінійні агрегатні порти. Залежно від розміщення в мережі, розрізняють термінальні мультиплексори та мультиплексори введення/виведення (див. рис. 9.10).

**Термінальний мультиплексор** має один агрегатний порт та велику кількість трибних портів. Він застосовується у магістралях з топологією «ланцюг» й розташовується в їх кінцевих точках.

**Мультиплексор введення/виведення** займає проміжне положення на магістралі (ланцюг або кільце). Має два агрегатних порти, через які транзитом проходять агрегатні потоки магістралі, та кілька трибних портів, через які здійснюється приплив або відтік даних трибних каналів з агрегатного потоку магістралі.

Для подолання обмежень у відстані між мультиплексорами введення-виведення використовують регенератори сигналів.

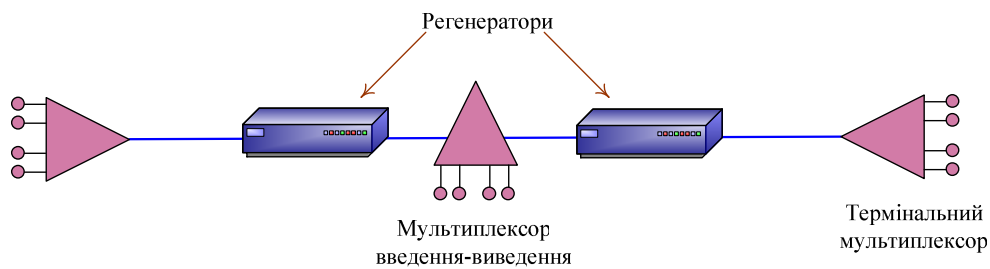


Рисунок 9.10. Транспортний ланцюг

Синхронні мережі мають ряд переваг над плезіохронними, основні з яких:

- *спрощення мережі* – в синхронній мережі один мультиплексор введення/виведення дає змогу безпосередньо долучити або вилучити, наприклад, потік E1 (2 Мбіт/с) з фрейму STM-1 (155 Мбіт/с), замінюючи тим самим «гірлянду» мультиплексорів PDH;

- *прозорість для передавання будь-якого трафіку* досягається застосуванням віртуальних контейнерів для передавання трафіку, сформованого використанням інших технологій (Frame Relay, ISDN, ATM);
- *універсальність застосування* проявляється у тому, що технологія може бути використана як для створення окремих високошвидкісних магістралей METRO (мереж загального користування), так і для корпоративних мереж кільцевої топології.

З появою SDH-технології телекомунікаційні мережі доповнилися поняттями «пакування даних», «транспортування даних», у результаті виник термін «**транспортна мережа**».

Для побудови первинних мереж використовують як мідні, так і волоконно-оптичні кабелі.

**Волоконно-оптичний кабель** (ВОК) характеризується будівельною довжиною (довжиною безперервної ділянки на одному барабані), варійованою залежно від типу кабелю в межах від 2 до 10 км. Окремі кабелі з'єднують зварюванням оптичних волокон. На кожній ділянці ВОК кінці захищено спеціальною герметичною прохідний муфтою.

Усі оптичні волокна поділяють на дві групи: **багатомодові** (Multi Mode Fiber, **MMF**) та **одномодові** (Single Mode Fiber, **SMF**). Модами називаються різні типи світлових променів.

Використання багатомодового волокна обмежено локальними мережами з типовими довжинами сегментів до 2 км.

Одномодове волокно має більш високу пропускну здатність, його використовують тільки на протяжних магістралях. Однак воно вимагає застосування дорогих лазерних передавачів.

Передавання інформації волоконно-оптичними лініями зв'язку має багато переваг, у порівнянні з передаванням по мідному кабелю. Стрімке впровадження в транспортні мережі оптичних ліній стало результатом визнання цих переваг, зумовлених специфікою поширення сигналу в оптичному волокні:

- *широкую смугу пропускання* уможливлено надзвичайно високими параметрами частоти-носія—10<sup>14</sup> Гц, що дає змогу передавати одним оптичним волокном інформацію в кілька терабіт за секунду. Широка смуга пропускання є однією з найважливіших переваг оптичного волокна, в порівнянні з мідним або будь-яким іншим середовищем передавання інформації;
- *висока перешкодозахищеність* – несприйнятливість до електромагнітних перешкод, які можуть виникати від мідних кабельних систем та електричного обладнання, котрі індують електромагнітне випромінювання, оскільки волокно виготовляється з діелектричного матеріалу. У багатоволоконному кабелі також неможливим є перехресний вплив електромагнітного випромінювання, властивий багатопарним мідних кабелях;
- *мале загасання світлового сигналу* у волокні від 0,2 до 0,3 дБ на довжині хвилі 1,55 мкм у розрахунку на 1

км, а також невелика дисперсія, що дає змогу будувати ділянки ліній без ретрансляції протяжністю до 100 км і більше;

- *висока захищеність від несанкціонованого доступу* завдяки тому, що ВОК практично не має випромінювання в радіодіапазоні, а тому важко «прослухати» інформацію, що передається, не порушуючи прийому/передавання;
- *гальванічна розв'язка елементів мережі* обумовлена ізолювальною властивістю волокна. Це унеможливує виникнення електричних «земельних» петель (наприклад, коли два мережевих пристрої неізольованої мережі, пов'язані мідним кабелем, мають заземлення в різних точках будівлі, виникає різниця потенціалів, здатна пошкодити мережеве обладнання);
- *пожежобезпечність* особливо важливою є для обслуговування технологічних процесів підвищеного ризику (на хімічних, нафтопереробних підприємствах);
- *мала вага й обсяг* у порівнянні з мідним кабелем у розрахунку на одну й ту ж пропускну здатність.

### ***Щільне хвильове мультиплексування DWDM***

Найважливішим параметром у технології **щільного хвильового мультиплексування** (Dense Wavelength Division Multiplexing, **DWDM**) є мала відстань між сусідніми каналами – від 3,2 до 0,4 нм.

**Мультиплексори DWDM** розраховано на роботу з великою кількістю каналів (32 і більше). Типову схему мультиплексора DWDM/демультиплексора наведено на рисунку 9.11.

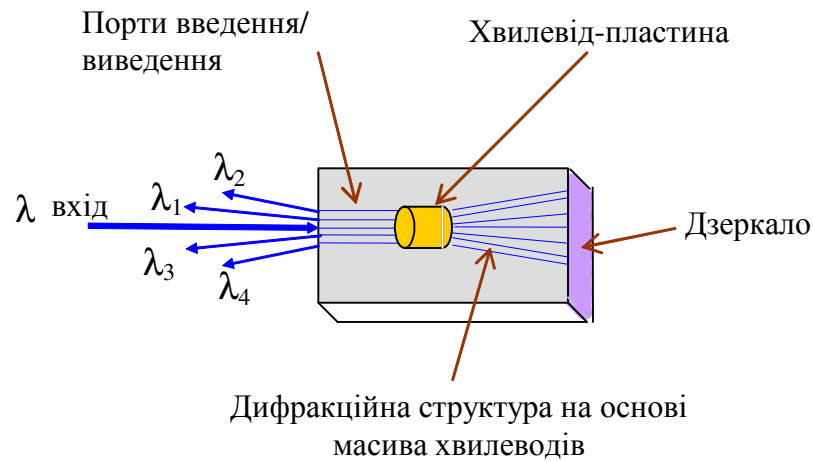


Рисунок 9.11. DWDM мультиплексор

Розглянемо роботу DWDM мультиплексора в режимі демультиплексування. Надісланий мультиплексний сигнал потрапляє на вхідний порт. Потім проходить через хвилевід-пластину й розподіляється по хвилеводах, які формують дифракційну структуру. У кожному з хвилеводів дифракційної структури сигнал, як і раніше, залишається мультиплексний. Далі відбувається відбиття сигналів від дзеркальної поверхні, нарешті світлові потоки знову збираються в хвилеводі-пластині, де відбувається їх фокусування та інтерференція, – утворюються просторово рознесені інтерференційні максимуми інтенсивності, які відповідають різним каналам. Геометрія хвилеводу-пластини, зокрема розташування вихідних полюсів, і довжини



хвилеводів дифракційної структури розраховано таким чином, щоб інтерференційні максимуми збігалися з вихідними полюсами. Мультиплексування відбувається в зворотній послідовності.

Разом з пристроями DWDM, у яких мультиплексуються/демультиплексуються відразу всі канали, впроваджують також нові пристрої, які не мають аналогів у системах WDM і працюють у режимі долучення або вилучення одного та більше каналів основного мультиплексного потоку. У зв'язку з тим, що вихідні порти демультиплексора закріплено за певною довжиною хвиль, говорять, що такий пристрій здійснює *пасивну маршрутизацію* по довжинах хвиль.

DWDM мультиплексори є пасивними пристроями, і вносять велике загасання в сигнал, а тому виникає необхідність налаштування оптичного підсилювача EDFA перед і/або після DWDM мультиплексора.

Для проведення тестів на взаємну сумісність обладнання різних виробників необхідною є стандартизація просторового розташування каналів у волокні.

Сектор зі стандартизації телекомунікацій ІТУ-Т затвердив частотний план DWDM з відстанню між сусідніми каналами 100 ГГц (0,8 нм). Рівномірний розподіл каналів дає змогу оптимізувати роботу хвильових конвертерів, переналаштовуваних лазерів та інших пристроїв АОН.

Сітка 100 ГГц забезпечує можливість організувати ефективно передавання цифрових потоків у каналах на швидкостях 2,4 Гбіт/с (STM-16) (рис. 9.12 а) і 10 Гбіт/с (STM-64) (рис.9.12 б).

У даний час ІТУ-Т розглядають питання про ухвалення частотного плану з іще меншою відстанню між каналами – 50 ГГц ( $\Delta\lambda \approx 0,4$  нм). Цю сітку поки що не стандартизовано. Мультиплексування каналів STM-64 з інтервалом 50 ГГц є недопустимим, оскільки виникає перекриття спектрів сусідніх каналів (див.: рис. 9.12 б)

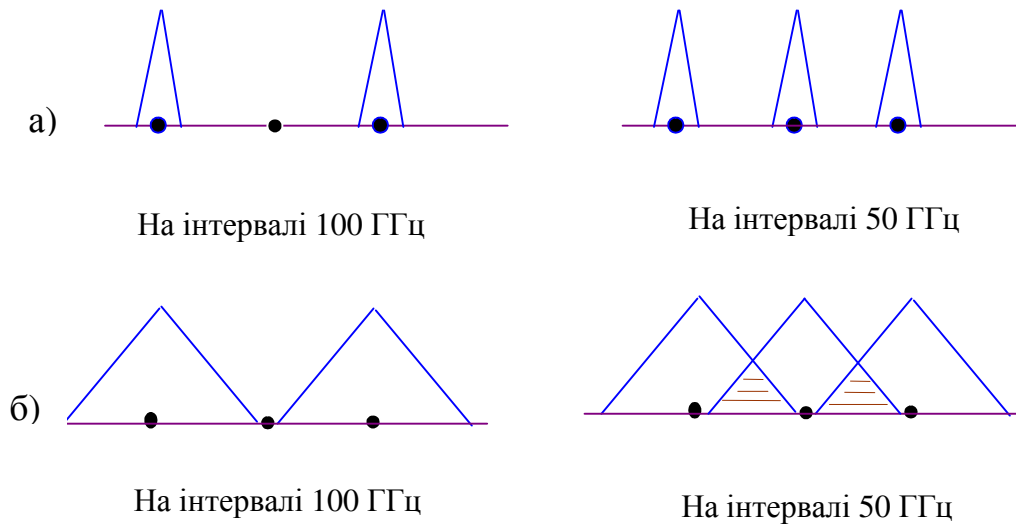


Рисунок 9.12. Спектральне розміщення каналів у волокні

### ***Фотонні технології та обладнання оптичних мереж***

**Технології оптичних мереж** (All-optical Network, **AON**) визначають клас мереж, функціонування яких забезпечують не електронні або оптико-електронні, а тільки оптичні елементи.

Оптичні мережі AON претендують на роль основної мережевої технології, здатної гарантувати надзвичайні швидкості передавання цифрових потоків, як для наявних, так і для майбутніх мережевих інформаційних застосовань. ІТУ-Т

в Рекомендації G.709 визначено **оптичну транспортну ієрархію** (Optical Transport Hierarchy, **ОТН**), яка забезпечує наступні швидкості передавання трафіку: 2.5, 10, 40 Гбіт/с.

Більшість оптичних комунікаційних пристроїв і елементів, застосованих у АОН, використовують *цифрове передавання сигналу з модуляцією інтенсивності мережевого променя*, коли бінарній одиниці відповідає передавання світла великої інтенсивності, а бінарному нулю – передавання світла малої інтенсивності.

На рис. 9.13 наведено типову схему зв'язку з використанням волоконно-оптичної лінії зв'язку, яка реалізує топологію «точка-точка».

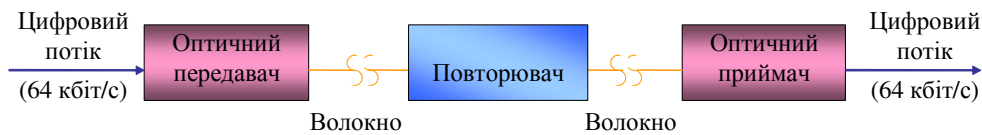


Рисунок 9.13. Типова схема ВОЛЗ

**Оптичний передавач** забезпечує перетворення вхідного електричного цифрового сигналу у вихідний світловий (цифровий) сигнал. Оптичний випромінювач «вмикається» та «вимикається» відповідно до надісланого двійкового потоку електричного сигналу. Для цього використовують інфрачервоні світловипромінювальні діоди або лазери (лазерні діоди). Світлодіоди розраховано на великий діаметр серцевини волокна (багатомодові волокна), а лазери більш придатні для передавання сигналу по одномодовому волокні. Типові значення спектральної смуги випромінювання становлять для світлодіодів від 20 до 100 нм, для одномодових лазерних

діодів – 0,1 нм. Споживана потужність для світлодіодів – близько 10 мВт, для лазерних діодів – близько 1 мВт.

**Оптичний приймач** забезпечує зворотне перетворення вхідних оптичних імпульсів у вихідні імпульси електричного струму. У якості основного елементу оптичного приймача використовують так звані лавинні фотодіоди, які мають дуже малу інерційність.

**Повторювач** складається з оптичного приймача, електронного підсилювача й оптичного передавача. Повторювачі призначено для посилення ослаблого в процесі поширення на велику відстань оптичного сигналу, а також для відновлення фронтів імпульсів.

Повторювач, відповідно до стандарту передавання, може працювати в синхронному або асинхронному режимах.

У *синхронному режимі* приймальний пристрій повторювача регулярно приймає синхроімпульси, за якими налаштовує свій таймер, який задає частоту для подальшого передавання. У лінії при цьому підтримується безперервний бітовий потік. До передавальної послідовності повторювач додає синхроімпульси для синхронізації наступної ділянки.

У *асинхронному режимі* інформація, яка передається, організується в пакети даних. Кожному пакету передують службова група бітів – преамбула, яка синхронізує приймальний пристрій. До прийому преамбули приймальний пристрій перебуває в режимі очікування.

Повторювач, який повністю відновлює початкову форму оптичного сигналу, називають *регенератором*.

**Оптичний підсилювач** не здійснює оптико-електронного перетворення, як це роблять повторювачі або

регенератори. Він, використовуючи спеціальні активні середовища й лазери накачування, безпосередньо підсилює прохідний оптичний сигнал, завдяки індукованому випромінюванню. Таким чином, підсилювач не має функцій відновлення скважності імпульсів. Однак є дві причини, які переконують у доцільності застосування підсилювачів:

- якість сигналу, переданого по оптичному волокні, залишається дуже високою у зв'язку з малою дисперсією та затуханням;
- підсилювач є більш універсальним пристроєм, оскільки він (на відміну від повторювача) не залежить від стандарту передавання сигналу.

За останнім на відміну від регенераторів, підсилювачі забезпечують "прозоре" підсилення, що дає змогу передавати інформацію на більш високих швидкостях і збільшувати пропускну здатність лінії до тих пір, поки не активізуються інші обмежувальні фактори (наприклад, поляризована модова дисперсія). Застосування ж регенераторів не дозволяє збільшувати пропускну здатність ліній.

Підсилювачі також забезпечують підсилення багатоканальних (мультиплексних) сигналів, скорочуючи тим самим кількість дорогих електронних регенераторів на протяжній лінії оптичного зв'язку.

Але, на відміну від регенераторів, у підсилювачів виникає додатковий шум, що необхідно враховувати.

У АОН популярними стали **кремнієво-ербієві підсилювачі** (Erbium Doped Fiber Amplifier, **EDFA**), у яких

застосовано кремнієве волокно, леговане ербієм, і лазер накачування з довжиною хвилі 980 або 1480 нм. Особливості роботи підсилювача залежать від типу домішок та від діапазону довжин хвиль, у межах якого він повинен підсилювати сигнал. У EDFA найбільш широка зона посилення – від 15030 до 1560 нм – досягається за оптимальної довжини хвилі накачування лазера 980 нм. Коефіцієнт посилення сигналу залежить від його вхідної амплітуди та довжини хвилі. Якщо вхідні сигнали не потужні, то амплітуда вихідного сигналу лінійно зростає залежно від зростання вхідного сигналу, а коефіцієнт підсилення набуває при цьому свого максимального значення. Якщо вхідний сигнал – значний, то сигнал на виході стає ще потужнішим, що призводить до зниження коефіцієнта підсилення. Працюючи в діапазоні від 1535 до 1560 нм, вони можуть забезпечувати підсилення вхідного сигналу на 30 – 35 дБ.

Існують два різновиди підсилювачів EDFA з домішковим волокном: на кремнієвій основі та на фтор-цирконатній основі. Ці підсилювачі мають дуже подібну внутрішню будову, відрізняються тільки заготівковим волокном.

Характерним для всіх оптичних підсилювачів, як вже зазначалося, є широкопasmовий власний шум. Виникнення цього шуму, уникнути якого неможливо, зумовлено спонтанним випромінюванням інверсно-заселених рівнів на домішкових атомах.

**Хвильові перетворювачі (конвертери)** призначено для перетворення однієї довжини хвилі в іншу, із забезпеченням прозорого зв'язку між пристроями в різних сегментах.

**Фільтри** призначено для виділення одного потрібного каналу з безлічі мультиплексних каналів у волокні. Опції фільтру може виконувати оптичний демультиплексор.

**Пасивні оптичні мультиплексори** забезпечують функцію збирання декількох простих сигналів різних довжин хвиль з декількох волокон у мультиплексний сигнал, який поширюється по одному волокні. **Демультиплексори** виконують зворотну функцію.

**Хвильове ущільнення** (Wavelength Division Multiplexing, **WDM**) може здійснюватися за допомогою WDM-фільтра.

Узагальнюючи, зазначимо, оскільки важко передбачити потреби розподілення смуги пропускання в транспортних мережах METRO, то, мабуть, переваги матимуть ті архітектури, які допускають більш плавне нарощування своїх ресурсів у більш широких межах. Наприклад, порівнюючи два способи нарощування системи до забезпечення швидкості потоку 800 Гбіт/с: 8 x STM-64 і 32 x STM-16, можна зробити корисні висновки. У першому варіанті маємо більший крок нарощування (10 Гбіт/с), водночас, у другому варіанті при кроці 2,5 Гбіт/с нарощування можна здійснювати більш плавно. Крім того, WDM-мультиплексування для великої кількості хвильових каналів, їх цілковита подальша оптична крос-комутація, а також долучення/вилучення є більш простим рішенням, ніж попереднє електронне агрегування потоків STM-16 у меншу кількість потоків STM-64 на терміналі SDH.

## ***Телекомунікаційні технології та обладнання каналного рівня METRO***

На каналному рівні METRO реалізується **базова сервісна мережа** з комутованою топологією та використанням на фізичному рівні двоточкових з'єднань первинної мережі.

Функції технологій каналного рівня можуть виконувати як технології синхронного режиму перенесення (тимчасова комутація цифрових каналів), так і асинхронного режиму перенесення (комутовані віртуальні канали та віртуальні з'єднання), які детально розглянуто в розділі 7. Залежно від застосовуваної технології каналного рівня можна утворити відповідні сервісні мережі: ТфЗК, ISDN, мережу Х.25, мережу FR, мережу АТМ, мережу Ethernet, мережу GE, мережу 10GE та ін.

Комутована топологія в транспортних мережах METRO утворюється з використанням комунікаційного обладнання каналного рівня моделі OSI/ISO – магістральних комутаторів.

### ***Магістральні комутатори***

Функція комутації в територіальних сегментах може бути виконана різними способами: комутацією каналів, пакетів, комірок. Для реалізації кожного із способів комутації необхідним є спеціальний комутатор. Незважаючи на чітко визначену тенденцію переходу до єдиного типу мереж з пакетною комутацією, комутацію каналів все ще застосовують у наявних мережах тому, що широкого впровадження в попередні періоди набули комутовані телефонні мережі.



Телефонні станції – це ті місця, де ще до сьогодні працюють комутатори каналів.

У транспортних територіальних мережах з пакетною комутацією функції комутації виконують магістральні комутатори, які працюють на основі технологій віртуальних каналів і підтримують два або три нижніх рівні протоколів моделі OSI/ISO. Топологія фізичних зв'язків територіальних мереж може містити петлі, в цьому випадку для автоматичного налаштування віртуального каналу необхідним є протокол мережевого рівня. Нагадаємо, в топологіях типу “дерево” комутаторам достатньо підтримувати всього два рівні протоколів (фізичний та канальний).

Магістральні комутатори можуть оперувати не тільки інформаційними потоками, які надходять із мереж доступу, але і агрегованими інформаційними потоками, які надходять із первинної мережі. Вони відрізняються наявністю різнотипних інтерфейсів для під'єднання комунікацій. Якщо пристрої інтерфейсних блоків магістральних комутаторів визначено специфікою телекомунікаційних технологій, для яких вони призначені, то побудова комутаційних блоків для всіх типів комутаторів стає відносно незалежною.

Розрізняють комутатори з електронними й оптичними комутаційними блоками. Незалежно від цього комутаційні блоки поділяються на три типи:

- комутаційні блоки з колективною пам'яттю;
- комутаційні блоки зі спільним середовищем;
- комутаційні блоки з просторовим розділенням.

**Високошвидкісний комутатор з колективною пам'яттю** є найбільш простим типом комутаторів. Структуру такого комутатора наведено на рисунку 9.14.

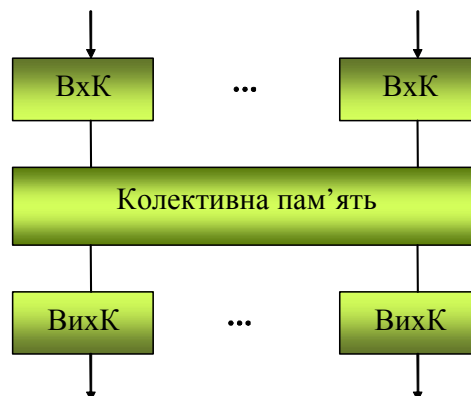


Рисунок 9.14. Комутатор з колективною пам'яттю

Усі вхідні та вихідні контролери (ВХК і ВихК) безпосередньо з'єднано із загальним запам'ятовуючим пристроєм, доступним для запису з усіх вхідних контролерів і читання для всіх вихідних контролерів. Швидкість запису/читання для колективної пам'яті має бути досить високою, щоб можна було обслуговувати одночасно вхідний та вихідний трафіки. Швидкість запису/читання визначається як  $2NV$ , де  $2N$  – кількість портів (входів і виходів),  $V$  – швидкість обміну через один порт. Так, для 32-канального комутатора з каналною швидкістю 150 Мбіт/с швидкість запису/читання має становити не менше 9,6 Гбіт/с.

У комутаторі зі спільним середовищем усі пакети, які надходять за вхідними каналами, синхронно мультиплексуються в спільне середовище з високою

швидкістю передавання, яким може виступати “загальна шина” з розділенням за часом (рис.9.15) або “кільце” (рис. 9.16).

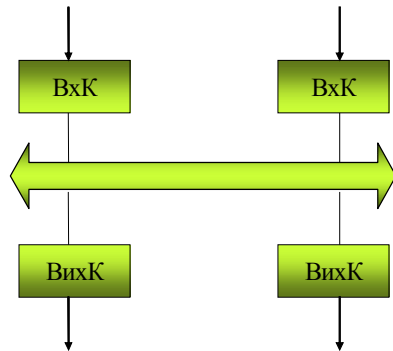


Рисунок 9.15. Шинна структура комутатора

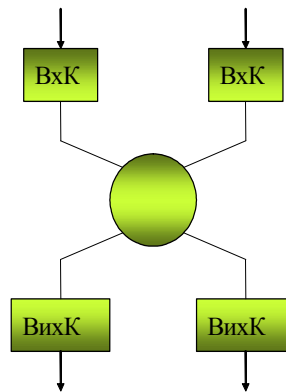


Рисунок 9.16. Кільцева структура комутатора

Відмінність комутаторів зі спільним середовищем від комутаторів із колективною пам'яттю полягає в тому, що в перших здійснюється роздільне використання пам'яті вихідними чергами, яке реалізовується у вигляді великого пристрою пам'яті вихідних контролерів. Це призводить до незалежного формування вихідних черг пакетів з дисципліною обслуговування "першим прийшов – першим обслугован" (Fi-Fo).

На відміну від варіантів архітектури зі спільною пам'яттю й спільним середовищем, для яких характерним є мультиплексування вхідного трафіку всіх вхідних каналів в єдиний швидкісний потік із наступним розподілом його за виходами, в комутаторі з просторовим розділенням від входів до виходів налаштовується декілька з'єднань усередині комутаційної системи, швидкість передавання по кожному з яких може дорівнювати швидкості передавання з одного вхідного каналу.

Передавання пакетів усередині комутаційної системи відбувається по віртуальних каналах, аналогічно до того, як це виконується в мережі. Комутація пакетів здійснюється в комутаторі на основі аналізу керувальної інформації, розміщеної в заголовку пакета. Керування комутатора може бути як централізованим, так і розподіленим.

Комутатори з даним типом архітектури мають певні недоліки. Для деяких конкретних внутрішніх структур іноді неможливо налаштувати всі необхідні з'єднання. Цю особливість названо *внутрішнім блокуванням*, що обмежує пропускну здатність комутатора та становить серйозну проблему для створення комутаторів з просторовим розділенням.

Комутатори з просторовим розділенням розподіляють на дві групи: *матричні* та типу "баньян".

Розглянемо принципи реалізації кожної з груп комутаторів.

**Матричні комутатори.** Основою комутаційної структури матричного типу є квадратний масив з  $N^2$  елементів комутації (ЕК), по одному на кожну пару "вхід-вихід" (рис. 9.17). Замикання ЕК, яке знаходиться в точці перемикання, утворює фізичне з'єднання  $i$ -го входу з  $j$ -м виходом. ЕК можуть перебувати в двох станах: *наскрізному* або *перехресному*. Припустимо, що спочатку всі ЕК перебувають у наскрізному стані. Для з'єднання  $i$ -го входу з  $j$ -м виходом досить перевести  $(i, j)$ -й ЕК в перехресний стан, а інші ключі залишити в наскрізному стані. Необхідне перемикання ЕК у перехресний стан може бути здійснено найшвидшим пакетом індивідуально, якщо в ньому міститься номер потрібного

виходу. Глобальної інформації щодо всіх пакетів і необхідних для них виходів при цьому не вимагається. Цю властивість називають *самомаршрутизацією*, що дає змогу суттєво спростити керування комутаційною структурою за рахунок розподілу керувальних функцій по всіх ЕК.

Збільшення  $N$  (понад двох десятків) значно ускладнює роботу комутатора матричного типу.

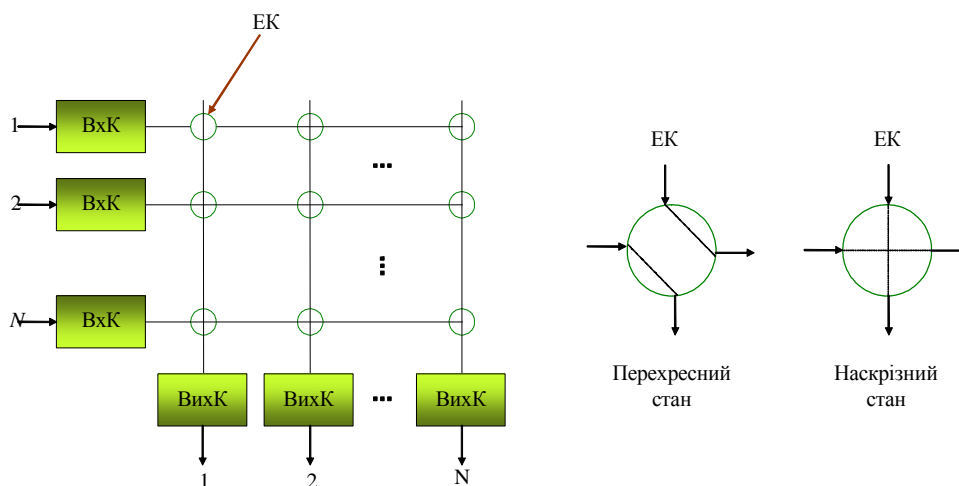


Рисунок 9.17. Комутатори матричної структури

**Комутатори типу “баньян”.** (Назва типу походить від назви видів дерев роду фікусових (фікус бенгальський, фікус священний), що ростуть в Індії. Це велетенські дерева з повітряним корінням, яке утворюється з стовбура і гілок і, вкорінюючись, підтримує крону). Комутатори типу “баньян” є альтернативою матричних комутаторів і ґрунтуються на багатокаскадних мережах. Основними структурними компонентами багатокаскадної мереж є розгалужувачі та концентратори, реалізовані за допомогою елементарних (2×2)

перемикачів, які можуть перебувати в двох станах – наскрізному й перехресному.

Розгалужувач (рис. 9.18) на  $N = 2^k$  виходів можна побудувати у вигляді двійкового дерева з  $k$  розгалуженнями на  $N-1$  перемикачі. У цьому “дереві” існує єдиний шлях від “кореня” (входу) до кожного з “листіків” (виходів). Очевидно, що такий розгалужувач має властивість самомаршрутизації.

Конструкція концентратора є такою ж, як у розгалужувача, тільки “коренем” є вихідний канал, і налаштування перемикачів починається з “кореня” (вихідного каналу).

Можливим є спільне використання перемикачів кількома розгалужувачами та концентраторами. Шляхом долучення пар вхідних каналів до вже наявної структури можна з'єднати між собою  $N$  входів та  $N$  виходів, використовуючи всього лише  $(N/2) \log_2 N$  перемикачів (рис. 9.19).

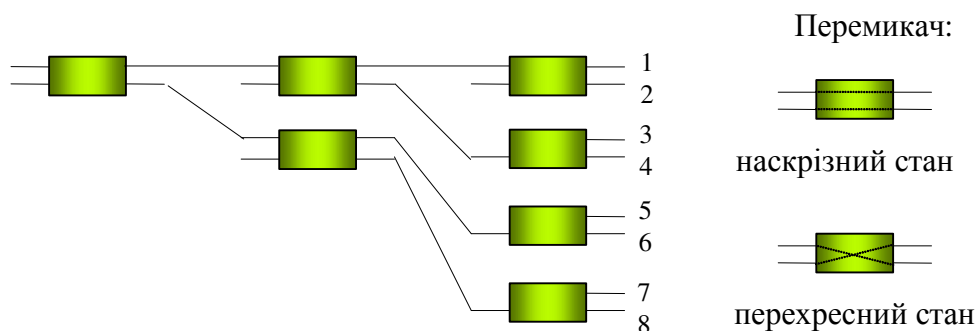


Рисунок 9.18 - Двійкове “дерево”, яке з'єднує вхідний канал з вихідними за допомогою перемикачів

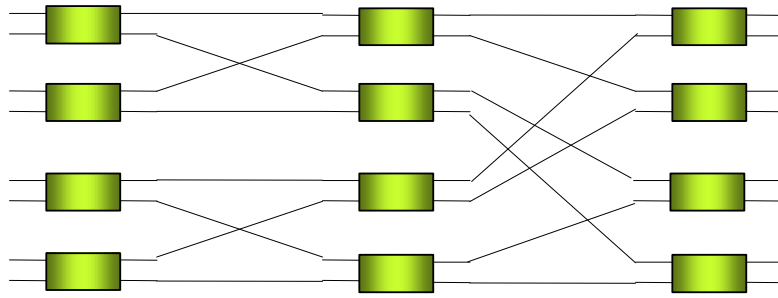


Рис. 9.19 - Коммутатор типу „баньян” на 8 входів і 8 виходів

Однак незалежно від конкретного різновиду, всі  $N \times N$  багатокаскадні КС мають такі основні властивості:

- снує єдиний шлях до КС, який з'єднує вхідний канал з вихідним;
- налаштування з'єднання може здійснюватися децентралізовано з використанням процедури самомаршрутизації;
- в усіх структурах можливим є одночасне налаштування не більше від  $N$  з'єднань;
- структура КС є регулярною, що забезпечує зручність її реалізації на НВІС;
- структура КС є модульною, що дає змогу нарощувати її без необхідності модифікувати фізичне компонування або алгоритми.

Існує велика кількість різноманітних багатокаскадних структур. Фахівці різних країн, досліджуючи багатокаскадні комутаційні системи (КС), виробили комплекс типових рішень, реалізованих провідними фірмами-виробниками, наприклад у обладнанні мереж АТМ.

Використання технології АТМ у транспортних мережах METRO дало змогу створити перші мультисервісні мережі, які працюють у асинхронному режимі. Це вирішувало чимало телекомунікаційних проблем практично відразу, без особливого зосередження на таких важливих аспектах, як сигналізація, маршрутизація, адресація та ін. Однак висока вартість реалізації технології АТМ стримала її широке впровадження.

Перспективним напрямком у побудові транспортних мереж METRO є використання обладнання мереж Ethernet (GE, 10 GE). Воно презентовано на ринку комутаторами 3-го рівня (маршрутизувальними комутаторами), що успішно застосовують для побудови високошвидкісних магістралей з використанням волоконно-оптичного кабелю. Інтерфейс комутатора 3-го рівня GE 1000Base-X ґрунтується на стандарті фізичного рівня Fiber Channel (FC). Устаткування Ethernet усіх поколінь є сумісним і використовує відкриті стандарти. Це забезпечує можливість повної сумісності транспортних мереж та мереж доступу. Поверх Ethernet можна передавати голос, відео й дані. Трафік Ethernet може інкапсулюватися в контейнери SDH і передаватися поверх WDM.

#### **9.4. Транспортні мережі METRO на основі обладнання повністю оптичних мереж**

При зростанні обсягу інформації, яка передається в мережі, з часом постає завдання нарощування її ємності. Це може бути вирішено за допомогою заміни комутаційного електронного обладнання в центральних вузлах на більш



потужне, розраховане на швидкості передавання 1; 2,5 або до 10 Гбіт/с, а також таке, яке матиме можливість варіювати механізми комутації, та за допомогою залучення резервних (раніше не використовуваних) волокон у прокладених кабелях. Якщо всі резервні волокна використано, вихід один – прокладання нового кабелю (якщо це можливо) в наявній каналізації, але таке рішення може виявитися негнучким і не завжди швидким. Інший шлях – упровадження фотонних технологій та побудова нових магістралей на основі технологій повністю оптичних мереж (AON), що дозволяє значно підвищити пропускну здатність мережі, її гнучкість і надійність без переобладнання вже створеної її частини.

Розрізняють три категорії AON:

- AON, які використовують прості багатомодові лінії;
- AON із комутацією каналів;
- AON із комутацією пакетів.

Перші дві категорії мають одну важливу особливість – прозорість мережі відносно застосування. Оптична прозорість (передавання оптичного сигналу у форматі застосування – коду, частоти модуляції та ін.) забезпечується з будь-якого з оптичних WDM каналів від вузла-джерела до вузла-призначення без використання проміжних пристроїв перетворення сигналу. Прозорі AON, крім суто пасивних компонентів (мультиплексорів, відгалужувачів), можуть містити активні елементи, такі, як конфігуровані хвильові маршрутизатори, комутатори, перетворювачі. Навіть якщо керування цими пристроями – електронне, весь шлях

поширення сигналу залишається оптичним. Електронне керування й контроль потребують меншої смуги пропускання й використовується головним чином для керування конфігурацією вузлів, WDM каналів при задоволенні різноманітних вимог користувачів.

Оптичним термінальним обладнанням у прозорій AON у загальному випадку є переналаштовувані лазерні передавачі, переналаштовувані фільтри. Дві кінцеві системи мережі можуть організувати канал зв'язку через таку мережу за допомогою налаштування на певні дві хвилі (прийому та передачі), які їм надає мережевий контролер оптичного терміналу (доступу в AON), опрацювавши відповідний попередній запит. Після налаштування з'єднання магістральний канал стає прозорим відносно застосування.

Допускається й більш цікавий варіант, коли вся група користувачів може отримати відповідний набір довжин хвиль від прозорої AON та організувати свою віртуальну мережу. Таким чином, прозора AON має необмежені можливості під'єднувати користувачів.

### ***Проста багатохвильова лінія зв'язку***

**Проста багатохвильова лінія зв'язку (Simple Multi – Wavelength Link, SMWL)** – це тип AON, найпростіший спосіб організації мережі, яка забезпечує множини з'єднань "точка-точка" між однотипними кінцевими системами, які взаємодіють на певних, призначених тільки для них, довжинах хвиль.

Перевагами такої мережі є:

- велика смуга пропускання, що надається кожній парі користувачів, які взаємодіють між собою;
- висока надійність зв'язку завдяки гарантованій смузі пропускання (для кожного каналу – окрема довжина хвилі);
- прозорість кожного каналу мережі щодо вибору мережевого застосовання між кінцевими пристроями.

Недоліком є наявність жорстко фіксованих з'єднань по каналах.

Багатохвильова лінія SMWL не є повноцінною мережею, оскільки не дає змогу з'єднати користувачів за принципом "кожний з кожним". Вона виконує функції суто транспортної магістралі високої ємності та, подібно до магістралей SDH, забезпечує статичне з'єднання "точка-точка". Багатохвильові лінії SMWL можуть входити до складу більш складних архітектур повністю оптичних мереж.

### ***AON із комутацією каналів***

AON із комутацією каналів складається з **пасивних оптичних мереж** (Passive Optical Network, **PON**) і AON з **активною хвильовою маршрутизацією**.

PON – це повністю оптичні мережі, у яких застосовано тільки пасивні оптичні компоненти (направлені відгалужувачі, хвильові мультиплексори та фільтри). Особливістю PON є низька ціна та малі витрати на експлуатацію. У PON частково

можливим є (для значних відстаней) використання оптичних підсилювачів EDFA, хоча вони й не є суто пасивними елементами.

Розрізняють PON таких типів: *широкомовні AON та AON з пасивною хвильовою маршрутизацією.*

**Широкомовні AON.** Для кожного елемента широкомовної AON зазвичай визначено певну довжину хвилі, на якій він здійснює передавання. Сигнали з усіх віддалених пунктів збираються в оптичному пасивному зірчатому

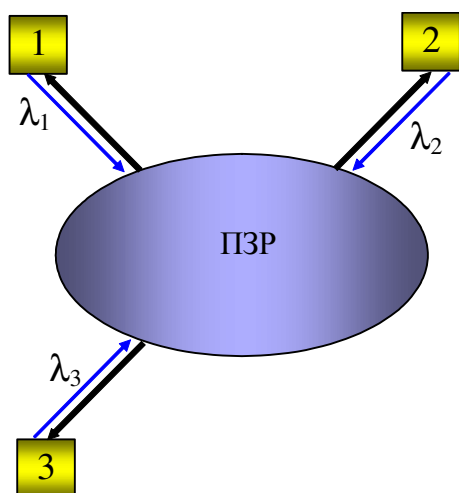


Рисунок 9.20. Широкомовна AON

розгалужувачі (ПЗР), де вони змішуються та розподіляються за вихідними полюсами у волокна спрямовані назад до віддалених пунктів (рис. 9.20). Кожен пункт отримує мультиплексний сигнал, поданий усіма довжинами хвиль.

Кожен віддалений пункт самостійно визначає, канал якої довжини йому вибрати з мультиплексного потоку. Приймальним елементом може стати або переналаштовуваний фільтр з одним фотоприймачем, або демультимплексор WDM з великою кількістю фотоприймачів, під'єднаних до вихідних полюсів.

Оскільки центральний вузол широкомовної AON та всі оптичні елементи є суто пасивними, така мережа має дуже високу надійність. Кількість пунктів у мережі обмежується максимальною кількістю каналів, які можна мультиплексувати

в одне волокно. Технічна межа, яка тут може бути досягнута завдяки використанню технології щільного хвильового мультиплексування DWDM становить близько 200.

**АОН з пасивною хвильової маршрутизацією.** У такій мережі сигнал певної довжини хвилі може переспрямовуватися (статично маршрутизуватися) до пункту призначення через послідовність проміжних вузлів, замість того, щоб ширококомовно розподілятися між усіма кінцевими пунктами мережі. Це дає змогу економити енергію оптичного сигналу завдяки відсутності розгалужувачів та одночасно використовувати сигнали однієї й тієї ж довжини хвилі в різних частинах мережі, які не перетинаються (рис. 9.21).

Проміжні вузли з пасивною хвильової маршрутизацією – це статичні маршрутизатори, розроблені на основі WDM мультиплексорів.

**АОН з активною хвильової маршрутизацією.**

Подальше нарощування мережі пов'язано з переходом до динамічної маршрутизації, яка є активною, дозволяє дистанційне конфігурування й передбачає вико-

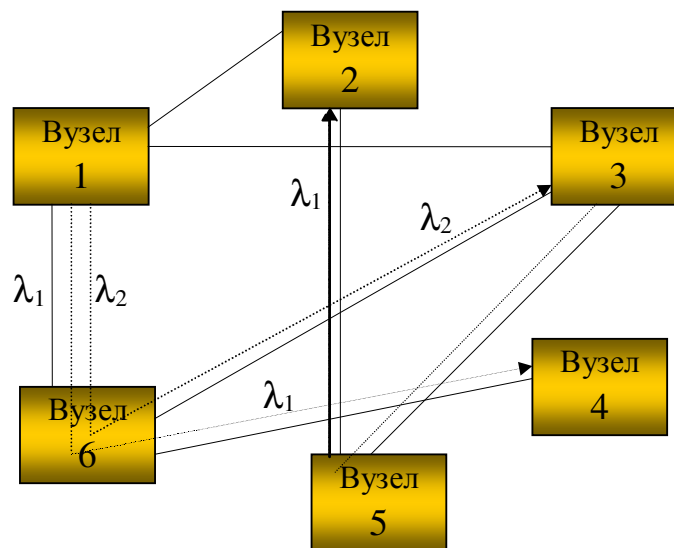


Рисунок 9.21. АОН з пасивною хвильовою маршрутизацією

ристання оптичних комутаторів. На рисунку 9.22 показано багаторівнева АОН із комутацією каналів, у якій на рівні груп

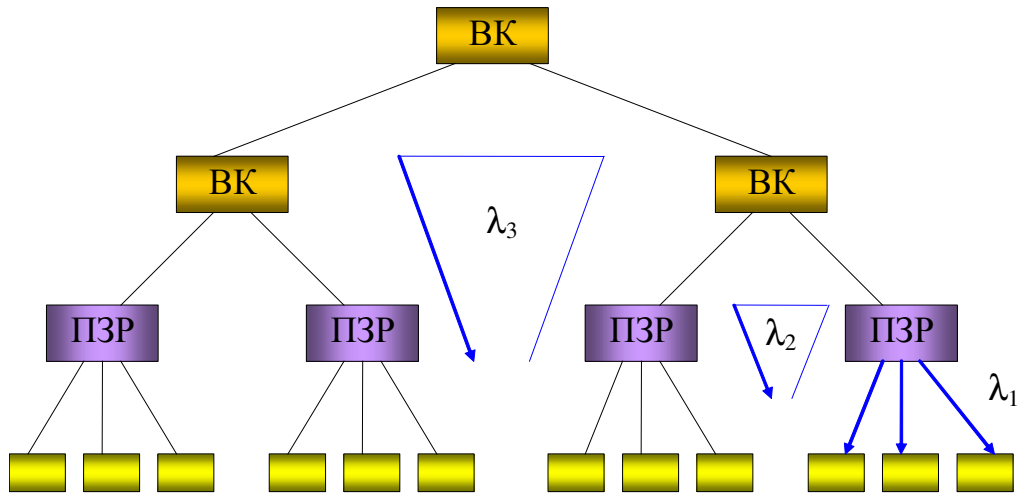


Рисунок 9.22. АОН із комутацією каналів:  
ПЗР - Пасивний зірчатий розгалужувач

реалізовано широкомовну АОН. У кожній групі локально можна використовувати один і той же набір довжин хвиль. На більш високому рівні реалізовано мережу з динамічною хвильовою маршрутизацією. Динамічна маршрутизація в АОН з комутацією каналів надає мережі значну гнучкість.

Для досягнення максимальної масштабованості мережі крім активної хвильової маршрутизації повинна бути реалізована **хвильова конверсія**, яка надає можливість налаштовувати з'єднання між хвильовими каналами з різними довжинами хвиль. Хвильова конверсія також дає змогу ефективно застосовувати обмежену кількість хвильових каналів шляхом використання однієї довжини хвилі в різних з'єднаннях.

На рисунку 9.23 наведено приклад мережі з центральним вузлом на основі **хвильових конвертерів**.

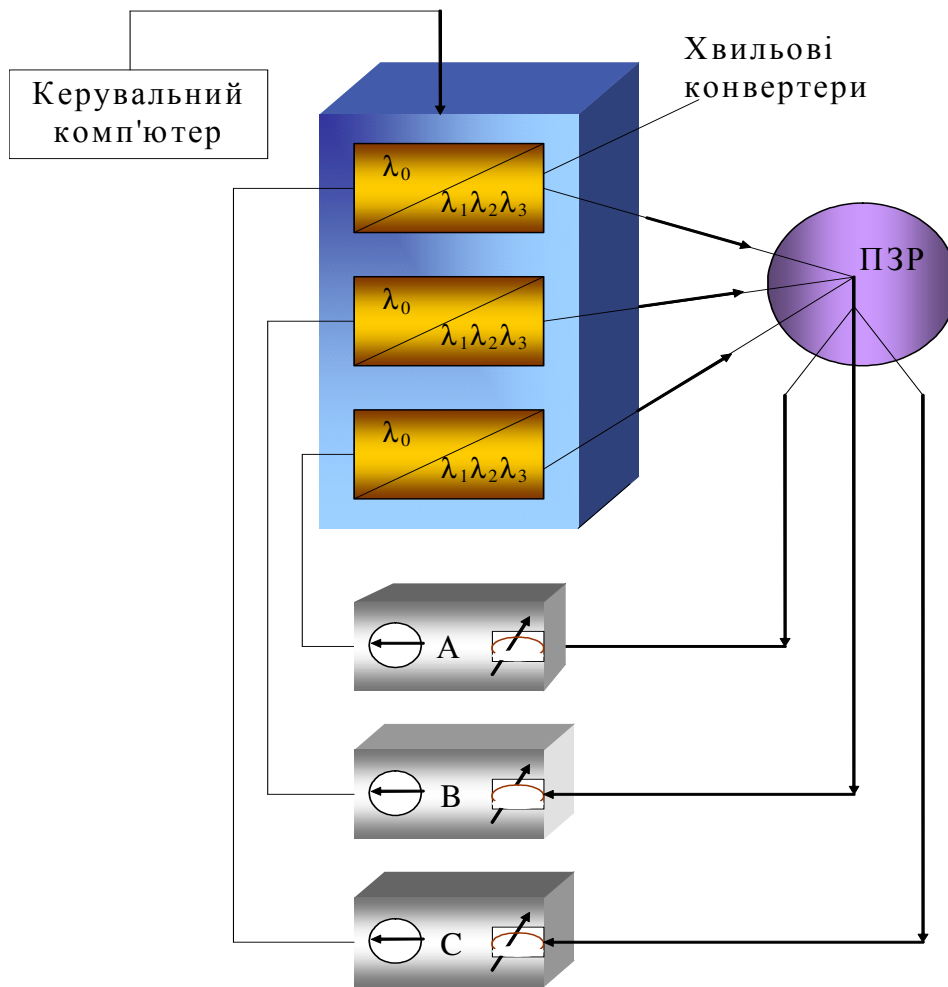


Рисунок 9.23. Центральний вузол AON на основі хвильових конвертерів А, В, С – віддалені вузли

Кожен вузол передає сигнал на фіксованій довжині хвилі, а також веде прийом на налаштованій для даного вузла (фіксованій) довжині хвилі. Вибір довжини хвилі для передавання не є принциповим, зокрема всі вузли можуть передавати на однаковій довжині хвилі. Центральний вузол комутації приймає оптичні сигнали від усіх віддалених вузлів і конвертує їх у сигнали інших довжин хвиль відповідно до

команд керувального комп'ютера. ПЗР змішує сигнали різних довжин хвиль та розподіляє по всіх вихідних полюсах.

Логічному з'єднанню для кожної пари віддалених вузлів (А, В, С) передуює налаштування відповідних конвертерів.

Головним недоліком такого підходу є відносно тривалий процес встановлення з'єднання.

Основною перевагою розглянутої централізованої комутованої мережі є те, що її вартість (при забезпеченні швидкості передавання 1 Гбіт/с й більше) є значно нижчою від вартості мережі з суто електронним комутатором у центральному вузлі.

### ***AON із комутацією пакетів***

AON із комутацією каналів хоч і дають змогу будувати оптичні магістралі, прозорі для використання будь-яких застосовань кінцевих систем, мають один недолік: вони не можуть ефективно працювати з "вибуховим трафіком" від локальних мереж. У зв'язку з цим упровадження повністю оптичних мереж з комутацією пакетів є більш оптимальним використанням відведеної смуги пропускання оптичних каналів.

Комутація пакетів у AON – це абсолютно новий напрямок розвитку транспортних мереж.

Розрізняють два методи пакетної комутації в AON:

- послідовна бітова комутація;
- паралельна бітова комутація.



Оптична **послідовна бітова комутація** (Bit-sequential Packet Switching, **BSPS**) – це метод прямого керування *електронікою* комутаційних елементів, на відміну від методів, які застосовано в мережах з комутацією каналів. У процесі використанні BSPS заголовок пакета в каналі обраної довжини хвилі кодується послідовністю з *p-бінарних* бітів (бітова одиниця визначається наявністю оптичного сигналу, а бітовий нуль – його відсутністю). Ці біти налаштовують комутатор таким чином, що тіло пакету, яке іде після заголовку, вільно рухається скрізь комутатор до відповідного вихідного полюса. Оскільки комутатор прозорий для тіла пакету, то така мережа зберігає свою назву – *повністю оптичної мережі*. Для заголовку з *p* бітів існує  $2^p$  різних адрес вузлів мережі. Хвильове мультиплексування значно збільшує передавальну ємність, але спричинює додаткове ускладнення. Перш ніж виконати пакетну комутацію каналів, необхідно попередньо демультиплексувати складний сигнал, а на виході комутаторів повторно мультиплексувати відповідні вихідні симплексні канали.

**Самомаршрутувальна мережа з хвильової адресацією** (Self-routed Wavelength-Addressable Network, **SWANET**) є результатом удосконалення бінарної BSPS архітектури. SWANET використовує переваги BSPS і WDM, у результаті чого значно збільшується допустима кількість різних адрес, визначена бітами заголовків пакетів (рис. 9.24).

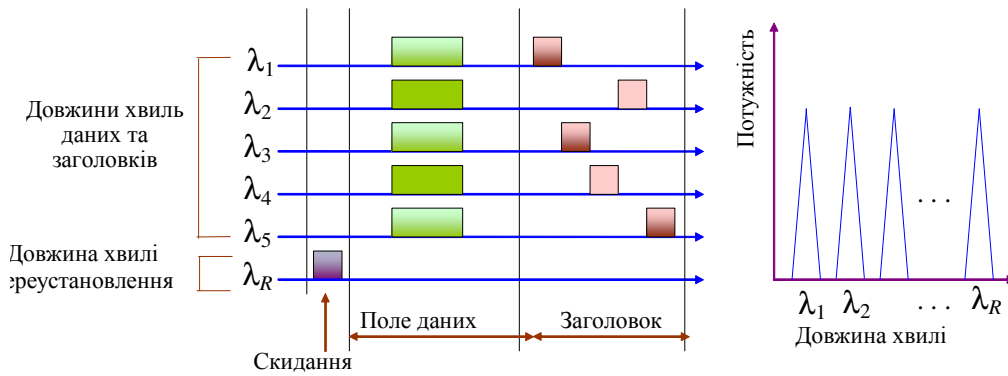


Рисунок 9.24. Структура пакету в мережі SWANET

SWANET має аналогічну до BSPS структуру пакета. Заголовок, за яким слідує поле даних, кодується послідовністю із  $p$  бітів, охоплюючи відразу декілька хвильових каналів. Заголовок і поле даних використовують однаковий набір довжин хвиль. Якщо число довжин хвиль  $k$ , то кожен біт заголовка є одиницею (є сигнал) на одній з довжин хвиль, водночас на інших  $k-1$  каналах сигналу в цей час немає. Таким чином, повне число різних конфігурацій заголовка (максимальне число кінцевих вузлів мережі) становить  $k^p$ . Для необхідної комутації всього мультиплексного каналу комутатор налаштовує відповідно біти заголовка. Завершення передавання пакета відбувається за допомогою передавання сигналу «Скинути» на спеціальній довжині хвилі, виділеній тільки для цієї мети. Оскільки мережа є прозорою відносно формату поля даних, то це поле може охоплювати як одне інтегроване багатохвильове передавання, так і велику кількість не пов'язаних між собою передавань індивідуальними каналами. У першому випадку необхідною є синхронізація між полями даних різних каналів, у другому – така синхронізація

не є обов'язковою. Обмеженням SWANET є дисперсія та поперечні перешкоди.

Для реалізації мереж з **паралельною бітовою комутацією** (Bit-parallel Packet Switching, **BPPS**) запропоновано дві різні техніки кодування: **техніка мультиплексування частоти-носія** (Sub-Carrier Multiplexing, **SCM**) і **техніка багатохвильової BPPS**. Обидві техніки використовують окремі канали в одному й тому ж волокні для передавання даних і власне заголовка, на основі якого відбувається перемикання станів комутаторів. Заголовок пакета передається в даному випадку не послідовно, а паралельно з даними, що дає змогу збільшити пропускну здатність.

У техніці **SCM** дані та заголовок кодуються як дві різні підносії оптичного носія, а далі передаються одночасно (рис. 9.25 а). **SCM** ефективно використовує наявний спектр за рахунок обмеження бітової швидкості, яка повинна бути меншою, ніж частота-підносій. Таким чином, **техніка SCM** є придатною, коли весь спектр сигналу даних обмежено, тобто бітова швидкість даних є не дуже висока.

**SCM** має чимало обмежень щодо повністю оптичних мереж. Основне з них пов'язано з неможливістю уникнути складних електронних перетворень підносія заголовка й даних у комутаторі, оскільки перед початком комутації дані й заголовок повинні бути демультимплексовані. Друге обмеження пов'язано зі специфікою поширення складного сигналу волокном. Оскільки заголовок і дані мультиплексовано в канал однією й тією ж частотою-носієм, то передавач, який має обмежені ресурси, повинен забезпечити достатню потужність

для всіх сигналів, що зменшує потужність кожного з сигналів окремо.

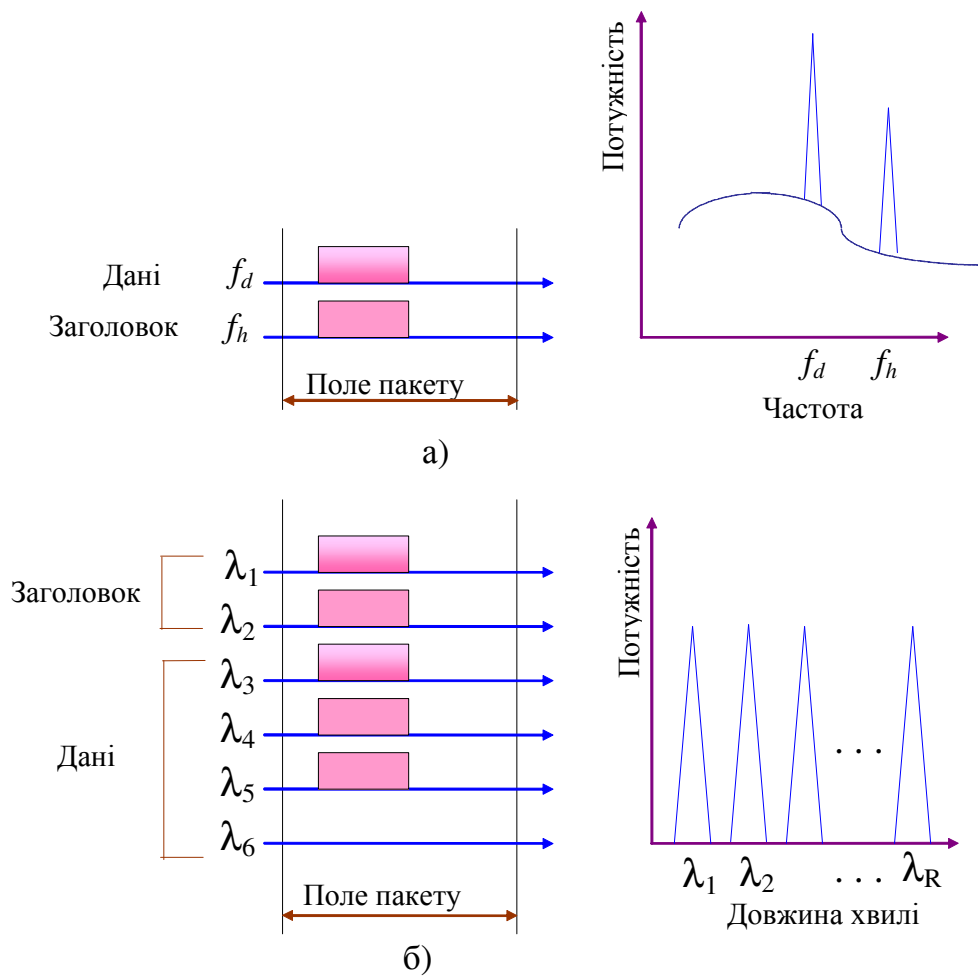


Рисунок 9.25. Структура пакету в мережах:

а - з технікою мультиплексування частот-  
підносіїв;

б - з технікою багатохвильової паралельної бітової  
комутації

Модифікацією SCM є метод, при якому дані передаються на основному носії, а заголовок

мультиплексується на підносії. У цій техніці частота-підносій не обмежує бітову швидкість передавання даних. Оскільки заголовок не вимагає високої бітової швидкості передавання, то для нього межове співвідношення сигнал/шум може бути значно нижчим, що допускає більше затухання сигналу в волоконно-оптичній лінії.

Багатохвильова паралельна бітова комутація – це техніка кодування, у якій даним і заголовку приписують різні набори довжин хвиль. На відміну від традиційного хвильового мультиплексування, де кожен пакет пов'язано з певною довжиною хвилі, в цій техніці пакет (як і заголовок) зв'язується з декількома довжинами хвиль (рис. 9.25 б).

Чимало особливостей вирізняють багатохвильову паралельну бітову комутацію як кращу, у порівнянні з SCM, для використання в повністю оптичних мережах. По-перше, просту оптичну фільтрацію хвильових каналів виконати легше, ніж радіочастотне виділення підносія. По-друге, можна виконати кодування заголовка так, що він розпізнаватиметься комутатором, а комутація відбуватиметься на пакетних швидкостях замість швидкостей даних. І, нарешті, оскільки для кожної довжини хвилі використовують окремі джерела, то не виникає проблеми, пов'язаної з втратою потужності.

ITU-T розробив для **оптичної транспортної мережі** (Optical Transport Network, **OTN**) набір специфікацій, який описує високошвидкісну комутовану архітектуру. Інтерфейс OTN визначено у стандарті G.709.

## 9.5. Транспортні мережі CORE

Створення глобальної телекомунікаційної мережі засновано на об'єднанні різних за технологічними ознаками базових сервісних мереж. Їх взаємодія здійснюється з використанням протоколу мережевого рівня моделі OSI/ISO – **IP** (Internet Protocol). Це означає, що сьогодні кожна мережа повинна бути здатною передавати трафік протоколу IP, і розглядатися на мережевому рівні як *логічна мережа*. У зв'язку з цим, усі мережі, які розглядаються на мережевому рівні, ще прийнято називати **IP-мережами**. Різниця IP-мереж полягає лише у використовуваних під рівнем IP технологіях каналного та фізичного рівнів. Архітектуру глобальної мережі наведено на рисунку 9.26.

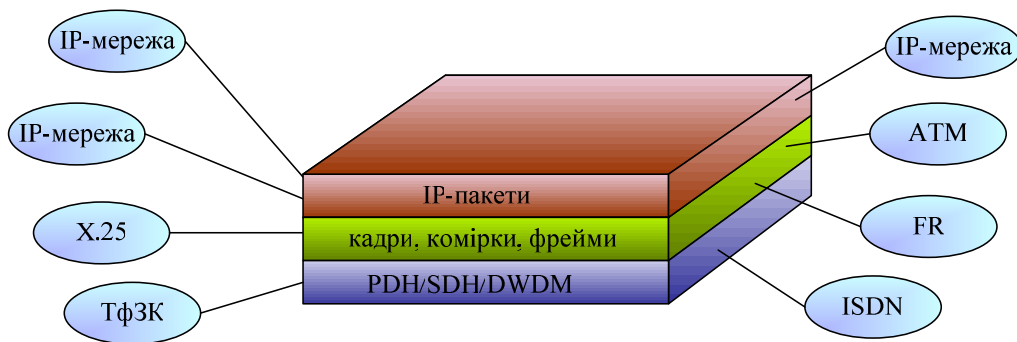


Рисунок 9.26. Архітектура глобальної телекомунікаційної мережі

Сегмент формування транзитного трафіку (СФТТ) у глобальній мережі є *опорною мережею ядра* (Core Network) і отримав назву «**транспортна мережа CORE**». Це мережа, яка надає **сервіси мережевого рівня** (Internet network Services, **IS**).

Сервіси мережевого рівня забезпечуються протоколами маршрутизації (детальніше: в розділі 11).

Основним комунікаційним обладнанням мережевого рівня моделі OSI/ISO в глобальній мережі є магістральні маршрутизатори та транспортні шлюзи.

**Магістральні маршрутизатори** оперують агрегованими інформаційними потоками, які переносять дані великої кількості з'єднань користувачів. Вони мають високошвидкісні інтерфейси, такі, як ATM 155/622 Мбіт/с, GE, 10GE, а також інтерфейси SDH зі швидкостями від 155 Мбіт/с до 10 Гбіт/с. Магістральні маршрутизатори повинні підтримувати декілька таких інтерфейсів. Очевидно, для того, щоб не створювати “вузьких місць” у транспортній мережі CORE, магістральний маршрутизатор повинен мати дуже високу продуктивність, якої можна досягти описаними в попередньому розділі способами побудови комутаційних блоків. Процесори, якими обладнано інтерфейсні блоки (порти) магістрального маршрутизатора, самостійно виконують просування IP-пакетів на основі локальних копій таблиць маршрутизації. Функції просування IP-пакетів є набагато складнішими від функцій обробки кадрів технологій каналного рівня.

Велика кількість інтерфейсів, типова для магістрального маршрутизатора, дає змогу будувати надлишкові топології, які наближаються до повнозв'язних схем, і тим самим забезпечувати відмовостійкість мережі.

Якщо маршрутизатор підтримує декілька протоколів мережевого рівня, його називають *мультипротокольным маршрутизатором*.

**Транспортні шлюзи** призначено для об'єднання окремих сегментів з суттєво різними принципами формування трафіку, наприклад звичайної телефонії та IP-телефонії, що є особливо актуальним для конвергенції мереж з комутацією каналів і комутацією пакетів.

На відміну від маршрутизаторів, які функціонують тільки на мережевому рівні, шлюзи виконують функції перетворення протоколів більш ніж на одному рівні моделі OSI/ISO. Таким чином, шлюзи забезпечують в єдиній мережі взаємодію систем з різними архітектурами та різними протоколами передавання даних на декількох рівнях.

Шлюзи можуть бути реалізовані програмно або апаратно, але частіше вони є комбінацією обох засобів.

В Інтернеті шлюзи використовуються для об'єднання так званих *автономних систем* (декілька логічних мереж під єдиним адміністративним керуванням, зазвичай, одного сервіс-провайдера, котрий визначає, які протоколи маршрутизації повинні використовуватися в автономній системі). Транспортні шлюзи в даному випадку називаються **зовнішніми шлюзами**.

### ***Технологія MPLS***

У середині 90-х років цілком придатною вважалася багаторівнева структура, в якій під рівнем IP передбачено використовувати мережі ATM і Frame Relay (FR), а на фізичному рівні – SDH/PDH або DWDM. Застосування такої архітектури та ще з двома рівнями передавання пакетів (на каналному з використанням віртуальних каналів і на



мережевому, в основному, датаграммним способом) робило глобальну мережу дуже складною і дорогою. Проте вважалося, що ці недоліки можна не брати до уваги, оскільки перевагами були передавання мультимедійного трафіку та забезпечення необхідної якості обслуговування (Quality of Service, **QoS**).

Новим словом у сфері інтеграції IP з технологіями віртуальних каналів стала технологія *мультипротокольної комутації міток*. Вона займає проміжне місце між рівнем IP і рівнем таких технологій, як ATM, FR або Ethernet, інтегруючи їх у єдину ефективну технологію.

**Багатопротокольна комутація міток** (Multiprotocol Label Switching, **MPLS**) – це технологія магістральних мереж, яка значно підвищує швидкість передавання трафіку територіальних мереж. Термін «багатопротокольна» в назві технології означає, що технологія MPLS застосовується до будь-якого протоколу мережевого рівня, тобто, це своєрідний *інкапсулювальний протокол*, здатний транспортувати інформацію безлічі інших протоколів вищих рівнів моделі OSI. Технологія MPLS є незалежною від протоколів канального й мережевого рівнів у мережах IP, ATM і FR, а також взаємодіє з наявними протоколами маршрутизації, такими як протокол резервування ресурсів RSVP або мережевий протокол переважного вибору найкоротших маршрутів OSPF.

Положення технології MPLS відносно семирівневої моделі OSI/ISO показано на рисунку 9.27.

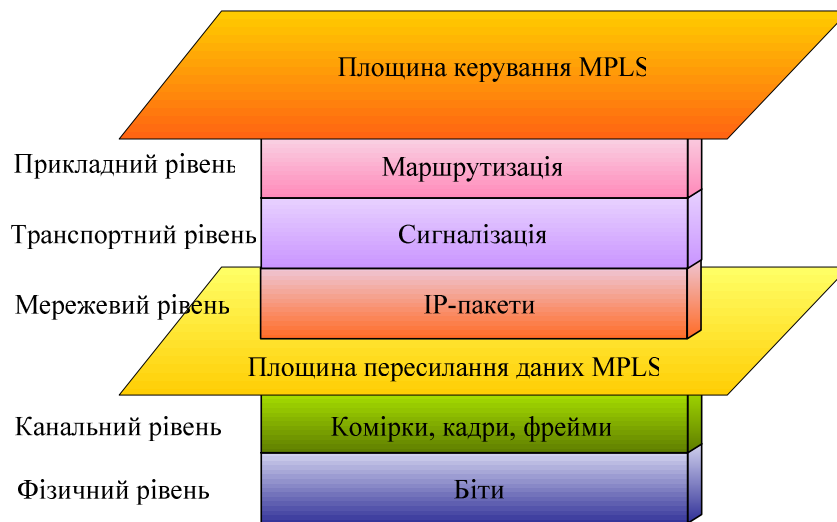


Рисунок 9.27. Площини MPLS

Площина пересилання даних MPLS не утворює повноцінного рівня, вона "вклинюється" в мережі IP, ATM або FR між 2-м і 3-м рівнями моделі OSI, залишаючись незалежною від цих рівнів. Можна сказати, що можливість функціонування MPLS на мережевому й канальному рівнях призводить до утворення так званого **рівня 2.5**, де, власне, й виконується комутація за мітками.

MPLS поєднала в собі надійність і гарантовану якість обслуговування ATM зі зручними й потужними засобами доставки IP-мереж. Така інтеграція дала змогу отримати додаткову користь від спільного використання протоколів IP та ATM і може розглядатися як гібрид мережі з віртуальними каналами й мережі з пакетною маршрутизацією, яка реалізує стек TCP/IP.

Особливість технології MPLS – це *відділення процесу комутації пакету від аналізу IP-адреси в його заголовку*. Для

цього пристрої, які здійснюють комутацію або маршрутизацію, призначають коміркам або пакетам короткі **мітки** фіксованої довжини.

Зазвичай комутація міток реалізується не у всій мережі, а в *деякій групі її сегментів*, частіше – магістральних. Ця група сегментів називається **доменом MPLS** (або мережею MPLS).

У разі комутації за міткою повний аналіз заголовка третього рівня здійснюється *лише один раз* – на вході в домен MPLS. Це виконує розташований на межі домену пристрій, який називається прикордонним **маршрутизатором з комутацією міток** (Label Switch Router, **LSR**). Далі, всередині домену, проміжні LSR аналізують лише мітки. Це дає змогу передавати пакети всередині домену значно швидше. Вихідний прикордонний LSR виконує операцію вилучення з пакета мітки, аналізує заголовок пакета й направляє його до адресата, який знаходиться поза MPLS-мережею.

Таким чином, привласнення мітки є своєрідною «формою інкапсуляції» пакета, а сам процес проходження пакета через домен MPLS аналогічний до тунелювання. Оскільки заголовок мережевого рівня у процесі маршрутизації через домен не враховується, комутацію міток можна використовувати для передавання пакетів не тільки IP, але і будь-яких інших протоколів мережевого рівня.

Для технології MPLS визначено три основні елементи:

- мітка;
- клас еквівалентності пересилання (FEC);
- комутуємий за мітками тракт (LSP).

Розглянемо кожен з них більш детально.

**Мітка** є спеціальним заголовком – **заголовком MPLS** розміром 4 байти. При цьому ідентифікатор самої мітки займає перші 20 біт. Мітку можна передавати у складі будь-якого пакета. При цьому, в усіх випадках, коли це можливо, для її розміщення використовуються уже наявні формати пакетів тієї чи іншої технології. З цієї причини розташування мітки в пакеті залежить від застосовуваної технології канального рівня.

Вона може бути поміщена в пакет як додатковий заголовок, який розташовується між заголовками рівня 2 і рівня 3, як це показано на рисунку 9.28. У цьому випадку заголовок MPLS часто називають *заголовком-клином* (shim header), підкреслюючи те, що він "вклинюється" в пакет між заголовками канального й мережевого рівня.

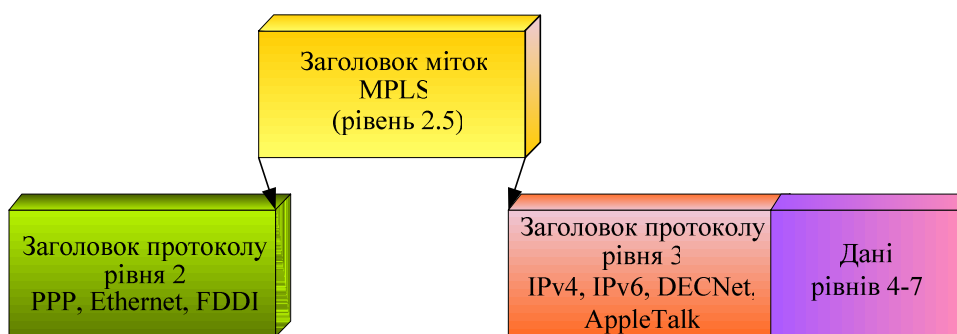


Рисунок 9.28. Розміщення мітки MPLS

Крім того, мітка може бути розміщена у *вільне та доступне поле заголовку* (якщо таке є) одного із зазначених двох рівнів. Це може бути поле ідентифікатора з'єднання канального рівня для кадру технології FR або поле ідентифікаторів віртуального каналу та віртуального шляху, у

разі комірки АТМ. Принцип, зображений на рисунку 9.28, підходить для каналів "точка-точка" й для локальних мереж Ethernet усіх типів. Подібним методом можна передати одну MPLS-мітку або стек міток, про який мова піде далі.

**Клас еквівалентності пересилання** (Forwarding Equivalency Class, **FEC**) є групою пакетів мережевого рівня, які відправляють один за одним і тим же маршрутом та обслуговуються однаково. Об'єднання пакетів у класи використовують для надання пріоритетів одним групам пакетів (наприклад, мовленнєвим) відносно інших для почерговості їх проходження через проміжні комунікаційні пристрої всередині домену. Зарахувавши пакет до того чи іншого класу еквівалентності пересилання, прикордонний маршрутизатор LSR може переглянути IP-заголовок пакета, а також використовувати іншу інформацію, зокрема фізичну адресу (номер інтерфейсу), на який надійшов пакет. Відповідно до просування пакету мережею, кожен наступний LSR аналізує його заголовок і приписує цей пакет до того із власних класів еквівалентності, котрий належать тільки цьому LSR та відповідає *тому ж напрямку*. На відміну від традиційної маршрутизації, в мультипротокольної комутації на основі міток пакет ідентифікується з певним класом FEC тільки один раз – на вході в мережу MPLS. За цим FEC закріплюється мітка, яку передається потім разом з пакетом у процесі його пересиланні до наступного LSR. У інших LSR заголовок пакета не аналізується.

**Комутований за мітками тракт** (Label Switch Path, LSP) – це віртуальний комутований за мітками тракт, так званий тунель, який являє собою встановлене логічне

з'єднання і є симплексним з'єднанням. Для організації напівдуплексного з'єднання необхідними є два LSP. LSP завжди починається на одному кінці домену MPLS і закінчується на протилежному, проходячи через кілька транзитних пристроїв (LSR).

**Стек міток.** Пакет, який передають через мережу MPLS, як правило, містить не одну, а кілька міток. Такий набір міток утворює стек (див. рис. 9.29). Основне призначення стеку міток – підтримка деревовидності множини трактів LSP, які закінчуються в одному вхідному LSR, а також у тому, щоб використовувати мітки під час створення, так званих, LSP-тунелів.

Специфікацію кодування стеку міток MPLS визначено в RFC 3032 «MPLS Label Stack Encoding». Даний документ містить детальну інформацію про мітки та про те, як вони застосовуються у різних мережевих технологіях, а також визначає ключове для технології MPLS поняття – *стек міток*. Можливість мати в пакеті більше ніж одну мітку у вигляді стеку дає змогу створювати ієрархію міток, яка уможлиблює роботу багатьох застосовань.

У MPLS зі стеком можуть виконуватися такі операції: розміщення мітки в стек, вилучення мітки зі стеку й заміна мітки. Операція розміщення мітки в стек (push operation) долучає нову мітку поверх стеку, а операція вилучення мітки зі стеку (pop operation) видаляє верхню мітку зі стеку. Ці операції використовують для злиття та розгалуження інформаційних потоків різних застосовань.

Функціональні можливості стеку MPLS дають змогу об'єднувати кілька LSP у один. До стеку міток кожного з цих

LSP зверху додається загальна мітка, в результаті чого утворюється агрегований тракт MPLS. У точці закінчення такого тракту відбувається його розгалуження на складові індивідуальні LSP. Так можуть об'єднатися тракти, які мають спільну частину маршруту. Отже, MPLS здатна забезпечувати ієрархічне пересилання, що є важливою й потрібною функцією.

Згідно з розглянутими нижче правилами інкапсуляції міток, за міткою MPLS в пакеті завжди має слідувати заголовок мережевого рівня. Так як MPLS починає роботу з вершини стеку, використовується процедура Li-Fo «останнім прийшов – першим пішов». Приклад чотирирівневого стеку міток зображено на рисунку 9.28. Заголовок MPLS № 1 був першим заголовком MPLS, вміщеним у пакет, потім – заголовки № 2, № 3 і, нарешті, заголовок № 4. Комутація за мітками завжди використовує верхню мітку стеку, а мітки видаляють з пакету так, як це визначено вихідним вузлом для кожного LSP, по якому слідує пакет.

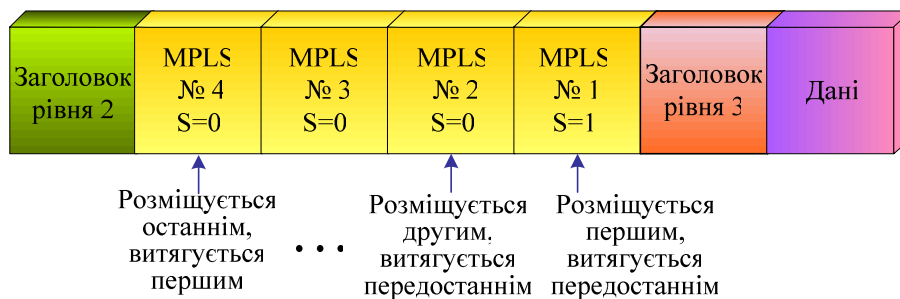


Рисунок 9.29. Чотирирівневий стек міток

**Таблиці пересилання.** У мережі MPLS кожен маршрутизатор комутації за мітками LSR створює таблицю пересилання, за допомогою якої він визначає, яким чином треба пересилати пакет, який до нього надійшов. Цю таблицю називають *інформаційною базою міток* (Label Information Base, LIB). Вона містить використовувану кількість міток, а для кожної з них – прив'язку "FEC – мітка". В інформаційну базу LIB входить така інформація:

- операція, яку треба виконати зі стеком міток пакета (замінити верхню позначку стеку, вилучити верхню позначку, помістити поверх стеку нову позначку);
- наступний LSR у тракті (LSP);
- використовувана в процесі передавання пакета інкапсуляція на канальному рівні;
- спосіб кодування стеку міток у процесі передавання пакета;
- інша інформація про пересилання пакета.

Таблиця пересилання, яка містить дану інформацію та яку формує LSR, є послідовністю записів. Кожен запис таблиці складається з вхідної мітки та однієї або більше підзаписів, причому кожен підзапис містить значення вихідної мітки, ідентифікатор вихідного інтерфейсу й адресу наступного маршрутизатора в LSP. Приклад простої таблиці пересилання LIB подано на рисунку 9.30.



<b>Вхідна мітка</b>	<b>Перша підзапись</b>	<b>Друга підзапись</b>
Значення вхідної мітки	Вихідна мітка	Вихідна мітка
	Вихідний інтерфейс	Вихідний інтерфейс
	Адрес наступного LSR	Адрес наступного LSR

Рисунок 9.30. Таблиця пересилання LVB

Різні підзаписи всередині одного запису можуть мати або однакові, або різні значення вихідних позначок. Більше ніж один підзапис буває потрібним для підтримки багатоадресного розсилання пакету, коли пакет, який надійшов до одного вхідного інтерфейсу, треба потім розсилати через кілька вихідних інтерфейсів. Звернення до конкретної запису в таблиці здійснюють за значенням вхідної мітки.

Запис у таблиці може також містити інформацію, що вказує, які ресурси має можливість використовувати пакет, наприклад певну вихідну чергу.

LSR може підтримувати або одну загальну таблицю, або окремі таблиці для кожного зі своїх інтерфейсів. У першому варіанті обробляння пакета визначається тільки міткою, яку переносить пакет. У другому варіанті обробляння пакета визначається не тільки міткою, а й інтерфейсом, до якого надійшов пакет. LSR може використовувати або перший варіант, або другий, або їх поєднання.

**Прив'язка «мітка-FEC».** Кожен запис у таблиці пересилання, яку веде LSR, містить одну вхідну мітку й одну або більше вихідних. Згідно з цими двома типами міток, забезпечуються два типи прив'язки міток до FEC:

- перший тип – мітка для прив'язки вибирається й призначається у LSR локально. Таку прив'язку називають локальною;
- другий тип – LSR отримує від іншого LSR інформацію про прив'язку мітки, яка відповідає прив'язці, створеній на цьому іншому LSR. Таку прив'язку називають віддаленою.

Засоби керування комутацією за мітками використовують для заповнення таблиць пересилання як локальну, так і віддалену прив'язку міток до FEC. Це може здійснюватися в двох варіантах. Перший: коли мітки на локальній прив'язці використовують як вхідні мітки, а мітки з віддаленої прив'язки – як вихідні. Другий варіант – прямо протилежний, тобто мітки з локальної прив'язки використовують як вихідні мітки, а мітки з віддаленої прив'язки – як вхідні. Розглянемо кожен з цих варіантів.

Перший варіант називають прив'язкою мітки до FEC "знизу" (downstream label binding), тому що в цьому випадку прив'язка мітки, яку переносить пакет, до того FEC, якому належить цей пакет, створює нижче розташований LSR, тобто LSR, який міститься ближче до адресата пакета, ніж LSR, який поміщає мітку в пакет. Для прив'язки "знизу" пакети, які переносять певну мітку, передаються в напрямку, протилежному напрямку передавання інформації про прив'язку цієї мітки до FEC.

Другий варіант називають прив'язкою мітки до FEC "зверху" (upstream label binding), тому що в цьому випадку прив'язка мітки, яку переносить пакет, до того FEC, якому

належить цей пакет, створюється тим самим LSR, який поміщає мітку в пакет; тобто створювач прив'язки розташований "вище" (ближче до відправника пакета), ніж LSR, до якого пересилається цей пакет. Для прив'язки "зверху" пакети, які переносять певну мітку, передаються в тому ж напрямку, що й інформація про прив'язку цієї мітки до FEC.

LSR обслуговує також пул "вільних" міток (тобто міток без прив'язки). На початковому налаштуванні LSR пул містить усі мітки, які може використовувати LSR для їх локальної прив'язки до FEC. Саме ємність цього пулу й визначає, скільки пар "мітка-FEC" може одночасно підтримувати LSR. Коли маршрутизатор створює нову локальну прив'язку, він бере мітку з пулу; коли маршрутизатор знищує раніше створену прив'язку, він повертає мітку, пов'язану з цією прив'язкою, назад у пул.

Згадаймо, що LSR може вести або одну загальну таблицю пересилання, або декілька таблиць – по одній на кожен інтерфейс. Коли маршрутизатор веде загальну таблицю пересилання, він має один пул міток. Коли LSR веде кілька таблиць, він має окремий пул міток для кожного інтерфейсу.

LSR створює або знищує прив'язку мітки до FEC у результаті певної події. Таку подію можуть ініціювати або пакети даних, які має пересилати маршрутизатор LSR, або керувальна (маршрутувальна) інформація, яку має обробляти LSR. Коли створення або знищення прив'язки ініціюють пакети даних, цю прив'язку називають *прив'язкою під діянням даних* (data-driven). Коли створення або знищення прив'язки ініціює керувальна інформація, цю прив'язку називають *прив'язкою під діянням керуючої інформації* (control-driven).

Прив'язка під впливом даних припускає, що LSR підтримує як функції пересилання при комутації за мітками, так і функції пересилання при традиційній маршрутизації. Підтримка функцій пересилання при традиційній маршрутизації необхідна тому, що прив'язка мітки створює ефект, який супроводжує традиційну маршрутизацію пакетів.

Важливою проблемою якості функціонування, яка виникає в процесі використання схем прив'язки під дією даних (і, меншою мірою, схем прив'язки під дією керуючої інформації), є продуктивність. Щоразу, коли LSR вирішує, що потік повинен комутуватися за мітками, йому необхідно обмінюватися інформацією про прив'язку міток з суміжними LSR, а також в нього може виникнути потреба внести деякі зміни до прив'язки міток до FEC. Усі ці процедури вимагають передавання трафіку, який керує роздаванням інформації про прив'язку, а, отже, споживають ресурси засобів керування комутацією за мітками. Окрім того, ці процедури споживають тим більше ресурсів засобів керування, чим більшою є частка потоків, обраних для комутації за мітками. Важко кількісно оцінити, наскільки дорогою є процедура призначення й розподілу міток, але не підлягає сумніву, що продуктивність схем, які працюють під впливом даних, чутлива до цього чинника. Якщо LSR не може призначати й розподіляти мітки зі швидкістю, яку вимагає алгоритм виявлення потоків, то комутуватися за мітками буде менший відсоток потоків, а від цього знижуватиметься загальна продуктивність.

Меншою мірою це стосується схем, що працюють під дією керуючої інформації. Поки топологія залишається стабільною, весь трафік, який надходить у неприкордонний

маршрутизатор LSR, може комутуватися за мітками без оброблення пакетів. Схеми, які працюють під дією керуючої інформації, можуть отримати інформацію про прив'язку маршрутів від сусідніх LSR, які не були наступними ділянками цих маршрутів. Коли топологія зміниться так, що ці "сусіди" стануть наступними ділянками маршрутів, комутація за мітками продовжуватиметься без переривання. Але на продуктивність схем, які працюють під дією даних, зміна топології впливає. Якщо змінюється маршрут проходження потоку, нові LSR на цьому маршруті сприймають це як створення нового потоку. Будь-який такий новий потік необхідно спочатку пересилати традиційно. Таким чином, зміна топології може дуже обтяжувати LSR, який щойно став новим наступним маршрутизатором для деякого іншого LSR. По-перше, він раптово отримує велику кількість потоків, які раніше йшли за іншим маршрутом. Крім того, не припиняється надходження нових потоків від знов запущених застосовань. Усі ці потоки має пересилати та аналізувати алгоритм виявлення потоків. Це в свою чергу створює додаткове навантаження як на засоби пересилання під час традиційної маршрутизації, так і на засоби керування комутацією за мітками. Під час таких перехідних процесів продуктивність засобів пересилання LSR може наблизитися до продуктивності його засобів пересилання при традиційній маршрутизації, тобто стати приблизно на порядок нижчою, ніж максимальна продуктивність LSR.

У висновку слід зазначити: однією з найсильніших сторін технології MPLS є те, що її можна використовувати спільно з різними протоколами каналного рівня. Серед цих

протоколів – ATM, FR, PPP і Ethernet, FDDI та інші, передбачені документами щодо MPLS.

Використання MPLS поверх ATM є досить активним, особливо для транспортування мережами ATM трафіку IP. ATM-комутатори, конфігуровані для підтримки MPLS (ATM-LSR), виконують протоколи маршрутизації TCP/IP і використовують пересилку даних комірками фіксованої довжини – 53 байти. Усередині цих ATM-LSR верхня мітка MPLS поміщається у поле ідентифікаторів віртуальних каналів у заголовку комірки ATM, а дані про стек міток MPLS – у поле даних комірок ATM.

MPLS у мережах Frame Relay започатковано багатьма постачальниками послуг, і до цього часу широко використовується. Подібно до ATM, FR-комутатори, які підтримують MPLS, застосовують протоколи маршрутизації TCP/IP для пересилання даних під керуванням FR.

MPLS дає змогу створювати нові формати міток без зміни протоколів маршрутизації, а тому впровадження цієї технології в новостворені види оптичного транспорту, такі, як щільне мультиплексування з розподіленням за довжиною хвилі DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) і оптична комутація, є відносно простим завданням.

Використання MPLS у мережах Ethernet, особливо в міських мережах, є ще однією перспективною можливістю. У стандарт Ethernet вносяться зміни, які дають змогу збільшити швидкість і дальність передавання Ethernet-пакетів. У даний час починають застосовувати Ethernet-інтерфейси на швидкостях 10 Гбіт/с, а незабаром з'являться Ethernet-інтерфейси на ще вищих швидкостях.

## *Технологія GMPLS*

**Технологія узагальненої мультипротокольної комутації за мітками (Generalized Multi-Protocol Switching, GMPLS)** використовує концепцію й протоколи, розроблені для MPLS, однак принцип комутації за мітками тут поширено також на *оптичні мережі*. Технологію GMPLS розроблено технічною комісією Інтернету (Internet Engineering Task Force, IETF).

У GMPLS, разом з міткою, необхідно передавати інформацію про її тип, тому що у якості міток можуть використовуватися різні компоненти: довжина хвилі, номер оптичного волокна в каналі, номер SDH-контейнера та ін. На даний момент базовими типами міток є:

- **Packet** – мітка, яка ідентифікує Ethernet (GT, FE);
- **PDH** – мітка, яка ідентифікує кадри (T1, E1, E3);
- **SONET/SDH** – мітка, яка ідентифікує контейнери SDH (STM-n);
- **Digital Wrapper** – мітка OTN G.709 (2.5, 10, 40 Гбіт/с);
- $\lambda$  – довжина хвилі при використанні фотонних комутаторів;
- **Fiber** – мітка, яка ідентифікує номер оптичного волокна;
- **Fiber Channel** – мітка, яка ідентифікує оптичний канал.

Наведені вище мітки вказують тип налаштованого з'єднання LSP, а не транспортну технологію, скрізь яку воно утворюється.

Технологія GMPLS має чимало цікавих властивостей, серед яких особливо прикметними є такі:

- можливість налаштовувати та обслуговувати з'єднання, які організуються скрізь різні технологічні рівні мережі;
- автоматичне розпізнавання мережевих ресурсів;
- автоматична інвентаризація (відстеження зміни та облік) мережевих ресурсів;
- реалізація інтелектуальних захисних механізмів.

GMPLS охоплює весь комплекс комутаційних можливостей – від комутації пакетів до комутації оптичних волокон через IP-маршрутизатори, Ethernet-комутатори, оптичні мультиплексори введення/виведення, закінчення систем WDM. Вона еволюціонувала від MPLS і базується на тих самих протоколах маршрутизації та сигналізації. Тим самим забезпечується гнучка взаємодія між традиційними та новоствореними магістральними інфраструктурами.

Розширені можливості QoS у GMPLS дають змогу ефективно передавати через єдину мережу повідомлення з різними класами сервісу, такі, як голос, відео та дані з їх специфічними вимогами до затримувач та тремтіння фази. Гнучке та ефективне мережеве управління, пропоноване GMPLS, уможливорює швидке й просте долучування нових транспортних послуг.



## 9.6. Мультисервісні транспортні мережі

Як випливає з попередніх розділів, транспортна мережа в загальному випадку – це сервісна платформа, створена ресурсами первинної та базових сервісних мереж. Первинна мережа будується з використанням технологій та комунікаційного устаткування фізичного рівня на основі розподільчих середовищ, а базові сервісні мережі – з використанням технологій та обладнання канального рівня на основі комутованої топології. Транспортні можливості такої сервісної платформи, як правило, визначаються технологічними особливостями базових сервісних мереж. Усі базові сервісні мережі транспортних мереж METRO взаємодіють на основі протоколу мережевого рівня IP, утворюючи сегмент наступного ієрархічного рівня – транспортну мережу CORE.

Процеси конвергенції базових сервісних мереж, а також інтеграція їх з первинною мережею (фізичним рівнем) створили передумови для побудови єдиної *мультисервісної транспортної мережі* на основі уніфікованих мережевих рішень.

**Мультисервісною транспортною мережею (Multiservice Transport Network, MTN)** називається мережа, *яка забезпечує надання різних транспортних послуг з використанням найбільш придатної мережевої технології та відповідних мережевих ресурсів з передбачуваною якістю і за наявності різних технологій доступу.*

Транспортні послуги мультисервісної мережі – це забезпечення гарантованого сервісу при транспортуванні потоків будь-яких видів даних, що виникають при наданні користувачам інфокомунікаційних послуг з необхідною якістю. (Ці питання більш детально розглядаються у розділі 14).

Упровадження нових інфокомунікаційних послуг, які, в основному, пакетно-орієнтовані та широкосмугові (IPTV, відеоконференції, відеоігри "on-line"), призводить не тільки до значного збільшення трафіку, але й до значного зростання вимог до масштабованості пропускної здатності транспортних мереж. Така мережа повинна містити будівельні блоки, які забезпечують транспортування як уніфікованих транспортних потоків, так і потоків трафіку різних сервісів з передбачуваною за будь-яких умов якістю. Для досягнення цього, специфічні функції захисту (виявлення та інформування про помилки) повинні бути реалізовані не тільки в кінцевих точках термінування трафіку, але й у кожному мережевому вузлі транспортної мережі.

Мультисервісність знижує конкурентоздатність окремих базових сервісних мереж, що змушує мережевих операторів модернізувати свої телекомунікаційні інфраструктури. Розглядаючи еволюцію від TDM до пакетного мультиплексування, слід враховувати, що мережа, оптимізована для однієї задачі, може виявитися не зовсім вдалою для іншої. Або мережа, побудована з досить низькими капіталовкладеннями, може вимагати високих вкладень у експлуатацію та виявитися непристосованою для надання сервісів із заданою якістю. Однак у будь-якому випадку витрати на реконструкцію мережі повністю покриваються за

рахунок досягнення підвищеної гнучкості мережі. А завдяки оптимізованому розподілу ресурсів і ефективним механізмам відновлення, можна значно знизити експлуатаційні витрати, що в результаті збільшує прибутки.

Мультисервісна мережа є невід'ємною складовою мереж наступного покоління (Next Generation Network, **NGN**). Якщо NGN – це концепція надання послуг, то мультисервісність – технологія побудови транспортної мережі. Основне призначення мультисервісних технологій полягає в тому, щоб забезпечити гнучку модернізацію транспортної мережі для надання наявних та перспективних послуг.

**Мультисервісна платформа** надання послуг (Multiservice Provisioning Platform, **MSPP**) є основою побудови мереж NGN. Вона є злиттям у єдину уніфіковану інтелектуальну мультисервісну транспортну мережу численних мережевих інфраструктур, таких як: SDH із передаванням поверх неї пакетизованих даних (G.707, G.7041, G.7042), OTN (G.709), систем з поділом каналів за довжиною оптичного випромінювання (WDM, DWDM) і технології GMPLS.

Останні досягнення в SDH пов'язано з упровадженням концепції MSPP (NG SDH), у якій звичайні для SDH функції керування смугою синхронного транспорту об'єднано в тому ж обладнанні з функціями асинхронної комутації та передавання пакетного трафіку Ethernet. Успіх упровадження платформ MSPP засновано на їх здатності ефективно підтримувати щораз більші потоки пакетного трафіку, які постійно збільшуються з оброблянням та перемиканням його в початковій формі та передаванням спільно з TDM трафіком.

Компанія Alcatel була першою серед тих, хто впровадив мультисервісні вузли платформи MSPP. У новому сімействі обладнання – **транспортних сервісних комутаторів** – функції оброблення (які залежать від технології, наприклад пакети або канали TDM, або оптичні лямбда-канали) й перемикання трафіку (на основі технологій побудови комутаційних блоків) розділено. У результаті створено ідеальну конвергентну платформу як для традиційних TDM, так і нових пакетно-орієнтованих IP/Ethernet сервісів (див. рис. 9.31). Крім того, це сімейство інтегрує в собі технології WDM та DWDM, а також GMPLS. Це дає змогу операторові самому вирішувати, з урахуванням пропонованих вимог, чи передавати оптичним волокном Ethernet трафік у своїй натуральній формі або, після агрегування, поверх SDH.

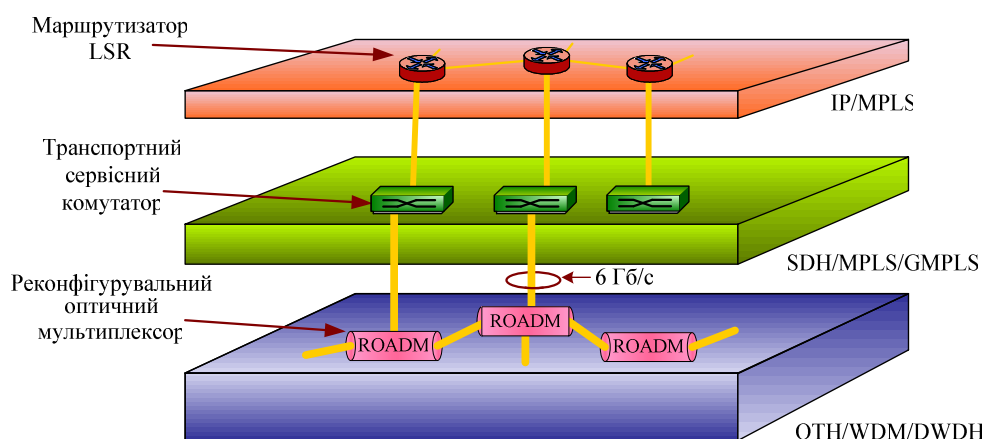


Рисунок 9.31. Архітектура платформи MSPP

Одним із істотних досягнень у сфері оптичних технологій є **реконфігурувальний оптичний мультиплексор введення/виведення** (Reconfigurable Optical Add/Drop

Multiplexer, **ROADM**). Він став результатом вимог до великої прозорості та гнучкості перспективних мультисервісних конвергентних мереж на основі повністю оптичних мереж AON.

Від впровадження реконфігуровальних мультиплексорів ROADM передбачається отримати такі додаткові можливості:

- з'єднання вузлів типу "будь-який з будь-яким". Причому всі з'єднання реалізуються на оптичному рівні без використання опто-електронно-оптичного перетворення сигналів. Це стало можливим завдяки удосконаленню характеристик системи передавання, забезпеченим за рахунок долучення функції вирівнювання посилення оптичних каналів та використання селективної відносно довжини хвилі технології;
- повністю автоматичне узгодження оптичних рівнів за рахунок зазначеної вище функції вирівнювання;
- передавачі, розраховані на широкий діапазон можливих швидкостей передавання цифрових потоків і оптичні мультиплексори для об'єднання оптичних каналів з різною швидкістю передавання сигналів.

Завдяки ROADM мережеві ресурси можуть виділятися динамічно, відповідно до вимог трафіку, з урахуванням різних потреб у обсягах передавання інформації в будь-який час доби. Це стимулюватиме застосування ROADM у транспортних мережах METRO.

Нові конфігураційні можливості є необхідними також для того, щоб планувати транспортування на рівні CORE. Транспортна мережа CORE спочатку була набором вузлів у вигляді потужних LSR маршрутизаторів і з'єднувальних каналів різних сервісних мереж. Еволюція транспортної мережі CORE викликає необхідність реалізації для GMPLS мережі гнучкого фотонного транспортного рівня з'єднань. Тут також можна успішно застосовувати ROADM. Більш того, якщо ступінь заповнення оптичних з'єднань є високим, ROADM дає змогу передавати транзитний трафік на потрібний LSR, не завантажуючи їм проміжні LSR. Тим самим можна знизити вимоги до продуктивності маршрутизаторів і відповідні витрати.

Підсумовуючи, можна констатувати, що мультисервісну мережу з GMPLS складатимуть такі компоненти, як маршрутизатори, DWDM системи, мультиплектори ROADM і оптичні комутатори.

### **Контрольні питання**

1. Перерахуйте різновиди транспортних сегментів. Назвіть і поясніть терміни, за допомогою яких їх прийнято розрізняти.
2. На чому ґрунтуються принципи організації транспорту в сегментах LAN?
3. Перерахуйте й поясніть терміни, за допомогою яких прийнято розрізняти сегменти СФТТ.

4. У чому полягає особливість організації транспорту в сегментах LAN? Які технології та обладнання для цього використовують?
5. Якими є особливості транспортних мереж METRO?
6. Що розуміють під платформою подання сервісів?
7. Поясніть поняття «первинна мережа», «базова сервісна мережа»?
8. Які технології та устаткування фізичного рівня використовують у мережах рівня METRO?
9. У чому відмінна риса технологій повністю оптичних мереж AON?
10. Які технології та обладнання канального рівня використовують у мережах рівня METRO?
11. Охарактеризуйте особливості побудови різних типів комутаційних блоків комутаторів.
12. Якими є можливості та відмінні риси різних категорій AON, застосовуваних для побудови транспортних мереж METRO?
13. Яке призначення та у чому полягає особливість транспортних мереж CORE?
14. Які технології та обладнання використовують у транспортних мережах CORE?
15. Що являють собою «мультисервісні мережі»?
16. Охарактеризуйте особливості архітектури платформи MSPP.
17. Які технології та обладнання можна використовувати для побудови мультисервісних мереж?

## Розділ 10. Мережі доступу

Призначення мереж доступу, в загальному випадку, полягає у формуванні агрегованих інформаційних потоків, спрямованих користувачами в транспортну мережу з максимальною концентрацією їх у вузлах доступу, й розподіленні потоку, який надходить з транспортної мережі, між кінцевими користувачами з урахуванням конкретних запитів кожного.

Ці функції, як уже зазначено в розділі 5, виконують відповідно сегмент формування вихідного трафіку (СФВихТ) і сегмент розподілення вхідного трафіку (СРВхТ). Можливим є поєднання обох функцій одним сегментом доступу.

За допомогою мереж доступу забезпечується доставка інформації до кінцевого користувача, з урахуванням його вимог до надаваних мережею послуг. Щоб забезпечувати широкий спектр послуг (передавання голосу, відео, даних), мережі доступу повинні бути максимально функціональними й гнучкими, що досягається завдяки застосуванню відповідних телекомунікаційних технологій та різних середовищ передавання.

Першою «сходиною», яка забезпечує під'єднання користувачів до мережі й можливість отримання ними телекомунікаційних та інформаційних послуг як на місцевому рівні, так і з виходом у глобальні мережі та в Інтернет, є *мережі абонентського доступу*. Ця особливість дає змогу розглядати їх самостійними сегментами в складі мереж доступу до транспортних мереж.

У даному розділі основну увагу зосереджено на принципах побудови, технологіях та обладнанні всіх типів мереж доступу.



## 10.1. Мережі абонентського проводового доступу

На рисунку 10.1 наведено схему традиційної мережі абонентського доступу, мережеві закінчення (NT) якої можна знайти в кожному домі. Вона містить фрагмент суто розподільчої мережі, класифікуємої як СРВхТ, через яку абонент отримує послуги кабельного телебачення й фрагменти організації доступу в територіальні та глобальні мережі. Особливістю цих фрагментів є те, що вони поєднують у собі функції СФВихТ і СРВхТ. Крім того, вони також виконують функції сегмента замикання локального трафіку (СЗЛТ), оскільки опорний вузол (ОВ) мережі абонентського доступу – це перший рівень замикання трафіку, на якому здійснюється інформаційний обмін між під'єнаними до нього абонентськими пунктами (АП).

Територія, на якій зосереджено АП, під'єднані до відповідного ОВ, є **сферою обслуговування** цього ОВ. Межі сфери обслуговування ОВ залежать від абонентської щільності й комутаційних можливостей вузла. Відносно АП своєї сфери обслуговування, опорний вузол виконує функцію *комутації*, забезпечуючи налаштування зв'язків усередині. Водночас у ньому здійснюється функція *концентрації* інформаційних потоків, які направляються в глобальні мережі.

Лінії зв'язку, за допомогою яких АП під'єднуються до ОВ, називаються **абонентськими лініями (АЛ)**. Це, як правило, кабелі з мідними жилами.

Абонентську мережу на ділянці від ОВ до АП називають "**останньою милею**" телекомунікаційної мережі. Проблема "останньої милі" полягає в численності абонентських ліній, що

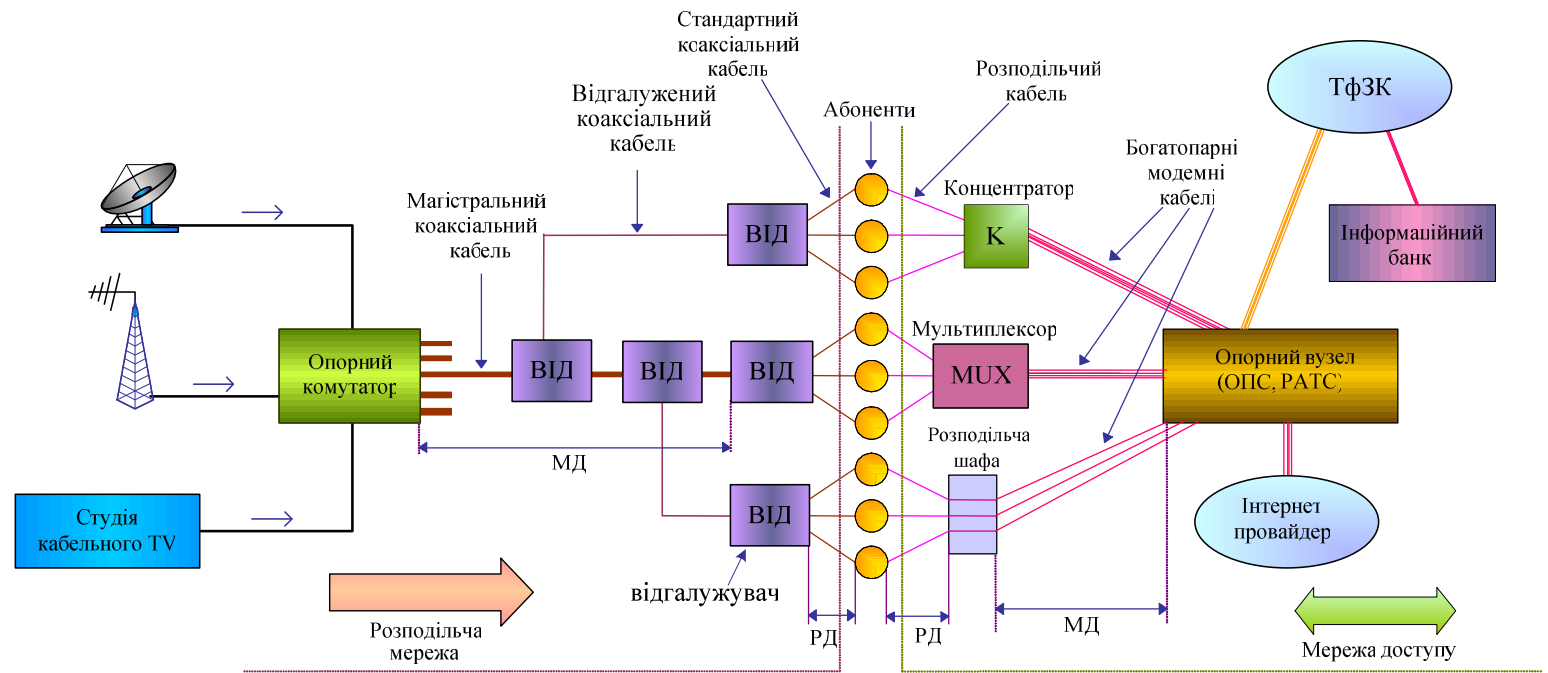


Рисунок 10.1. Схема традиційного абонентського доступу

становить значну частку загальномережевих витрат. Вирішують цю проблему, організовуючи додаткові вузлові пункти (розподільчі вузли), які є інсталяційною базою для розміщення таких пристроїв, як *розподільчі коробки, розподільчі шафи, мультиплексори, концентратори, відгалужувачі*.

Отже, мережа абонентського доступу складається з двох ділянок: **розподільчої ділянки (РД)** (це, в основному, окремі мідні пари) й **магістральної ділянки (МД)**, на якій використовують спільний багатожильний кабель. Чим ближче розташовано вузловий пункт абонентської мережі до місця зосередження абонентів, тим меншою є сумарна довжина кабелю розподільчої ділянки, отже, дешевшою розподільча мережа.

Недоліками розглянутої концепції побудови мережі абонентського доступу є поділ за типами служб (ТВ, телефонія), неможливість організації двоспрямованих широкосмугових служб (відеотелефонії, відео конференції та ін.) через недостатність смуги пропускання мідного кабелю. Крім того, наявні АЛ, зокрема кабелі з мідними жилами мають велике загасання, піддаються впливу імпульсних і зосереджених за спектром перешкод, спричиняють значні лінійні спотворення й, як наслідок, істотно обмежують пропускну здатність каналу та достовірність передавання інформації.

Першим рішенням цієї проблеми є організація широкосмугового абонентського доступу з використанням сімейства *технологій цифрової абонентської лінії*.

## *Технології та обладнання цифрової абонентської лінії*

**Цифрова абонентська лінія** (Digital Subscriber Line, **DSL**) надається абонентові безпосередньо після під'єднання до мережі ISDN. Усі послуги цієї мережі засновано на передаванні інформації в цифровому вигляді. Інтерфейс користувача (BRI, PRI) також є цифровим, тобто всі абонентські пристрої (телефон, факс, комп'ютер) повинні бути цифровими й спрямовувати в мережу цифрові дані. Однак велика кількість використовуваного аналогового термінального абонентського обладнання, неможливість модернізації мільйонів абонентських закінчень та істотні витрати на абонплату стали серйозними перешкодами на шляху впровадження ISDN.

У середині 90-х років запропоновано альтернативу цифрового абонентського закінчення ISDN. Ця альтернатива є сімейством технологій із загальною назвою – **xDSL**, яке, зокрема, складається з таких технологій:

- *асиметричне цифрове абонентське закінчення* (Asymmetric Digital Subscriber Line, **ADSL**) – Рекомендація G.992.1 (ITU); у комерційних пропозиціях мережевих операторів і провайдерів цю технологію часто називають широкосмуговим доступом;
- *високошвидкісна цифрова абонентська лінія* (High Data Rate Digital Subscriber Line, **HDSL**) – Рекомендація G.991.1 (ITU);

- *симетричне цифрове абонентське закінчення* (Symmetric Digital Subscriber Line, **SDSL**) – Рекомендація G.991.2 (ITU);
- *надшвидке цифрове абонентське закінчення* (Very high-speed Digital Subscriber Line, **VDSL**) – Рекомендація G.993 (ITU);
- *цифрове закінчення з адаптувальною швидкістю передавання* (Rate Adaptive Digital Subscriber Line, **RADSL**) – Рекомендація G.992.1 (ITU).

Технології xDSL засновано на методах, які дають змогу стиснути спектр сигналу й зосередити основну частину його енергії на ділянках більш низьких частот, що узгоджує електричні характеристики кабелю з параметрами сигналу. Подібних перетворень спектру сигналу досягають, використовуючи спеціальні методи модуляції та кодування (ці питання детально вивчають інші дисципліни).

Вибираючи ту чи іншу технологію xDSL, враховують кількість користувачів, їх віддаленість від опорного вузла та вимоги до широкосмуговості та якості послуг.

Найбільшого розповсюдження набула технологія **ADSL**. Термін “асиметрична” вказує на те, що лінія ADSL має неоднакову пропускну здатність лінії в прямому й зворотному напрямках. Швидкість передавання до абонента може досягати 8 Мбіт/с, від абонента – 1 ... 1.5 Мбіт/с на відстань до 5,5 км від ОВ з діаметром дроту 0,5 мм. Для під'єднання користувача до Інтернету асиметричний розподіл смуги є вигіднішим, оскільки потік до абонента є набагато швидшим від зворотного. У зв'язку з цим асиметрична технологія ADSL набула найширшого застосування.

Технологія ADSL дає змогу також організувати одночасне передавання телефонних і цифрових сигналів по одній парі проводів, які не заважають один одному, тому що займають різні смуги частот.

Технологію HDSL розроблено як більш рентабельну альтернативу для передавання абонентськими лініями потоків E1 та T1. Ці лінії займають смугу доволі високої частоти – близько 1,5 МГц, а тому характеристики загасання обмежують їх використання відстанями між ретрансляторами до 1 км. Отже, для більшості абонентських ліній необхідною є наявність одного й більше ретрансляторів, що підвищує витрати на налаштування та експлуатацію. Технологія HDSL дала змогу отримати швидкості передавання даних близько 2 Мбіт/с по двох мідних парах на відстань до 3.7 км. Технологію HDSL застосовують, в основному, для міжстанційних з'єднань у телефонії.

Технологію SDSL розроблено для надання послуг такого ж типу, що й HDSL (2 Мбіт/с в кожен бік), але з використанням однієї мідної пари, оскільки звичайні абонентські лінії житлових районів мають лише одну пару. Для отримання дуплексного передавання по єдиній парі використовують лунопоглинання.

Технологію VDSL орієнтовано на асиметричний дуплекс, вона підтримує надвисокі швидкості передавання інформації на невеликій відстані (300 – 1200 м). До абонента забезпечується швидкість передавання від 10 до 50 Мбіт/с, від абонента – до 8 Мбіт/с. У зв'язку з цим її використовують для передавання якісних ТБ-програм мідними кабелями переважно для користувачів кампусної мережі.

Технологія **RADSL** є варіантом технології ADSL з автоматичним налаштуванням швидкості передавання (залежно від стану лінії).

Основним обладнанням, яке реалізує ці технології та перетворює абонентську лінію звичайної телефонної мережі з аналогової на цифрову, є спеціальні модеми.

**xDSL-модеми.** Фізична абонентська лінія (пара мідних проводів) пропускає сигнал у смузі до 1 МГц, отже, на ній можна передавати зі швидкостями набагато вищими, ніж тими, які є межею для звичайних модемів (56 кбіт/с). Межа швидкості передавання залежить від довжини абонентської лінії та її якості (перерізу дроту, матеріалу ізоляції, однорідності та ін.).

Смугу пропускання сигналу, як правило, розділяють зустрічні потоки даних на основі частотного принципу розділення каналів (FDM). При цьому, пропускна здатність лінії, як зазначено вище, може бути розподілена між прямим і зворотним сигналами симетрично (SDSL) або асиметрично (ADSL).

Технології xDSL дають змогу одночасно й незалежно використовувати одну й ту ж саму телефонну лінію як для передавання даних, так і для телефонних переговорів, що є неможливим зі звичайними модемами для комутованих ліній. Ідея полягає в тому, що на обох кінцях абонентської лінії (на АТС і в абонента) налаштовують розподільчі фільтри (splitter) (див. рис. 10.2).

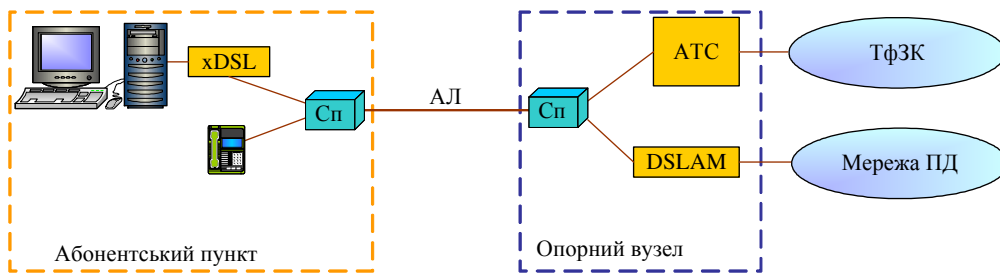


Рисунок 10.2. Абонентська лінія на основі технології xDSL

Низькочастотну (до 3.5 кГц) складову сигналу надсилають на порт АТС і абонентський телефонний апарат, а високочастотну (понад 4 кГц) використовують для передавання даних за допомогою xDSL-модемів.

Так, у процесі інсталяції ADSL-лінії в приміщенні абонента налаштовують **сплітер** (розподільчий фільтр), а в ОВ – так званий **мультиплексор доступу до цифрового абонентського закінчення** (Digital Subscriber Access Multiplexer, **DSLAM**). Він приймає дані, відокремлені сплітерами на віддаленому кінці абонентських закінчень від голосових сигналів. DSLAM-мультиплексор повинен мати стільки ADSL-модемів, скільки користувачів, яких обслуговують за допомогою телефонних абонентських закінчень. Після перетворення модульованих сигналів у дискретну форму, DSLAM надсилає дані на IP-маршрутизатор, який також, зазвичай, знаходиться в приміщенні ОВ.

Технологією SDSL канал тональної частоти не передбачено, однак швидкість передавання у висхідному та низхідному напрямках (по 2 Мбіт/с в кожному), як і в технології ADSL, залежить від якості лінії та відстані до обладнання DSLAM.



Високі швидкості xDSL-модемів створюють проблему дефіциту пропускнуої спроможності каналів виходу в глобальній мережі постачальників послуг і, зокрема, Інтернет-сервіс-провайдерів. Наприклад, якщо 1000 абонентів завантажуватимуть дані з Інтернету зі швидкістю 1 Мбіт/с, то необхідно застосовувати вихідний канал з пропускнуою здатністю 1 Гбіт/с. Для цього більшість пристроїв DSLAM мають вбудований комутатор АТМ або GE.

### ***Широкопasmовий доступ через систему CATV***

Кабельне телебачення (CATV), як подано на рисунку 10.1, є однією з телекомунікаційних послуг, для якої створено власну інфраструктуру абонентських мережевих закінчень, кількість котрих наближається до кількості абонентських закінчень телефонної мережі.

Систему CATV призначено для широкопasmового поширення телевізійних програм до телевізійних приймачів абонентів з джерела інформації, розташованого в точці присутності провайдера. Для цього займається діапазон частот від 50 до 868 МГц. Кожній програмі CATV виділено в цьому діапазоні смуга 6 – 8 МГц, сигнал якої шифрується й може бути дешифрованим приймачами тих абонентів, які передплатили прийом окремих програм. Якщо телеприймач абонента не може приймати всі пропоновані канали через несумісність кабелів або кодування сигналів, то між кабельною мережею та телеприймачем додатково налаштовують конвертор. Це дає змогу більш ефективно та економно передавати весь набір телепередач від станції до абонента.

Типова система CATV складається з таких елементів: опорного комутатора, кабельної магістралі, розподільчих кабельних мереж, які прокладають у кожному будинку чи офісі, відгалужувачів (ВІД), які з'єднують магістраль з розподільчими кабельними сегментами, обладнання, яке приймає сигнали кабельного телебачення (побутова електроніка).

Ураховуючи, що коаксіальний кабель системи CATV, у порівнянні з абонентською телефонною лінією, має більш широку смугу пропускання (700 – 800 МГц) можна стверджувати, що абонентське мережеве закінчення CATV може цілком справлятися з одночасним передаванням телевізійного, голосового та комп'ютерного трафіку. Однак для повноцінної роботи з телефонною мережею та Інтернетом необхідним є зворотний зв'язок між користувачем і вузлами відповідних мереж, який у даному випадку відсутній. Цю проблему вирішує кабельний модем.

Для організації широкопasmового доступу за допомогою CATV у будинок прокладається кабель від найближчого відгалужувача (ВІД). Роль точки присутності для дому виконує спеціальна **модемна термінальна станція** (Cable Modem Termination Station, **СМТS**) (див. рис. 10.3).

У приміщенні абонентів налаштовують **розподільники й кабельні модеми**. Таку організацію абонентської мережі називають "деревом з відростками". До коаксіального кабелю під'єднуються одночасно декілька абонентів, тому абонентське закінчення СМТS є класичним розподільчим середовищем, яке застосовували, наприклад, у мережах Ethernet на коаксіальному кабелі.

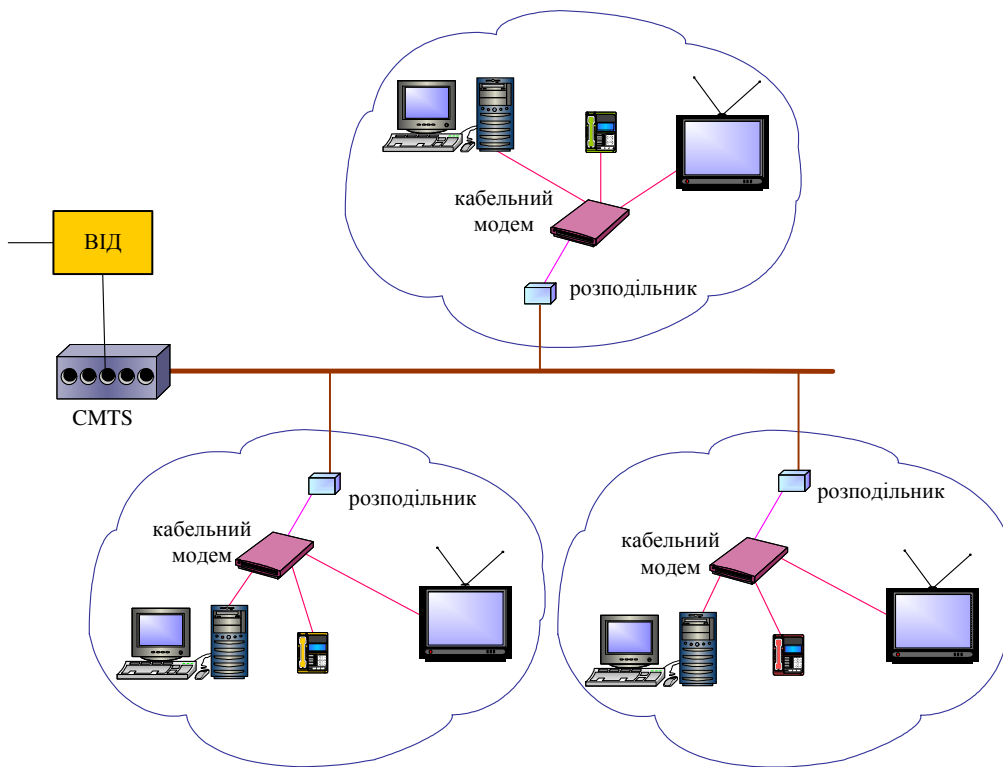


Рисунок 10.3. Під'єднання кабельних модемів до CMTS

Сучасні системи CATV будують також з використанням **гібридної волоконно-коаксіальної технології (Hybrid Fiber Coax, HFC)**. Поєднання різних кабелів дає змогу досягти дуже широкої зони покриття, зберігаючи при цьому високі характеристики сигналів.

**Кабельні модеми** призначено для роботи через мережі кабельного телебачення, які використовують широкопasmовий коаксіальний кабель з імпедансом 75 Ом. Передавання даних відбувається паралельно з відеотрансляцією. Як і ADSL, кабельні модеми асиметричні. Швидкість до користувача може досягати десятки мегабіт в секунду, від користувача бути значно нижчою. Кабельні модеми можуть бути симплексними:

модем користувача приймає тільки спадний потік даних від модема оператора кабельного TV. При цьому висхідний потік даних від користувача повинен передаватися іншим каналом (наприклад, комутованим телефонним).

Для двобічного передавання комп'ютерних даних кабельні модеми користувачів і станція CMTS займають невикористані телевізійними програмами частоти. Звичайно, це діапазон відносно низьких частот (5 – 50 МГц), розташований нижче частот телевізійних програм, а також діапазон високих частот (вищих від 550 МГц).

Діапазон низьких частот використовують для менш швидкісного висхідного каналу (до 10 Мбіт/с), а діапазон високих частот – для високошвидкісного спадного каналу (30 – 40 Мбіт/с).

Станція CMTS використовує спадний канал для передавання кадрів даних усім абонентам, використовуючи адресацію Ethernet і розподіл середовища передавання в часі. Модеми абонентів можуть взаємодіяти тільки зі станцією CMTS.

Висхідний канал працює в режимі множинного доступу всіма кабельними модемами. Множинний доступ до каналу здійснюється за принципом розподілу загального ресурсу за часом (Time Division Multiple Access, **TDMA**). У цьому розподільчому середовищі станція CMTS відіграє роль арбітра, тому кожен модем починає передавання тільки після того, як отримає дозвіл. Для того, щоб один модем не займав довго канал, CMTS призначає кожному кабельного модему тайм-слот обмеженого розміру. Тайм-слоти розподіляють тільки між активними модемами, що дає змогу ефективно витратити обмежену пропускну здатність. Для

новопід'єднаних кабельних модемів призначено спеціальні тайм-слоти. У момент під'єднання кабельний модем використовує тайм-слот для оповіщення CMTS про своє приєднання до мережі. Далі він очікує, коли йому буде виділено тайм-слот на однакових умовах з іншими кабельними модемами.

Кабельний модем може мати роз'єм для під'єднання звичайного телефонного апарату, для якого також виокремлюється смуга 4 МГц у нижньому діапазоні частот.

Комп'ютер може під'єднуватися до кабельного модему кількома способами. Найпоширеніший – технологія Ethernet 10BaseT. У цьому випадку модем має вбудований адаптер Ethernet, який під'єднується до комп'ютера або локальної комп'ютерної мережі. Передаючи інформацію за допомогою кабельного модему, використовують стандарти фізичного та MAC-рівня, тому поверх них можуть працювати всі протоколи, застосовувані в Інтернеті. Використовуючи усі можливості кабельного модему, абонент отримує від одного провайдера доступ трьох типів: телефонний, комп'ютерний та телевізійний.

### ***Широкосмуговий доступ на основі волоконно-оптичного кабелю***

Сучасні концепції побудови мережі абонентського доступу базуються на використанні волоконно-оптичного кабелю. Так, концепція «волокно в розподільчу шафу» (Fiber to the Curb, **FTTC**) забезпечує один із найпростіших і порівняно недорогих способів нарощування розміру й масштабу абонентської мережі (див. рис. 10.4).

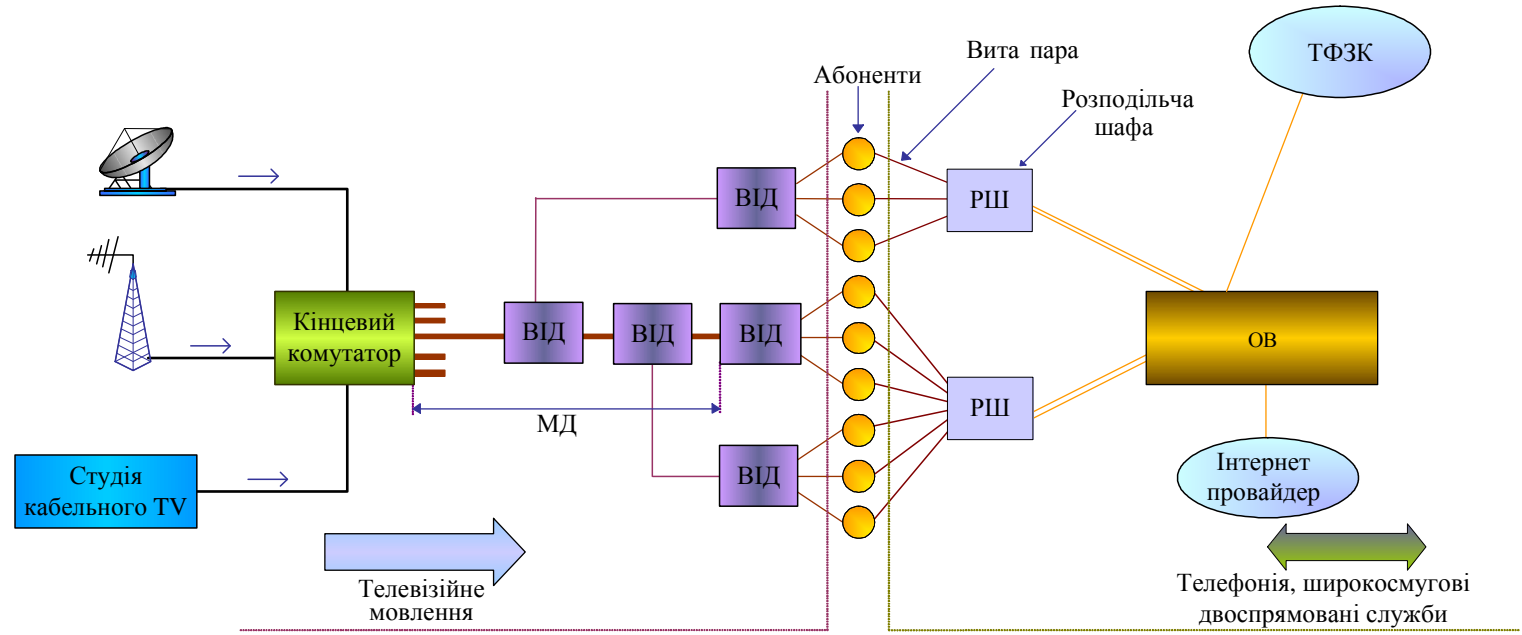


Рисунок 10.4. Концепція "волокно в розподільчу шафу" (FTTC)

Волоконно-оптичний кабель з ОВ надходить в розподільчу шафу (РШ) з електронним розподільним обладнанням. Шафа може розташовуватися безпосередньо в приміщенні: до абонентів спрямовано кручені пари. На відміну від телефонних пар, вони мають кращі технічні характеристики та більшу пропускну здатність.

Концепцію FTTC часто реалізують на основі кільцевої топології, що вирішує проблему надійності в мережі абонентського доступу.

На рисунку 10.5 наведено приклад використання пасивного оптичного контуру в мережі абонентського доступу.

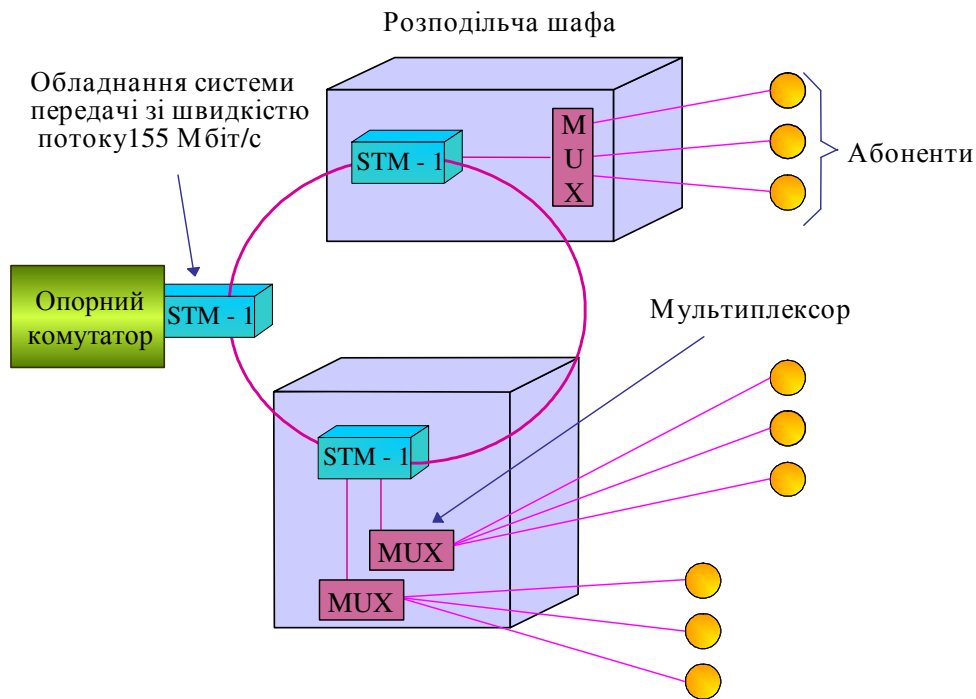


Рисунок 10.5. Пасивний оптичний контур в мережі абонентського доступу

Хоча волокно забезпечує величезну смугу пропускання, канали мереж доступу залишаються розрахованими на меншу швидкість. Термінали, які забезпечують доступ STM-64, розроблено для створення опорних магістралей і допускають під'єднання менш швидкісних потоків SDH тільки двох типів: STM-4 та STM-16. У разі необхідності організувати доступ менш швидкісним каналом, наприклад на основі STM-1 або на основі трибних інтерфейсів плезіохроної ієрархії E1, E2, E3 та ін., разом з терміналом STM-64, необхідним є додатковий мережевий пристрій, який зв'язуватиметься з терміналом доступу STM-4 або STM-16. Таким пристроєм є мультиплексорна система з синхронною цифровою ієрархією SDH зі швидкостями передавання у канал 2,5 і 10 Гбіт/с.

Концепція «**волокно в квартиру**» (Fiber to the Home, **FTTH**) є дуже дорогою (рис. 10.5). Її втілення здебільшого залежить від того, як знижуватиметься вартість волоконно-оптичних компонентів (особливо лазерних передавачів), а також від розцінок на інсталяцію таких систем. Волокно від опорного комутатора спрямовують безпосередньо до терміналу абонента. На його шляху можуть налаштовувати пасивні оптичні розподільчі кроси, які "подрібнюють" багатожильний ВОК на кабелі з меншою кількістю волокон (зокрема, на двошильні).

Для реалізації концепції FTTH використовують технології пасивних оптичних мереж PON (Passive Optical Network,). Особливістю PON є відносно низька ціна й малі витрати на експлуатацію.



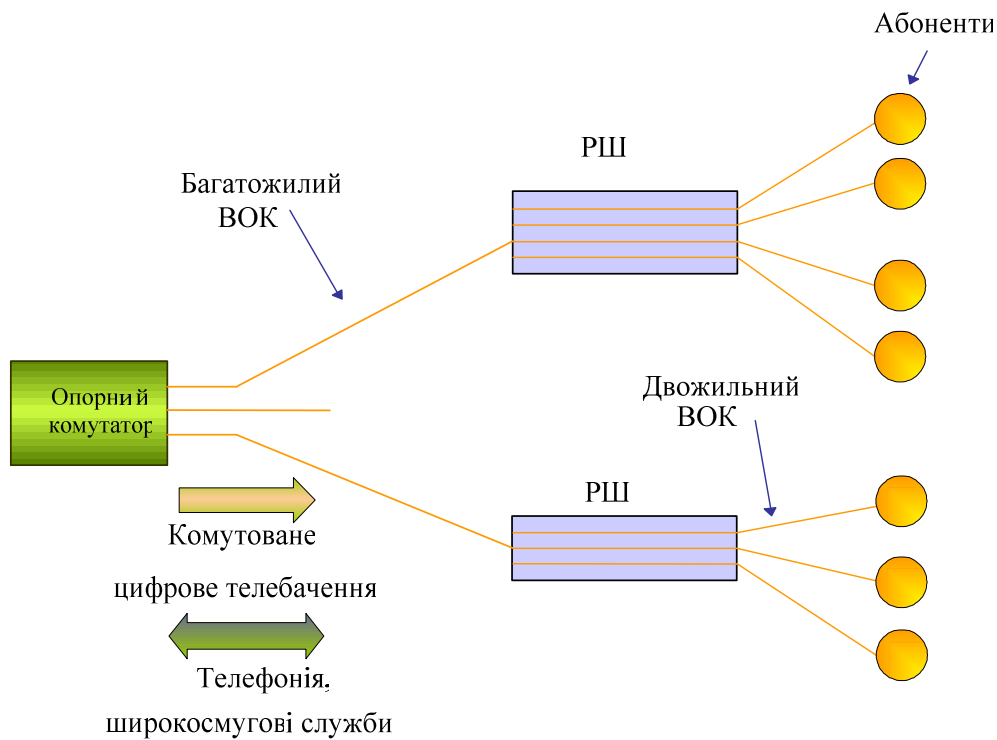


Рисунок 10.6. Концепція "волокно в квартиру" (FTTH)

## 10.2. Мережі абонентського безпроводового доступу

Використання безпроводового абонентського доступу має такі переваги: швидку реалізацію та введення об'єкта в експлуатацію, порівняно нескладну реконфігурацію мережі, що дає змогу відстежувати зміни попиту на послуги. Крім того, в деяких випадках через неможливість прокласти оптичний кабель, безпроводовий доступ стає єдиною можливою формою нарощування й модернізації абонентської мережі. Основна частина витрат у такій мережі припадає на радіоустаткування.

До безпроводового абонентського доступу також застосовують терміни «безпроводове абонентське закінчення» (Wireless Local loop, **WLL**) і «абонентський радіодоступ» (Radio Local loop, **RLL**).

Мережу абонентського безпроводового доступу WLL зображено на рисунку 10.7. Незважаючи на відсутність кабелю на розподільчій ділянці (РД), абоненти, як і раніше, залишаються «прив'язаними» до конкретної стаціонарної географічної точки – **базової станції** (Base Station, **BS**). Базова станція з опорним вузлом може бути пов'язана як за допомогою кабелю (потокм E1 G703, модемною технологією HDSL), так і безпроводовим способом (цифровий РРЛ, супутникових систем зв'язку).

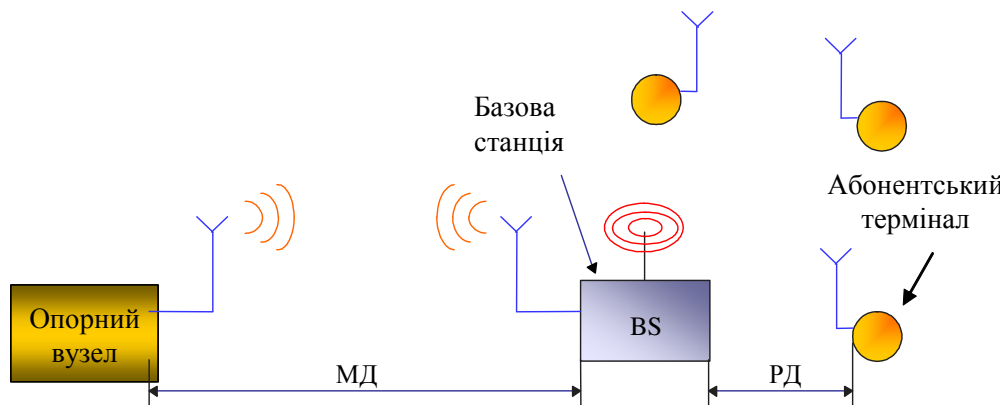


Рисунок 10.7. Стаціонарний радіодоступ

Абонентський термінал (АТ) є радіоблоком з компактною направленою або ненаправленою антеною. Залежно від типу антени й потужності передавача, допустиме віддалення АТ від базової станції може становити від 5 до 12 км.

Існують вузькосмугові й широкосмугові безпроводові абонентські закінчення.

### ***Вузькосмугові безпроводові закінчення***

Вузькосмугові безпроводові закінчення забезпечують передавання тільки низькошвидкісного комп'ютерного (до 128 Кбіт/с) та телефонного трафіку. Типовою технологією вузькосмугового абонентського закінчення є **технологія DECT**.

Основні сфери застосування стандарту DECT – це системи мікростільникового зв'язку для бізнесу, безпроводові АТС для середніх і великих компаній, пристрої абонентського доступу до телекомунікаційної мережі загального користування, альтернатива стандартному проводовому під'єднанню WLL, мікростільникові радіотелефони для дому й малих офісів.

Стандарт базується на цифровому радіопередаванні даних між базовими радіостанціями й радіотелефонами за технологією множинного доступу з часовим розподілом, TDMA (Time-Division Multiple Access). Повністю дуплексний зв'язок забезпечується за допомогою часового дуплексування TDD (Time-Division Duplexing). Діапазон радіочастот, використовуваних для приймання/передавання, – 1880-1900 МГц. Робочий діапазон (20 МГц) розподілено на 10 радіоканалів, кожен – по 1,728 МГц. Обмін інформацією проводиться кадрами; за допомогою часового розподілення в кожному кадрі створюються 24 часові слоти; 24 слоти забезпечують 12 дуплексних каналів для приймання/пе-

редавання голосу. Для налаштування з'єднання розмови використовують 2 із 24 тимчасових слоти в кожному кадрі: один – для передавання голосу, другий – для прийому.

DECT-радіотелефон постійно опитує базові радіостанції, вибираючи найкращий із доступних каналів для зв'язку (здійснюється так званий процес безперервного динамічного вибору каналів, Continuous Dynamic Channel Selection, CDSC). Завдяки CDSC мобільний абонент не помічає переходу з зони дії однієї базової радіостанції до іншої; такий перехід здійснюється без втрати якості передавання мовлення. CDSC-процес характеризується тим, що пошук найкращого каналу відбувається не тільки в момент налаштування з'єднання, а продовжується й під час розмови. DECT-радіотелефон довготривало здійснює моніторинг доступних каналів, а не приймання/передавання мовлення. Розмовляючи, абонент зовсім не помічає переходу від одного мікростільника до іншого під час передавання з'єднання мобільного абонента від однієї базової радіостанції до іншої. Ця властивість є дуже важливою, тому що, зважаючи на невеликі розміри мікростільників, таких переходів може бути декілька під час однієї розмови. CDSC-процес дає змогу використовувати однакові часові слоти на однакових частотах-носіях для з'єднання різних абонентів у мікростільниках, які не перекриваються.

### ***Широкопasmові безпроводові абонентські закінчення***

Широкопasmові безпроводові абонентські закінчення засновано на системах поширення телевізійного сигналу, тому

вони працюють у високочастотному діапазоні й забезпечують передавання всіх трьох видів трафіку, причому комп'ютерні дані можуть передаватися зі швидкостями кілька мегабіт в секунду.

Системами останнього типу є **служба багатоканального багатоточкового розподілення** (Multichannel Multipoint Distribution Service, **MMDS**), яка працює на частоті 2.1 ГГц, і **служба локального багатоточкового розподілення** (Local Multipoint Distribution Service, **LMDS**), яка працює на частоті 30 ГГц в Америці та 40 ГГц – в Європі.

MMDS – це система безпроводового зв'язку, яка забезпечує передавання лише в одному напрямку. Для з'єднання в зворотному напрямку необхідно мати модем з під'єднанням до телефонної мережі. Так як система MMDS працює на більш низьких частотах, ніж LMDS, вона забезпечує більш широку зону покриття. Одна щогла з направленими антенами MMDS може обслуговувати територію радіусом 50 км, а радіус покриття LMDS не перевищує 5 км. Однак LMDS може забезпечити своїм абонентам більш високі швидкості доступу та стільниковий дуплексний зв'язок. Ширина смуги, доступна LMDS, залежить від частотного плану конкретного провайдера. Зазвичай, подібний план передбачає двонаправлене передавання на швидкості 1.5 – 50 Мбіт/с, хоча для передавання на більш високій швидкості або асиметричного передавання може бути надана сумарна смуга до 1 ГГц.

LMDS підтримує мовлення, відео та передавання даних на високих швидкостях. Важливий аспект використання цієї

служби полягає в тому, що вона пропонує альтернативу високошвидкісним орендованим лініям для бізнесу, забезпечує високошвидкісний доступ до Інтернету та телебачення високої чіткості (HDTV).

Основними недоліками LMDS є необхідність отримання ліцензії та передавання тільки в межах прямої видимості. Вимога передавання в межах прямої видимості полягає в тому, що окрема базова станція не може покривати всі точки стільника. Винятком є тільки рівнинні місцевості. Виходом із ситуації є використання рефлекторів і стільників, які перекриваються.

Як у вузькосмугових, так і в широкосмугових безпроводових абонентських закінченнях використовуються різні методи мультиплексування сигналів для одночасної роботи абонентів у одному секторі спрямованості антени, а також для розподілення телевізійного, телефонного та комп'ютерного трафіків. Зазвичай, у даному випадку застосовують комбінацію FDM і TDM. Наприклад, для кожного типу трафіку може бути виокремлено свій діапазон частот відповідно до принципів частотного мультиплексування. Потім, усередині діапазону, виокремленого для передавання даних, може застосовуватися асинхронне часове мультиплексування з певним алгоритмом доступу до середовища. Для окремих абонентів, яким необхідною є гарантована смуга пропускання, може застосовуватися синхронне часове мультиплексування з утворенням безпроводових каналів PDH/SDH.

На жаль, технології WLL до цього часу є несумісними з фірмовим обладнанням доступу й центральними станціями.

Стандарт IEEE 802.16, описаний в розділі 7, є більш придатним, оскільки визначає загальні принципи використання частотного діапазону, методи мультиплексування й надані послуги, що дає змогу врахувати інтереси різних виробників обладнання WLL та забезпечити гнучкість таких систем. У даний час інтенсивно освоюються діапазони 2.5, 3.5 і 5.8 ГГц.

Специфікація IEEE 802.16 стала, по суті, стандартом для побудови мереж *широкосмугового доступу наступного покоління*, які дають змогу не тільки покрити всі зони "останньої милі", але й охопити безпроводовим зв'язком цілі регіони.

### ***Технологія WiMAX***

Відразу ж після прийняття стандарту IEEE 802.16 провідні виробники комунікаційного обладнання створили WiMAX-Forum, головним завданням якого було забезпечити сумісність обладнання різних виробників та розробити специфікації для його стандартизації, в результаті чого виникла **технологія WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – глобальна взаємодія мереж з мікрохвильовим доступом .

Технологія WiMAX цілком базується на групі стандартів IEEE 802.16. Усі стандарти групи IEEE 802.16 (IEEE 802.16-2004, IEEE 802.16-2005) описують фізичний рівень й рівень контролю доступу до середовища передавання (MAC-рівень).

Методом доступу до середовища в технології WiMAX є **ортогональний багатостанційний доступ з частотним**

**розподіленням каналів** (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, **OFDMA**) і частот-підносіїв, який є найбільш придатним в умовах багатопроменевості та відсутності прямої видимості. Суть методу полягає в тому, що послідовний потік інформації з  $M$  символів розбивається на  $m$  блоків, і символи різних блоків передаються паралельно, кожен на своїй частоті-підносії. Використання великої кількості частот-підносіїв дає можливість передавати дані на кожній з них з меншою швидкістю. При цьому за рахунок збільшення тривалості передавання елементарного символу вдається одночасно приймати прямі й відбиті від перешкоди сигнали або працювати тільки на відбитих сигналах за межами прямої видимості базової станції. Перевага такого методу доступу полягає в тому, що він дає змогу мінімізувати або зовсім усунути міжсимвольні спотворення, які виникають у радіоканалі.

Іншою прикметною особливістю технології WiMAX є багаторівнева масштабованість, заснована на частотно-територіальному плануванні, що дає змогу забезпечити максимальну пропускну здатність мереж. Технологія WiMAX може, з метою задоволення різних вимог до використання діапазону, нарощувати кількість каналів і працювати при різних методах формування каналів. Для фіксованих програм використовують частотні плани з смугами частот 3.5 і 7 МГц при частотному дуплексі та до 10 МГц при тимчасовому дуплексі.

Мережі WiMAX організовуються як незалежні, так і як інтегровані в наявні мережі операторів, їх застосовують Інтернет-сервіс-провайдери, оператори широкосмугового



безпроводового доступу, оператори традиційних стільникових мереж (GMS, CDMA, WCDMA). Упровадження технології WiMAX у всіх цих мережах знижує загальне навантаження, надаючи широкосмуговий доступ. Слід зазначити, що для успішного вирішення завдань взаємодії перерахованих мереж необхідною є IP-орієнтована архітектура мережі.

**Технологію 802.11** також можна використовувати для безпроводового доступу. Але її застосовують не так часто, тому що вона орієнтована тільки на комп'ютерний трафік та ігнорує особливості мовленнєвого й телевізійного трафіків, а саме доступ з постійною бітовою швидкістю. Метод доступу CSMA/CA, застосований у 802.11, не може забезпечити необхідного рівня якості (QoS) для чутливого до затримок трафіку. Проте деякі провайдери обирають технологію 802.11 для фіксованого доступу в Інтернет тих абонентів, яких задовольняє невизначена пропускна здатність. Цю технологію також широко використовують для мобільного доступу в зонах тимчасового перебування абонентів: у аеропортах, на залізничних вокзалах.

### **10.3 Мережі мобільного доступу**

Мобільний доступ абонентам надають, у основному, оператори стільникового зв'язку.

#### ***Специфікації технологій стільникового зв'язку***

**Перше покоління стільникового зв'язку (1G)** – це аналогова технологія телефонних систем мобільного зв'язку стандарту **AMPS** (Advanced Mobile Phone System).

У Європі спеціальна група Group Special Mobile (GSM) розробила **стандарт GSM**, для якого було виділено діапазон 900 МГц та 1800 МГц. Стандарт GSM відомий як **технологія другого покоління (2G)**. На відміну від аналогових технологій першого покоління 1G, технологія 2G є цифровою.

Разом з Європою, створенням стільникових мереж другого покоління займалися й США. На відміну від Європи, в США не було виділено нові частотні діапазони, а створювана цифрова система стільникового зв'язку повинна була працювати в смузі, яку використовують для аналогової системи (800 МГц). Так з'явився **стандарт D-AMPS (Digital AMPS)**.

Одночасно американська компанія Qualcomm почала розробку нового стандарту стільникового зв'язку, заснованого на технології шумоподібних сигналів і кодового розподілення каналів (Code Division Multiple Access, **CDMA**).

Перевагою стандарту CDMA є можливість використання однієї й тієї ж частоти по всій мережі, у всіх стільниках. Це означає, що коефіцієнт повторного використання частот для CDMA дорівнює одиниці, і відносно AMPS це дає збільшення ємності в 7 – 10 разів. У порівнянні з цифровими стільниковими мережами, мережі стандарту CDMA забезпечують удвічі більшу пропускну здатність. Завдяки можливості об'єднання до восьми каналів трафіку CDMA швидкість передавання даних може досягати 115 Кбіт/с, причому виробники устаткування можуть поступово нарощувати кількість каналів, яку підтримує інфраструктурне обладнання.

Подальшим розвитком стандартів GSM і CDMA стала **універсальна мобільна телекомунікаційна система** (Universal Mobile Telecommunication System, **UMTS**), розроблена в Європі. Вона повністю сумісна з системами другого і третього поколінь.

З точки зору користувача, UMTS є мережею для надання якісних сучасних послуг по всьому ланцюжку від одного кінцевого користувача до іншого. Концепція гарантування та керування якістю послуг зв'язку в UMTS є гнучкою й забезпечує їх саморозвиток на основі служби обміну даними в мережі. Вона містить кілька системних рівнів, які мають свої особливості в забезпеченні якості надаваних послуг і реалізується у вигляді апаратно-програмної платформи.

Стандарт CDMA в системі UMTS еволюціонує від вузькосмугового до широкосмугового – **WCDMA** (Wideband CDMA) зі швидкістю передавання до 2.4 Мбіт/с.

Використання кодового розділення каналів у радіоінтерфейсі широкосмугового цифрового стандарту, який охоплює Інтернет, мультимедіа, відео та інші широкосмугові програми, зумовив необхідність спеціальної організації каналів цього радіоінтерфейсу.

Радіоінтерфейс WCDMA містить канали трьох рівнів: логічного, транспортного та фізичного. Логічні канали визначають тип інформації, яка передається в мережі. Вони не є реальними каналами й організовуються в мережі лише в потрібні моменти часу для виконання конкретних завдань. Транспортні канали визначають, яким чином перетворюється й здійснюються обмін інформацією між елементами мережі. Фізичні канали забезпечують реальне передавання сигналів у

лініях зв'язку між абонентським обладнанням і базовими станціями мережі радіодоступу UMTS. З фізичними каналами працюють базові станції, а контролери мережі радіодоступу розрізняють і працюють тільки з транспортними каналами. У мережі UMTS передбачено також такі фізичні канали, які виконують функції сигналізації і не містять інформацію транспортних каналів.

Лінії зв'язку в UMTS складаються з ліній "вгору" **US-BS** (User Equipment - Base Station) – від абонентського обладнання до базової станції та ліній "униз" **BS-US** (Base Station - User Equipment) – від базової станції до абонентського обладнання. Транспортні канали радіоінтерфейсу WCDMA в лініях US-BS і BS-US мають певні відмінності.

*Безпроводовий мобільний доступ до Інтернету* надають переважно оператори мобільних телефонних мереж з використанням для передавання пакетного трафіку протоколу **служби пакетного радіозв'язку загального призначення** (General Packet Radio Service, **GPRS**), який працює в рамках стандарту GSM (Global System for Mobile Communication) в діапазоні 1800 МГц.

**Технологію GPRS** називають технологією покоління 2.5G. GPRS використовує принцип розподілення каналів для передавання голосового трафіку й трафіку даних, а також забезпечує можливість прийому під час GPRS-з'єднання як телефонних дзвінків, так і SMS-повідомлень. Додатково оператори пропонують послуги мультимедійних MMS-повідомлень. Користувачі мобільних телефонів можуть мати також доступ в Інтернет. Однак швидкість такого доступу є невисокою (2 400 – 9800 Кбіт/с).

**Мобільні мережі третього покоління 3G** задекларовано ІТU в **концепції ІМТ-2000** (International Mobile Telecommunications). Їх відмінною рисою є значне перевищення трафіку даних над голосовим трафіком. Роботу над стандартами 3G зосереджено на розширенні займаної смуги частот та удосконаленні принципів побудови радіоінтерфейсу. Це дало змогу досягти в стільникових мережах третього покоління таких переваг, як глобальний роумінг, підвищена ємність, покращена якість передавання мовлення та високошвидкісне передавання даних для підтримки мультимедійного трафіку. Якісна зміна принципів побудови радіоінтерфейсу відкриває шлях для подальшого прогресу в сфері технологій CDMA і створення перспективних програм.

У мережах 3G забезпечено такі швидкості передавання даних:

- для абонентів, які рухаються зі швидкістю 120 км/год, – 144 кбіт/с;
- для абонентів, які рухаються зі швидкістю до 3 км/год, – 384 кбіт/с;
- для стаціонарних абонентів – до 2 Мбіт/с.

Мережі 3G містять широкий спектр безпроводових технологій як UMTS, так і CDMA. Однак 3G є проміжним етапом розвитку стільникового зв'язку. У Японії вже запропоновано комерційне рішення **супер 3G** або **3.5G**. Це **технологія високошвидкісного передавання даних з комутацією пакетів по лінії "вниз"** (High Speed Downlink Packet Access, **HSDPA**), що підтримує швидкість 10 Мбіт/с.

Для роботи в мережах мобільного доступу використовують абонентські багатофункціональні пристрої (АБП), що є повноцінними продуктами конвергенції, якими є мобільний телефон, плата для комп'ютера, блок, інтегрований в ноутбук. Нові методи захисту інформації дають змогу використовувати мобільний телефон як кредитну картку (мобільний банкінг). Важливим напрямком розвитку АБП є їх конвергенція з іншими технологіями безпроводового доступу, наприклад, використання SIM-картки пристрою, призначеного для роботи в мережі GSM, в пристроях що працюють за технологією Wi-Fi.

Отже, стільниковий зв'язок є сектором ринку телекомунікацій, який найбільш динамічно розвивається .

### ***Мобільний WiMAX***

Мобільний WiMAX – це значний крок у розвитку конвергентних систем широкосмугового радіодоступу на основі взаємодії безпроводових стаціонарних і мобільних мереж доступу. Крім того, перехід від архітектури фіксованого WiMAX до мобільного не вимагає докорінної перебудови й заміни обладнання безпроводового доступу.

Мобільний варіант технології WiMAX представлено стандартом IEEE 802.16e. Методом доступу до середовища є метод ортогонального частотного ущільнення OFDMA з 256 і 1024 частотами-підносіями.

Для забезпечення нарощування пропускної здатності каналу від 1.25 до 20 МГц стандартом IEEE 802.16e рекомендовано метод, який отримав назву **масштабований**

або **нарощений OFDMA** (Scalable OFDMA, **S-FDMA**). Використовуючи 1024 частоти-підносії, запропоновано механізм масштабування, що дає змогу призначати групи підносіїв для окремих користувачів, створюючи підгрупи каналів на певні часові інтервали й забезпечувати тим самим більшу гнучкість керування смугою пропускання. Цей механізм підтримує сигналізація по загальному каналу сигналізації (ЗКС), використовуючи спеціальні сигнальні протоколи прикладного рівня (Mobile Application Part, **MAP**).

Технологія WiMAX забезпечує високі швидкості передавання даних для основних конфігурацій базових станцій, реалізованих на основі стандартів безпроводового зв'язку IEEE 802.16. Пікова швидкість потоку даних по лінії «вниз» становить 63 Мбіт/с, а потоку даних по лінії «вгору» – 28 Мбіт/с.

Мережеві служби на основі WiMAX підтримують такі широкосмугові послуги, як потоки відео й VoIP, а також забезпечують послуги мобільного Інтернету.

Висока якість обслуговування QoS є фундаментальною умовою архітектури протоколів доступу до середовища стандарту IEEE 802.16e та базується на принципах диференційованого обслуговування, що є стандартизованим методом підтримки служб з різними рівнями якості.

Специфікації мобільного WiMAX допускають його взаємодію з широкосмуговими провідними мережами, зокрема з такими, як цифрові абонентські лінії, які використовують технології xDSL, а також можливість застосування технології MPLS.

Об'єднання зусиль розробників IEEE 802.16 і WiMAX-Forum дозволили знайти рішення для налаштування WiMAX-з'єднання мобільних об'єктів "з кінця в кінець".

Мобільний WiMAX підтримує також оптимальні схеми **хендоверів** (естафетного передавання з'єднання) з часовою затримкою менше ніж 50 мс. Це гарантує роботу застосовань реального масштабу часу.

Архітектура мобільного WiMAX базується на так званій **платформі All-IP**, тобто тільки на передаванні та комутації пакетів без використання каналів телефонії. Таким чином, не постає необхідність підтримувати в мережі дві технології комутації. Відмінними принципами архітектури WiMAX також є:

- відокремлення мережі доступу від послуг IP-зв'язку;
- побудова масштабованої мережі з різним кроком нарощування;
- ієрархічність топології з використаними додаткових вузлів або без них;
- глобальний роумінг між операторами WiMAX, зокрема забезпечення повторного використання частот, послідовного застосування системи аутентифікації, білінгу й урегулювання претензій;
- підтримка взаємодії устаткування різних виробників у процесі реалізації функцій мережевого доступу.

Нарощувана й гнучка архітектура, висока продуктивність і порівняно невисока вартість послуг забезпечують мобільному WiMAX лідерство серед



безпроводових широкосмугових систем доступу. Ця технологія з успіхом застосовується для досягнення вигідних економічних рішень з урахуванням особливостей конкретної географічної зони, наприклад, якісний доступ до Інтернету в сільській місцевості, мобільний зв'язок у віддалених районах з низькою абонентською щільністю та ін.

#### **10.4. Архітектура мереж доступу**

##### *Узагальнена архітектура та модель мережі доступу*

З точки зору користувача, мережі доступу та транспортні мережі є лише засобом отримання телекомунікаційних та інформаційних послуг. При цьому, основні вимоги щодо надання таких видів послуг, як передавання мовлення, даних і відеоінформації висувають саме до мереж доступу.

Виникає необхідність побудови певної узагальненої, універсальної моделі мережі доступу та її архітектури, яка враховуватиме щораз вибагливіші потреби користувачів у послугах мережі.

Таку узагальнену архітектуру та модель мережі доступу визначено ІТУ-Т у Рекомендації G.902 (11/95). На рисунках 10.8 наведено узагальнену архітектуру мережі доступу, описану в цій рекомендації.

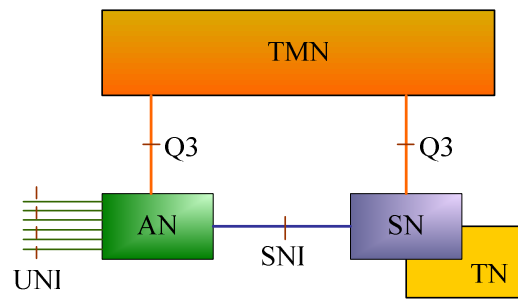


Рисунок 10.8. Узагальнена архітектура мережі доступу

Елементами узагальненої архітектури мережі доступу є:

- **TMN** (Telecommunication Management Network) – мережа керування телекомунікаціями;
- **UNI** (User-Network-Interface) – інтерфейс користувач-мережа;
- **AN** (Access Network) – мережа доступу;
- **SNI** (Service Node Interface) – інтерфейс сервісного вузла;
- **SN** (Service Node) – сервісний вузол;
- **TN** (Transport Network) – транспортна мережа;
- **Q3** – інтерфейс керування.

На мережу керування телекомунікаціями TMN покладено завдання підтримувати функціональність усіх елементів мережі, що здійснюється шляхом постійного контролювання інтерфейсом Q3 операційних систем керування, конфігурації та координації ресурсів, контролювання безпеки. Опції повномасштабного керування

повинні охоплювати мережі доступу різних операторів на великих територіях (у межах міст, областей).

Як бачимо, мережа доступу AN присутня в даній архітектурі як сегмент телекомунікаційної мережі, що забезпечує доступ користувачів до сервісного вузла SN. Її функціями є концентрація каналів користувачів, мультиплексування сигнальної і пакетної інформації, контролювання та керування.

Транспортна мережа TN забезпечує можливість доступу до різних сервісним вузлів.

Функціями інтерфейсів користувачів UNI є: під'єднання терміналів користувачів; аналогово-цифрове та цифрово-аналогове перетворення; перетворення сигналів (інтерфейсів); активація/деактивація UNI; тестування; контроль, керування та обслуговування.

Прикладами функцій інтерфейсів сервісних вузлів SNI є: під'єднання мереж доступу до сервісних вузлів, концентрація функцій контролю, керування, обслуговування в мережах доступу, тестування, управління, контроль та обслуговування інтерфейсів.

Зразками типів сервісних вузлів SN є: вузли телефонного зв'язку, вузли N-ISDN, вузли B-ISDN, вузли виокремлених ліній, вузли пакетної комутації, вузли пакетного передавання через виділені лінії, вузли відео- та радіопрограм аналогового мовлення, вузли відео та радіопрограм цифрового мовлення, вузли відео- та радіопрограм на запит, вузли Інтернет.

На рисунку 10.9 відтворено узагальнену модель мережі доступу, в якій відображено її основні ділянки, елементи, блоки та системи.

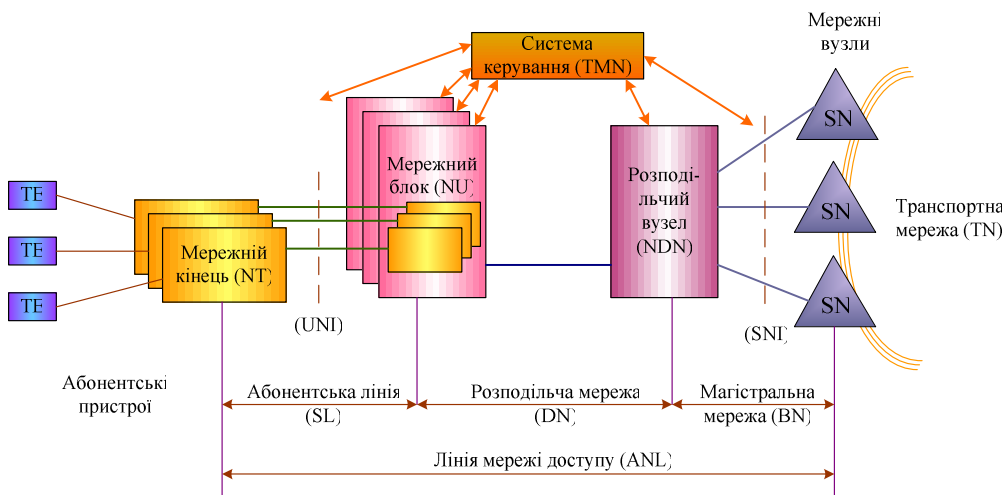


Рисунок 10.9. Модель мережі доступу

На цій моделі мережа доступу є сукупністю абонентських ліній та обладнання (станцій) місцевої мережі, які забезпечують доступ абонентських терміналів до транспортної мережі та місцевий зв'язок без виходу в транспортну мережу.

Мережеве закінчення **NT** (Network Termination) дає змогу під'єднувати один або декілька користувацьких терміналів **TE** (Termination Equipment).

Мережевий блок **NU** (Network Unit) забезпечує первинний доступ через мультиплексування й концентрацію трафіку та каналів, а розподільчий вузол **DN** (Distribution Node) – доступ абонентських пристроїв **TE** до сервісних вузлах **SN**.

У даній узагальненій моделі мережі доступу ІТУ-Т уперше вводиться поняття «**лінія мережі доступу**» (Access Network Line, **ANL**). Це лінія, яка з'єднує мережеве закінчення **NT** з сервісним вузлом **SN** і проходить через усю мережу

доступу. Вона може бути утворена фізичним ланцюгом (колом), каналом (аналоговим або цифровим), складовим каналом, віртуальним каналом або декількома каналами для однакових або різних послуг.

ANL проходить через абонентську лінію **SL** (Subscriber Line), інтерфейс **UNI**, мережевий блок **NU**, розподільчу мережу **DN** (Distribution Network), мережевий розподільчий вузол **NDN** (Network Distribution Node) та магістральну (транспортну) мережу **BN** (Backbone Network).

Отже, модель мережі доступу, визначена ІТУ-Т, відрізняється, наприклад, від звичної схеми мережі абонентського доступу на базі міської телефонної мережі. У порівнянні з містською ТфЗК, розглянута модель є універсальною мережею, в якій можуть бути гарантовані будь-які послуги. Мережі телефонних ліній непридатні для широкосмугових послуг, однак вони можуть частково входити в мережі доступу на різних ділянках, наприклад, на ділянці розподілу, а також відповідній ділянці абонентських ліній. Для реалізації універсальних можливостей мережі доступу можуть бути використані розглянуті вище системи передавання мідними лініями з застосуванням широкосмугових технологій, оптичного зв'язку та радіосистеми.

### *Ієрархія мереж доступу*

З точки зору мережевого оператора, мережі доступу можна класифікувати відповідно до ієрархії сегментів: LAN, MAN, WAN. На рисунку 10.10 наведено схему такої структурованої мережі доступу.

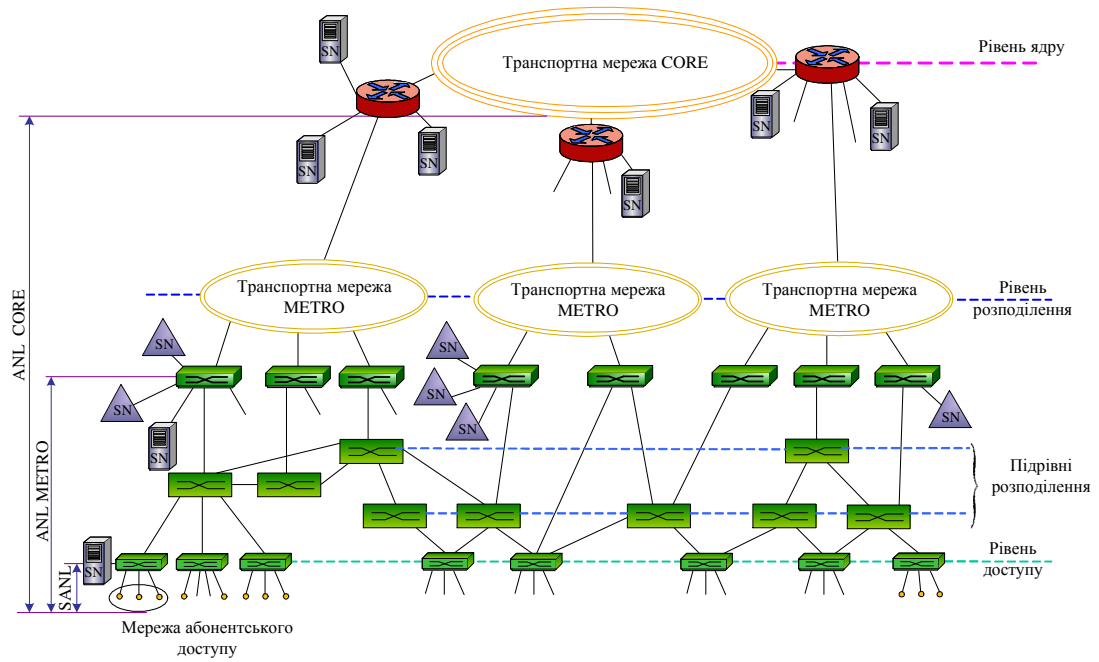


Рисунок 10.10. Схема структурованої мережі доступу

Структуризація мережі доступу ґрунтується на принципі побудови ієрархічної моделі організаційної структури мережі, розглянутої в розділі 3 (підрозділ 3.3). Нагадаємо, що ця модель відображає ієрархію рівнів доступу, розподілу та ядра.

Перераховані рівні, відповідно до побудови мереж доступу, можна розглядати, з одного боку, як рівні замикання трафіку в процесі організації внутрішньосегментних зв'язків через опорні вузли, а з іншого боку – як рівні розташування *сервісних вузлів*. Функції *розподільчих вузлів* при цьому покладено на опорні вузли відповідних рівнів.

Таким чином, з точки зору мережевого оператора, побудова мережі доступу зводиться до організації сегмента формування вихідного трафіка СФВихТ від мережевих закінчень NT до опорного вузла того рівня, до якого під'єднано відповідні сервісні вузли. Якщо оператор поєднує свою діяльність з діяльністю провайдера послуг, він може зосередити функції розподільчого вузла та сервісного вузла (вузлів) у одному опорному вузлі.

Сервісні вузли SN різних провайдерів, як правило, розосереджені в мережі. У загальному випадку, доступ до них можна здійснювати через транспортні мережі різних рівнів (METRO, CORE). Хоча канали транспортних мереж забезпечують досить широку смугу пропускання, канали мереж доступу залишаються розрахованими на меншу швидкість.

Наприклад, термінали, розроблені для створення опорних магістралей, забезпечують доступ STM-64, і допускають під'єднання менш швидкісних потоків SDH тільки двох типів: STM-4 та STM-16. У разі необхідності

організувати доступ менш швидкісними каналами, наприклад на основі STM-1 або на основі трибних інтерфейсів плезіохроної ієрархії E1, E2, E3 т і ін., окрім терміналу STM-64, потрібним буде додатковий мережевий пристрій, який зв'язуватиметься з терміналом доступу STM-4 або STM-16.

Мережеві пристрої, призначені для каналів STM-16 і більш низькошвидкісні, допускають реалізацію безпосереднього доступу, проте необхідність агрегації низькошвидкісних потоків мереж доступу, які направляються в транспортні мережі, поки ще залишається актуальною.

Ієрархічна модель організаційної структури мережі, як раніше зазначалося, допускає подання рівня розподілу кількома підрівнями, кількість яких залежить від ступеню агрегації інформаційних потоків, які доправляються в транспортну мережу. Малопотужні потоки об'єднуються в комутаційних вузлах підрівнів розподілу до необхідного ступеня агрегації та остаточно концентруються у вузлах доступу – терміналах транспортної мережі. Ступінь концентрації, як уже зазначалося, залежить від застосованої технології мультиплексування.

Ділянки мереж доступу, утворені використанням комутаційних вузлів підрівнів розподілу, можуть розглядатися як самостійні сегменти та мають назву **«мережі міжвузлового зв'язку»** (Node Connection Network, **NCN**). Топологія фізичних зв'язків у сегментах NCN визначається на основі загальних правил побудови сегментів (див. розділ 5), а також вимог надійності та живучості мережі.



Вузли підрівнів розподілу є суто транзитними вузлами, а лінії зв'язку, які забезпечують їх поєднання, називають **з'єднувальними лініями**.

Традиційно мережі міжвузлового зв'язку NCN масштабу MAN класифікують як: нерайоновані, районовані без вузлування й районовані з вузлуванням (термінологія телефонних мереж), що, у свою чергу, характеризує ступінь розгалуженості мережі.

Так, нерайонована NCN є зоною, в якій мережа NCN спростилася до розміру одного опорного вузла, що, крім своїх основних функцій, забезпечує доступ до транспортної мережі METRO.

*Районована NCN без вузлування* характеризується наявністю декількох районів обслуговування абонентів на її території, в кожному з яких знаходиться свій ОВ. Усі ОВ об'єднуються між собою для організації міжрайонного зв'язку, наприклад, за принципом "кожний з кожним" або в „кільце” (рис. 10.11 а, б). Вихід у транспортну мережу організовується в одному з вузлів, який виконує функцію опорно-транзитного.

*Районована NCN з вузлуванням* припускає наявність у мережі NCN транзитних вузлів (ТВ), через які можна організувати зв'язок міжрайонного обміну. Це вузли наступного за ієрархією підрівня розподілу. Наявність транзитних вузлів припускає утворення для кожного з них свого вузлового району, який містить певне число ОВ (рис. 10.12). Один з ТВ забезпечує вихід до транспортної мережі METRO.

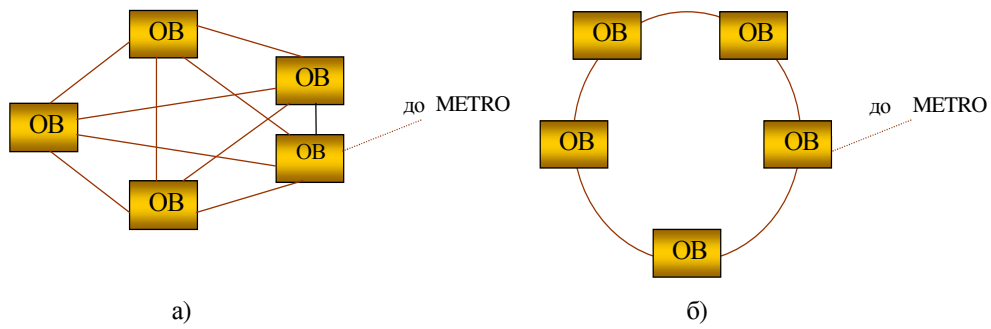


Рисунок 10.11 – районована мережа NCN без вузлування:  
 а – на основі мідного кабелю, б – на основі ВОК

Мережа міжвузлового зв'язку може містити сегменти, в яких використовуються різні телекомунікаційні технології, реалізовані на основі мідних кабелів і ВОК. Об'єднання таких сегментів здійснюється шляхом використання "шлюзів". Ці функції, як правило, покладаються на транзитні вузли.

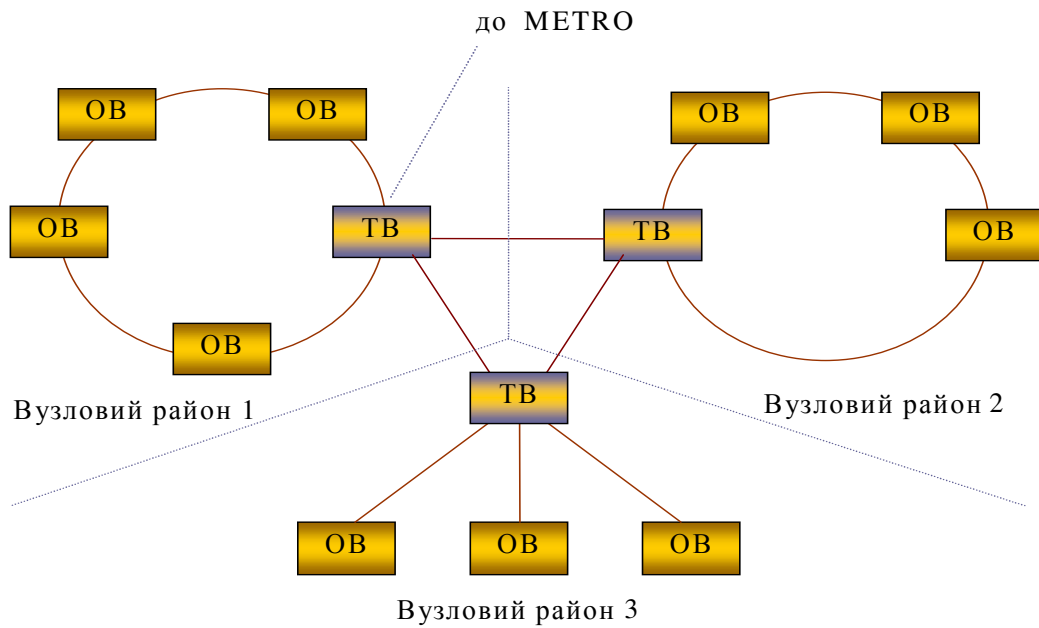


Рисунок 10.12. Районована мережа NCN з вузлуванням

Відповідно до розглянутої *ієрархії мереж доступу* та узагальненої моделі мережі доступу ІТУ-Т, доцільно сформуванати *ієрархію ліній мереж доступу ANL*, а саме:

- перший рівень – лінія мережі доступу ANL проходить від мережевого закінчення NT до сервісного вузла SN, розташованого на рівні доступу ієрархічної моделі організаційної структури мережі;
- другий рівень – лінія мережі доступу ANL проходить від мережевого закінчення NT до сервісного вузла SN, розташованого на рівні розподілу ієрархічної моделі організаційної структури мережі;
- третій рівень – лінія мережі доступу ANL проходить від мережевого закінчення NT до сервісного вузла SN, розташованого на рівні ядра ієрархічної моделі організаційної структури мережі.

У висновку зазначимо, що еволюція розвитку мереж доступу допускає *конвергенцію транспортних мереж та мереж доступу*, що не потребує організовувати сегменти NCN. Трансформація транспортних мереж у мультисервісні мережі повинна забезпечити доступ у транспортну мережу потоків різного ступеня агрегації.

Оскільки важко заздалегідь передбачити потреби в розподілі смуги пропускання в транспортних мережах, то, мабуть, переваги матимуть ті архітектури, які допускають поступове нарощування своїх ресурсів, однак в ширших межах.

Наприклад, якщо порівняти два способи нарощування системи до забезпечення швидкості потоку 800 Гбіт/с:  $8 \times \text{STM-64}$  і  $32 \times \text{STM-16}$ , то в першому варіанті матимемо більший крок нарощування (10 Гбіт/с), а у другому варіанті з кроком 2,5 Гбіт/с нарощування можна здійснювати більш плавно. Крім того, WDM - мультиплексування з невеликою кількістю хвильових каналів, подальша їх повна оптична комутація, а також введення/виведення стають більш простими рішеннями, ніж попереднє електронне агрегування потоків STM-16 в менше число потоків STM-64 на терміналі SDH.

Концепція мереж наступного покоління NGN передбачає побудову не тільки мультисервісних транспортних мереж, але й мультисервісних мереж доступу.

### **10.5. Мультисервісний доступ**

Реалізація мультисервісного доступу ґрунтується на використанні *мультисервісних комутаторів доступу* (МКД) і *мультисервісних абонентських концентраторів* (МАК), або *шлюзів доступу* (Access Gateway, **AG**).

**Мультисервісний комутатор доступу МКД** (у англійській термінології – Switch and Access Node, **SAN**) є різновидом Softswitch, сферу застосування якого визначає його назва: він виконує одночасно функції вузла комутації та вузла мережі доступу для місцевих мереж зв'язку. Системне й програмне забезпечення МКД функціонує в реальному масштабі часу й забезпечує надання всіх телекомунікаційних послуг, а також виконання функцій керування, генерації

статистичної та тарифної інформації, технічного обслуговування та моніторингу аварійних ситуацій.

На рисунку 10.13 наведено схему побудови мультисервісного доступу в мережу NGN з використанням МКД та МАК.

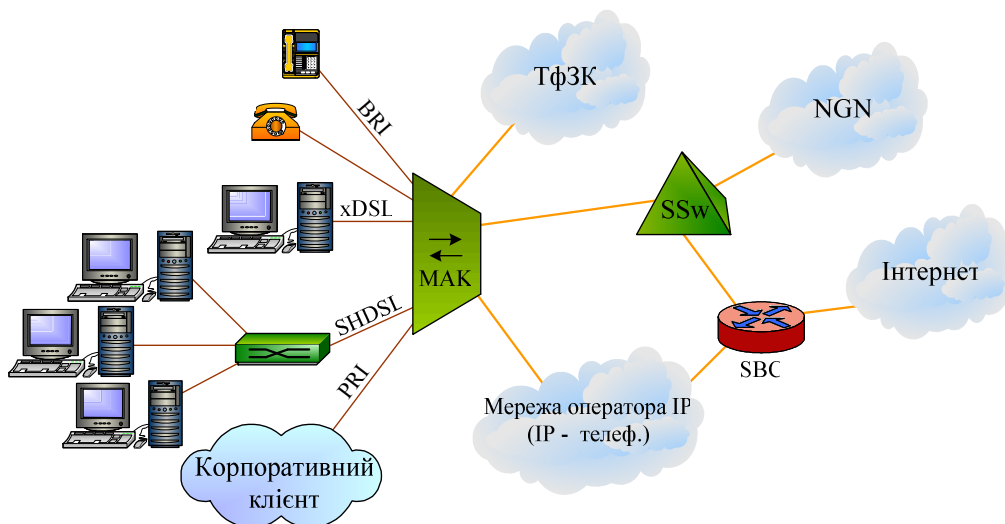


Рисунок 10.13. Мультисервісний доступ

У цій схемі МКД взаємодіє з ТфЗК з використанням сигналізації СС-7 і керує мережею ІР-телефонії. Мультисервісний концентратор МАК під'єднується до нього ІКМ-трактом, який підтримує до 16 потоків Е1.

Цікавою особливістю застосування МКД є можливість об'єднання декількох територіально віддалених пристроїв доступу МАК в один з присвоєнням їм одного коду пункту сигналізації. Крім того, МКД може керувати мережею ІР-телефонії, побудованою на мультисервісних абонентських концентраторах МАК.

МКД є устаткуванням операторського класу, містить сигнальні шлюзи, будується на спеціалізованому сервері під операційною системою Linux та підтримує стек протоколів сигналізації ЗКС-7, а також протоколи SIP та H.323 для взаємодії з іншими Softswitch, з шлюзами й кінцевими користувачами мережі H. 323. Крім того, МКД виконує автентифікацію та авторизацію, різні режими маршрутизації, зокрема вибір найкращого з декількох маршрутів за критерієм вартості або/і надійності у разі відмови основного маршруту, спеціальну маршрутизацію для контакт-центрів і спецслужб та ін.

МКД розраховано на застосування у разі максимальної близькості до мережі доступу й орієнтовано на подальший перехід до NGN. Вони мають, як правило, гнучку модульну структуру й дають змогу будувати систему з використанням тих модулів, які забезпечують необхідні функції та потрібне масштабування (від 25 тис. до 2,5 млн. дзвінків в ЧНН).

**Мультисервісний абонентський концентратор (МАК)** є виносним блоком комутаційного вузла (наприклад, АТС SI2000). МАК розміщують, як правило, у вуличних закритих стійках.

Гнучка модульна архітектура концентратора дає змогу економічно ефективно організувати багатофункціональний доступ. До складу МАК входить потужний процесор, пул цифрових сигнальних процесорів, вбудований TDM-комутатор і DSLAM-мультиплексор з можливістю роботи з IP-протоколом та ін.

МАК забезпечує взаємодію сигналізації між лініями ТфЗК або ISDN (BRI, PRI) і мережевим інтерфейсом H. 323. Використовуючи вбудований мультиплексор DSLAM, DSL-

лінії широкосмугових користувачів під'єднуються безпосередньо до IP-мережі через інтерфейс Ethernet. ISDN-термінали – безпосередньо через шину S0 або опосередковано через спеціальні блоки мережевого закінчення (NT). Лінії DSL – безпосередньо або через плату роздільників (сплітерів), у цьому випадку кожен зі слотів використовується для під'єднання міні-вузла широкосмугового доступу. Останній є компактним DSLAM-рішенням, розміщеним на одній платі.

Подальше вдосконалення та розвиток МАК, як шлюзів доступу **AG**, здійснюються за рахунок розробки нових вбудованих плат для передавання даних і голосу, таких, наприклад, як голосовий шлюз, який обробляє голосовий трафік TDM за допомогою протоколів IP/UDP поверх інтерфейсів 100Base-X і 1000Base-X, тобто за рахунок використання Ethernet в якості транспортного середовища (Carrier Ethernet).

Під час переходу до NGN шлюзи доступу повинні забезпечувати термінування ліній традиційного обладнання доступу в програмний комутатор Softswitch за технологією VoIP. Під цим розуміється надання стандартних інтерфейсів ліній традиційними пристроями й перетворення «синхронний-в-асинхронний» для передавання інформації в голосовий смузі сигналів між лінійними інтерфейсами та IP-мережею. Цифрові вибірки голосового трафіку на стороні абонентських ліній при цьому інкапсулюються в пакети IP для передавання IP-мережею й в кінцеві точки IP, які підтримують голосові функції, наприклад, в IP-телефони й медіа-сервери (Media Server, **MS**).

Розглянемо ще один корисний пристрій, який використовується для організації доступу – *прикордонний контролер сеансів*.

**Прикордонний контролер сеансів** (Session Border Controller, **SBC**) призначено для забезпечення IP-комунікацій, як послуг реального часу, в IP-мережі, яка межує з Інтернет з традиційними послугами (e-mail, ftp, web-серфінг).

Особливий інтерес цей новий клас устаткування викликає в операторів зв'язку, які використовують технології VoIP, і провайдерів IP-телефонії, у зв'язку з переходом від схем TDM-IP-TDM до прямого передавання трафіку IP-IP. Саме для таких сполук, в першу чергу, необхідними є SBC – нові пристрої NGN. Їх основним завданням, як вже сказано, є поєднання окремих IP-мереж, а головна їх перевага виявляється у передаванні через кордони мереж мовного, відео та мультимедійного трафіку реального часу.

Використання SBC дає змогу мережевим операторам обходитися без *мовленнєвих шлюзів*, які широко використовують провайдери IP-телефонії. У цих шлюзах за рахунок додаткового перетворення кодеків, значно знижується якість мовлення та підвищується вартість обслуговування трафіку. До того ж вони не забезпечують передавання інших мультимедіа-застосовань.

У цілому, SBC відповідає за вирішення завдань міжмережевої взаємодії, безпеки, надійності та якості обслуговування трафіку реального часу без перетворення в TDM-формат на виході з IP-мережі.

Опції SBC можуть бути реалізовані як в окремому пристрої, так і розташовуватися в інших мережевих пристроях,



але всі вони зосереджені на сеансовому (п'ятому) рівні моделі OSI/ISO. Назвемо основні з цих функцій:

- забезпечувати міжпротокольну та внутрішньопротокольну (перетворення різних версій стеків протоколів) взаємодію мереж операторів і провайдерів;
- контролювати налаштування телефонних з'єднань, керувати якістю обслуговування QoS шляхом обмеження кількості одночасних викликів;
- гарантувати безпеку, здійснювати функції приховування внутрішньої структури мережі;
- здійснювати функції сигнального контролера SIP;
- забезпечувати проходження трафіку через перетворювач мережевих адрес (Network Address Translator, NAT) і міжмережевих екранів;
- виконувати операції з медіа-трафіком, перетворення результатів стиснення різними кодеками (G.729, G.723.1 та ін.);
- підтримувати функцій COP3 (Системи оперативно-розшукувальних заходів).

На SBC, крім основних завдань, можуть покладатися специфічні функції для потреб оператора. Наприклад, у великих мережах SBC може використовуватися як концентратор трафіку деякого сегмента. При цьому Softswitch та інші SBC будуть взаємодіяти тільки з таким концентратором, а внутрішня структура сегмента від них приховуватиметься.

Ключовим моментом є взаємодія SBC і Softswitch. Ці пристрої дуже схожі, однак можна простежити й відмінності між ними.

Завдання Softswitch, в основному, зосереджені в сфері керування медіа-шлюзами й маршрутизацією викликів між ТфЗК і IP мережами, а також усередині IP-мережі. Для керування обслуговуванням виклику завжди необхідним є Softswitch, крім того, він тісно взаємодіє з базами даних і серверами прикладного рівня.

SBC може керувати якістю, безпекою й смугою пропускання для трафіку, який передається, та сигнальних повідомлень, однак можливості маршрутизації трафіку у нього дуже обмежені. SBC, у принципі, не взаємодіє з серверами прикладного рівня й базами даних.

Поява SBC обумовлена, в основному, недостатньою сумісністю обладнання різних виробників для реалізації NGN-рішень. Аналітичні огляди ринку SBC прогнозують зростання популярності обладнання цього типу.

### *Міжсегментні інтерфейси*

Міжсегментні інтерфейси, а також інтерфейс між хостом (кінцевої системою) та сегментом є **фізичними телекомунікаційними інтерфейсами**, повна специфікація яких містить також дані про фізичне середовища передавання сигналів. Логічні інтерфейси взаємодії кінцевих систем між собою залишаються логічним типом інтерфейсу та реалізуються за допомогою протоколів, відносно яких фізичні телекомунікаційні інтерфейси є *прозорими*. Прозорість інтерфейсів підтримують базові ПЗ.

Фізичними телекомунікаційними інтерфейсами в загальному випадку є такі:

- **UNI** (User-to-Network Interface) – інтерфейс «користувач-мережа» забезпечує сполучення абонентського терміналу або місцевої розподільчої мережі в приміщенні абонента з найближчим опорним вузлом мережі доступу;
- **ANI** (Access Network Interface) – інтерфейс між сегментом опорної розподільчої мережі та сегментом транспортної мережі METRO;
- **NNI-A** (Network-to-Network Interface - A) – інтерфейс «мережа-мережа» класу А, забезпечує сполучення транспортної мережі METRO з транспортною мережею CORE;
- **NNI-B** (Network-to-Network Interface-B) – інтерфейс «мережа-мережа» класу В, використовується для сполучення двох сегментів транспортних мереж METRO.

Інтерфейс NNI-У визначає специфікації для об'єднання сегментів одного рівня за пірингом. Прикладом є інтерфейс широкопasmового обміну (Broadband Interexchange Interface, **ВІІ**) між операторами або провайдерами одного рівня. Залежно від кількості сторін, які беруть участь у піринговій угоді, розрізняють двосторонній піринг і багатосторонній піринг.

Основна вимога до інтерфейсів – їх стандартизація. Якщо сегмент є власністю одного оператора, який його

експлуатує, він найчастіше реалізується з застосуванням єдиної телекомунікаційної технології й на обладнанні одного постачальника. У зв'язку з цим усі інтерфейси, які є *внутрішніми* відносно сегмента, здебільшого мають більш низький пріоритет у стандартизації, ніж *інтерфейси між сегментами*. Суворі стандартизація міжсегментних інтерфейсів є вирішальним чинником у створенні глобальної інфокомунікаційної мережі.

### **Контрольні питання**

1. У чому полягає призначення мереж доступу?
2. У чому полягає проблема «останньої милі», яким чином її можна вирішити?
3. Охарактеризуйте компоненти традиційної мережі абонентського доступу.
4. Охарактеризуйте технології та обладнання цифрової абонентської лінії.
5. Яким чином можна організувати широкосмуговий доступ з використанням систем кабельного телебачення?
6. Як класифікують концепції побудови мережі абонентського доступу, які базуються на використанні волоконно-оптичного кабелю?
7. Які переваги дає використання безпроводового абонентського доступу?
8. Охарактеризуйте технології вузькосмугових і широкосмугових безпроводових абонентських закінчень.
9. Які специфікації є стандартом безпроводових мереж наступного покоління?

10. На яких стандартах ґрунтується технологія WiMAX?
11. Який метод доступу до середовища використовується в технології WiMAX?
12. Перерахуйте специфікації технологій стільникового зв'язку, які використовують для організації мобільного доступу.
13. Де використовується протокол GPRS? Охарактеризуйте технологію GPRS.
14. У чому полягає суть концепції IMT-2000?
15. Охарактеризуйте стандарт для мобільного WiMAX-зв'язку.
16. Що таке «хендовер»?
17. Охарактеризуйте узагальнену архітектуру мережі доступу? Перерахуйте її компоненти.
18. У чому відмінність узагальненої моделі мережі доступу ITU-T від звичайної схеми мережі абонентського доступу на базі міської телефонної мережі?
19. На яких принципах ґрунтується ієрархія мереж доступу?
20. Поясніть термін «лінія мережі доступу». Прокоментуйте ієрархію ліній мереж доступу.
21. Що таке мультисервісний доступ? Яке обладнання використовують для його побудови?
22. Охарактеризуйте міжсегментні інтерфейси.
23. Що означає термін «обмін за пірингом»?

## Розділ 11. Інтермережі

### 11.1. IP-мережі і TCP/IP-мережі

Практично всі мережі є на сьогодні складеними, тобто містять у собі декілька мереж, кожна з яких може працювати на основі власної технології каналного рівня. Це обумовлено тим, що більшість мереж створювали поступово, об'єднуючи та долучаючи щоразу більшу кількість ізольованих раніше цього сегментів.

З розвитком глобальної мережі Інтернет окремих мереж, які не є складеними, можна казати майже зовсім не стало. Навіть мережі малих офісів та домашні мережі все частіше стають постійними або тимчасовими (на час під'єднання по лінії доступу) членами цієї найбільшої в світі складеної мережі.

Відносно складеної мережі ми вживаємо термін «інтермережа», який визначає сукупність логічних мереж, що взаємодіють між собою на основі протоколів та устаткування мережевого рівня (див. підрозділ 5.4). У межах інтермережі логічні мережі з'єднують за допомогою маршрутизаторів, основне призначення яких полягає в передаванні даних із однієї логічної мережі в іншу. Функції маршрутизаторів можуть виконувати як спеціалізовані пристрої, так і універсальні комп'ютери з відповідним програмним забезпеченням. Компонентами інтермережі можуть бути як локальні, так і глобальні сегменти, внутрішня структура яких не має принципового значення для протоколу мережевого рівня.

Для стеку TCP/IP основним протоколом мережевого рівня, як уже зазначено, є **протокол міжмережевої взаємодії – інтернет-протокол** (Internet Protocol, **IP**), що дає підстави називати інтермережу також **IP-мережею**.

Мережевий рівень функціонує як *координатор роботи* всіх логічних мереж на шляху проходження пакету по складеній IP-мережі. Для переміщення даних у межах окремих логічних мереж мережевий рівень звертається до використовуваних у них технологій канального рівня. Протоколи мережевого рівня реалізуються, як правило, у вигляді програмних модулів і виконуються на кінцевих вузлах, які називають також хостами, та на проміжних вузлах – шлюзах, інакше – маршрутизаторах.

IP-мережа за функціональною ознакою є *телекомунікаційною мережею*, в якій передавання трафіку здійснюється IP-пакетами.

Реалізація функцій прикладного рівня на базі IP-мережі забезпечує її *сервісні можливості з формування послуг та застосовань*. Зосереджуючи увагу саме на цьому, будемо використовувати термін **«TCP/IP-мережа»**. За функціональною ознакою TCP/IP-мережа є *інформаційною мережею*, класичним прикладом якої є глобальний Інтернет, де **інтернет-сервіс-провайдинг** (Internet Service Providing, **ISP**) – це особливий вид діяльності, відокремлений від діяльності мережевих операторів.

## 11.2. Протокол міжмережевої взаємодії

**Протокол міжмережевої взаємодії** (Internet Protocol, **IP**), описаний у документі REF 791, є *основним протоколом мережевого рівня* стеку протоколів TCP/IP.

IP – це неорієнтований на налаштування з'єднання та ненадійний протокол передавання. Термін «*неорієнтований на налаштування з'єднання*» означає, що сеанс для обміну даними не встановлюється. Термін «*ненадійний*» означає, що доставка не гарантується. Хоча IP докладає всіх зусиль, щоб доправити пакет, IP-пакет може бути втрачено, доправлено поза чергою, продубльовано або затримано. Протокол IP не може виправляти помилки таких типів. Підтвердження про отримання пакетів і повторне звернення за втраченими пакетами є обов'язками протоколу більш високого рівня, наприклад, TCP.

### *IP-адреса*

Формат IP-адреси стандартний і визначений протоколом IP, тому адреси комп'ютерів ще називають IP-адресами.

IP-адреса комп'ютера складається з чотирьох полів, які відокремлюють крапкою. Кожне поле містить число, значення якого лежить у межах від 0 до 255. Такий формат називають *точково-десятьковою нотацією*. Для зберігання даних у обчислювальній техніці застосовують двійкові числа, тому IP-адресу можна подати в двійковому вигляді:

двійковий формат – 11000000 10101000 00000011 00011000  
(десятьковий формат – 192.168.3.24)



У двійковому форматі IP-адреса складається з 32 бітів, які розбиті на чотири октети (поля по 8 біт). Щоб точно вказувати місцезнаходження комп'ютера в мережі, IP-адресу розділено на дві частини, одна містить номер мережі, інша – номер комп'ютера в цій мережі.

Для того, щоб відокремити в IP-адресі поля, пов'язані з номером мережі від полів номера вузла, комп'ютерні мережі поділяють на три основні класи: А, В і С. Класи істотно відрізняються один від одного за розмірами та складністю. Вони визначають, скільки біт в IP-адресі відводиться під номер мережі та скільки під номер вузла.

**Клас А.** Мережа класу А має адреси, які починаються з числа від 1 до 127 для першого октету, інша частина адреси – це адреса сайту. Таким чином клас А допускає максимально 126 мереж, а в кожній з них до 16 777 214 комп'ютерів. Як правило, це мережі величезних компаній, яких у світі небагато, що об'єднують велику кількість мережевих пристроїв.

**Клас В.** У мережі класу В для опису адреси мережі використовують перші два октети, а інша частина – це адреси вузлів. Перший октет приймає значення від 128 до 191, що дає максимально 16 384 мережі, в кожній з яких до 65 534 вузла. Адреси класу В призначено для мереж великого й середнього розміру.

**Клас С.** Адреси мереж класу С починаються з цифри від 192 до 223 та використовують три перших октет для опису адреси мережі. Останній октет позначає адресу сайту. Таким чином, клас С допускає максимально 2 097 152 мережі, по 254 комп'ютери в кожній. Адресу цього класу призначають малим мереж.

Адреса мережі класу А, що починається на 127, зарезервовано для тестування і є недоступною для використання.

Адреси класу D – це групові адреси, які закріплюють за групами вузлів. Це використовують деякі служби для так званої багато адресної розсилки. Діапазон адрес класу E зарезервовано, в даний час його не застосовують.

Один і той самий фізичний пристрій (комп'ютер та ін) може мати декілька IP-адрес, тобто відповідати декільком логічним вузлам. Зазвичай, така ситуація виникає, якщо пристрій має кілька мережевих адаптерів і/або модемів, оскільки з кожним з них повинен бути пов'язаний як мінімум одна унікальна IP-адреса. Хоча нерідко комп'ютеру, який має один мережевий адаптер або модем, може бути присвоєно декілька IP-адрес. Якщо фізичний пристрій має кілька IP-адрес, то говорять, що він має декілька інтерфейсів, (точок під'єднання до логічної мережі).

### ***Підмережі та маски підмереж***

**Підмережу** в даному випадку розуміють як окрему, самостійно функціонуючу частину IP-мережі одного класу, яка під'єднується, як правило, через маршрутизатор. Мережа класу А допускає наявність понад 16 мільйонів вузлів. Уявити собі таку мережу дуже складно, а працювати в ній неможливо через те, що мережеве обладнання просто не впорається з такою кількістю переданих пакетів. У зв'язку з цим IP-мережу можна, як відомо, розбити на кілька логічних мереж (підмереж), об'єднавши їх маршрутизаторами та присвоївши

кожній із них свій ідентифікатор мережі. В одному мережевому класі може існувати безліч підмереж.

Для налаштування підмережі використовують **маску підмережі**, що призначена для визначення адреси мережі незалежно від класу мережі. Формат запису маски підмережі однаковий з форматом IP-адреси: це чотири двійкових октети або чотири поля, розділених крапкою. Значення полів маски задають так: усі біти, встановлені в 1, відповідають ідентифікатором мережі; всі біти, встановлені в 0, відповідають ідентифікатору вузла (див. таблицю 11.1).

Таблиця 11.1

<b>Клас мережі</b>	<b>Біти маски підмережі</b>	<b>Маска підмережі</b>
A	11111111 00000000 00000000 00000000	<b>255.0.0.0</b>
B	11111111 11111111 00000000 00000000	<b>255.255.0.0</b>
C	11111111 11111111 11111111 00000000	<b>255.255.255.0</b>

Будь-який вузол у мережі потребує наявності маски підмережі. Маска не є IP-адресою вузла, вона лише описує адресний простір підмережі: з якої адреси починається підмережа та якою закінчується. Якщо в одній фізичній мережі працюватимуть комп'ютери з різною маскою, то вони не побачать один одного.

Наприклад, IP-адреса комп'ютера – 192.168.0.1 і маска під мережі – 255.255.255.0, тоді номер мережі –192.168.0, а номер комп'ютера – 1. Якщо локальна мережа складається з п'яти комп'ютерів, то IP-адреси комп'ютерів записують так:

192.168.0.1 маска 255.255.255.0  
192.168.0.2 маска 255.255.255.0  
192.168.0.3 маска 255.255.255.0  
192.168.0.4 маска 255.255.255.0  
192.168.0.5 маска 255.255.255.0

Використання в парі з IP-адресою маски підмережі дає змогу відмовитися від застосування класів адрес та зробити більш гнучкою всю систему IP-адресації. Так, наприклад, маска 255.255.255.240 (11111111 11111111 11111111 11110000) допомагає розбити діапазон в 254 IP-адреси, які належать одній мережі класу С, на 14 діапазонів, які можуть призначатися різним мережам.

Таким чином, якщо номер мережі – 192.168.0 і маска мережі – 255.255.255.240, то діапазони підмереж будуть:

192.168.0.16 – 192.168.0.30  
192.168.0.32 – 192.168.0.46  
192.168.0.48 – 192.168.0.62  
192.168.0.64 – 192.168.0.78  
192.168.0.80 – 192.168.0.94  
192.168.0.96 – 192.168.0.110  
192.168.0.112 – 192.168.0.126  
192.168.0.128 – 192.168.0.142  
192.168.0.144 – 192.168.0.158  
192.168.0.160 – 192.168.0.174  
192.168.0.176 – 192.168.0.190  
192.168.0.192 – 192.168.0.206  
192.168.0.208 – 192.168.0.222  
192.168.0.224 – 192.168.0.238

## *Загальні та приватні адреси*

Усі IP-адреси поділяють на дві групи: загальні та приватні. Загальні адреси використовують на комп'ютерах, безпосередньо під'єднаних до Інтернету. Приватні IP-адреси – на комп'ютерах, під'єднаних до внутрішніх локальних мереж.

Доступ до Інтернету для всіх комп'ютерів локальної мережі в більшості випадках забезпечує тільки один комп'ютер. Такий комп'ютер налаштовано відразу на дві IP-адреси: одну – приватну, іншу – загальну.

Приватний адресний простір визначають такими адресними блоками:

від 10.0.0.1 до 10.255.255.254

від 172.16.0.1 до 172.31.255.254

від 192.168.0.1 до 192.168.255.254

Ці адреси використовують у локальних мережах невеликих організацій, що не потребує реєстрації. Комп'ютерні мережі з приватними адресами можуть під'єднуватися до Інтернету через Інтернет-провайдера.

Якщо кількість комп'ютерів у мережі не перевищуватиме 254, то рекомендовано використовувати адреси з діапазону від 192.168.0.1 до 192.168.0.254 з маскою підмережі 255.255.255.0. Тоді 192.168.0 буде номером мережі, а адреси комп'ютерів – від 1 до 254.

Якщо комп'ютерів буде понад 254, то можна використовувати діапазон від 192.168.0.1 до 192.168.255.254 з маскою підмережі 255.255.0.0. Тоді 192.168 буде номером

мережі, а адреси комп'ютерів – від 0.1 до 255.254 (це більше 65 000 адрес).

Адресні блоки 10.0.0.1 і 172.16.0.1 призначено для більш великих комп'ютерних мереж.

Якщо в комп'ютері налаштовано кілька мережевих адаптерів, то кожен адаптер повинен мати свою унікальну IP-адресу. Такі комп'ютери використовуються для з'єднання декількох локальних мереж і називаються маршрутизаторами (Router).

Для побудови мереж, що складають глобальну мережу Інтернет, вибирають чітко визначені діапазони адресів, які призначаються **Адміністрацією адресного простору Інтернет** (Internet Assigned Numbers Authority, **IANA**). IANA, яка є підконтрольною ICANN, «найвищій інстанції» в питаннях резервування діапазонів адрес, що має свої представництва по всьому світу. Наприклад, у Європі розподіл адрес координує RIPE NCC.

### *Динамічні та статичні IP-адреси. DHCP*

Основною аксіомою IP-адресації є необхідність дотримання унікальності IP-адрес у всьому просторі мережі, оскільки, перш за все, цим забезпечується коректність доставки даних і маршрутизації. Закріплюють IP-адресу комп'ютера або вручну (статична адреса), або комп'ютер отримує її автоматично з серверу (динамічна адреса). Статичну адресу прописує адміністратор мережі в налаштуваннях протоколу TCP/IP на кожному комп'ютері мережі та жорстко закріплює за комп'ютером. У цьому процесі є певні незручності, а саме:

- адміністратор мережі повинен вести облік усіх використовуваних адрес, щоб уникнути повторів;
- якщо кількість комп'ютерів у локальній мережі є значною, то налаштування IP-адрес стає довготривалим.

Однак, незважаючи на зазначені незручності, статичні адреси мають одну важливу перевагу – постійну відповідність IP-адреси певному комп'ютера. Це дає змогу ефективно застосовувати політику IP-безпеки й контролювати роботу користувачів у мережі. Наприклад, можна заборонити певному комп'ютеру виходити в Інтернет або з'ясувати з якого комп'ютера виходили в Інтернет та ін.

Якщо комп'ютеру не присвоєно статичну IP-адресу, то адреса призначається автоматично. Цю адресу називають динамічною, тому що при кожному під'єднанні комп'ютера до локальної мережі адреса може змінюватися. Перевагами динамічних адрес є такі:

- централізоване керування базою IP-адрес;
- надійне налаштування, що вилучає ймовірність дублювання IP-адрес;
- спрощення мережевого адміністрування.

Динамічну IP-адреса призначає спеціальна **серверна служба -динамічний протокол конфігурування хоста** (Dynamic Host Configuration Protocol, **ДНСР**). У параметрах служби ДНСР адміністратор мережі прописує IP-діапазон, адреси з якого, видаватимуть іншим комп'ютерам.

Серверна служба DHCP, яка поширює IP-адреси, називається **DHCP-сервером**, а комп'ютер, який отримує (орендує) IP-адресу з мережі, називається **DHCP-клієнтом**.

Оскільки протокол DHCP призначено для функціонування в мережах з неналаштованою IP-взаємодією, то він є немаршрутувальним. Щоб забезпечити можливість проходження DHCP-пакетів через маршрутизатори, використовують додаткові функціональні модулі (реалізовані програмно чи апаратно), які називаються агентами ретрансляції BOOTP (BOOTP relay agent). Маршрутизатор, який виконує функції такого ретранслятора, приймає з мережі DHCP-пакети й направляє їх у інші мережі.

Зауважимо, що операційна система Windows XP Professional не містить служби DHCP-сервер. До складу Windows XP входить локальна **служба автоматичного призначення IP-адрес** (Internet Assigned Numbers Authority, **IANA**). У зв'язку з відсутністю в мережі DHCP-серверу комп'ютер із налаштованою ОС Windows XP Professional звертається до вбудованої функції автоматичного призначення IP-адреси та здійснює самоналаштування IP-адреси й маски підмережі, використовуючи одну із зарезервованих адрес. Зарезервовані адреси призначаються з діапазону 169.254.0.0 до 169.254.255.255 з маскою підмережі 255.255.0.0.

Функція автоматичного призначення IP-адреси гарантує унікальність IP-адреси, яку надають. Ця функція працює на локальному комп'ютері та не забезпечує IP-адресами інші комп'ютери мережі.



## *Доменні імена*

Апаратне і програмне забезпечення в IP-мережі для ідентифікації комп'ютерів використовує IP-адреси. Але користувачі завжди віддають перевагу роботі з найбільш зручними *символьними іменами*, так званими **доменними іменами** комп'ютерів.

Символьні ідентифікатори мережевих інтерфейсів в межах складеної мережі будуються за *ієрархичною ознакою*. Складові повного доменного (символьного) імені в IP-мережі розподіляються kropкою і перелічуються у наступному порядку: спочатку просте ім'я хоста, далі ім'я групи хостів (наприклад, ім'я організації), далі ім'я більш крупної групи (домена) і так до рівня домена найвищого рівня (наприклад, домена, який об'єднує організації за географічним принципом: UA – Україна, UK – Великобританія, US – США).

Для регламентації й забезпечення використання доменних імен в Інтернеті створена спеціальна **DNS-служба**, яка ґрунтується на розподіленій базі відображення «доменне ім'я - IP-адреса», тому доменні імена називають ще **DNS-іменами**. Крім того, існує узгодження про використання міжнародних DNS-імен.

Служба DNS застосовує у своїй роботі **DNS-сервери** и **DNS-клієнти**. DNS-сервери підтримують розподилену базу відображень, а DNS-клієнти звертаються до серверів з запитом про розв'язання доменного імені в IP-адресу. Служба DNS спирається на ієрархію доменів, і кожний сервер служби DNS зберегає лише частину імені, а не всі імена. При зростанні кількості вузлів в мережі проблема масштабування

вирішується шляхом створення нових доменів і піддоменів імен та долучення в службу DNS нових серверів.

Між доменним іменем і IP-адресою вузла немає ніякої функціональної залежності, тому єдиний спосіб встановлення відповідності – це таблиця відображень, яка створюється адміністраторами мережі.

У загальному випадку мережевий інтерфейс може мати декілько локальних адрес, мережевих адрес і доменних імен.

### **Формат IP-пакету (датаграми)**

IP-пакет – це форматований блок інформації, який передається IP-мережею, складений із заголовка й текстової частини. Для IP протоколу розроблено дві версії: четверта – **IPv4** і шоста – **IPv6**. На рисунках 11.1 и 11.2 наведено формати IP-пакетів відповідно зазначених версій.

<b>0</b>				<b>1</b>				<b>2</b>				<b>3</b>											
0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
Версія (4 біти)				ІНЛ				Тип обслуговування				Довжина пакету											
Ідентифікатор								Прапори				Зміщення фрагменту											
Кількість переходів (TTL)				Протокол				Контрольна сума заголовка															
IP-адреса відправника (32 біти)																							
IP-адреса одержувача (32 біти)																							
Параметри (до 320 біт)								Дані (до 65535 байтів мінус заголовок)															

Рисунок 11.1. Формат пакету версії IPv4

Призначення полей:

- **Версія** – інформація про версію протоколу. Для IPv4 значення поля має дорівнювати 4 бітам.

- **ІНЛ** – довжина заголовка IP-паketу в 32-бітових словах (dword). Саме це поле вказує на початок блоку даних у пакеті. Мінімальне коректне значення для цього поля дорівнює 5бітам.
- **Ідентифікатор** – значення, яка призначається відправником пакету та призначене для з'ясування коректної послідовності фрагментів при складанні датаграми. Для фрагментованого пакету всі фрагменти мають однаковий ідентифікатор.
- **Прапори** – 3 біти. Перший біт повинен завжди дорівнювати нулю, другий біт DF (don't fragment) визначає можливість фрагментації пакета, а третій біт MF (more fragments) показує, чи не є цей пакет останнім у ланцюжку пакетів.
- **Зміщення фрагмента** – значення, що визначає позицію фрагмента в потоці даних.
- **Протокол** – ідентифікатор Інтернет-протоколу наступного рівня. В IPv6 називається «Next Header».

Версія (4 біти)	Клас трафіку (8 біт)	Мітка потоку (20 біт)	
Довжина корисного навантаження (16 біт)		Наст. заголовок (8 біт)	Кількість переходів
IP-адреса відправника (128 біт)			
IP-адреса одержувач (128 біт)			
Дані			

Рисунок 11.2. Формат пакету версії IPv6

Призначення полей:

- **Версія** – для IPv6 значення поля має дорівнювати 6 біт.

- **Клас трафіку** визначає пріоритет трафіку (QoS, клас обслуговування).
- **Мітка потоку** – унікальне число, однакове для однорідного потоку пакетів.
- **Довжина корисного навантаження** – довжина даних (заголовок IP-пакету не враховується).
- **Наступний заголовок** визначає наступний інкапсульований протокол.
- **Кількість переходів** – максимальна кількість маршрутизаторів, які може пройти пакет. При проходженні маршрутизатора це значення зменшується на одиницю, досягнувши 0, пакет пакет відкидається.

Версію IPv6 призначено для роботи в мережах значно більших, ніж ті, в яких сьогодні працює IPv4.

Версію IPv4 розроблено в 1981 році й подано в спеціфікації RFC 791. Вона є найбільш розповсюдженою. Її відмінна властивість полягає у використанні 32-бітової IP-адреси для глобальної адресації пакетів. Однак, як було з'ясовано пізніше, 32-бітових адрес недостатньо для стрімкого зростання Інтернету. З цього приводу в 1995 році з'явилась версія IPv6 (RFC 1752), де використовуються 128-бітові IP-адреси. Шоста версія IP-протоколу застосовується лише в окремих країнах, де Інтернет з'явився пізніше, і яким не вистачило 32-бітових IP-адрес.

## *Протокол розв'язування адрес ARP*

Обмін усередині окремої логічної мережі, яка є частиною IP-мережі, здійснюється так саме, як і в глобальній IP-мережі, тобто з використанням IP-адреси. При цьому виникає необхідність встановлення відповідності між IP-адресою і фізичною адресою (MAC-адресою) пристрою. Ця процедура має назву **розв'язування адрес**. Її функції реалізуються спеціальним **протоколом розв'язування адрес** (Address Resolution Protocol, **ARP**), який затверджено в документі RFC 826.

Протокол ARP формально складається з двох частин. Одна частина протокола визначає фізичні адреси при посиланні ARP-запита (службового пакету), друга відповідає на ARP-запити від інших пристроїв мережі. У своєму функціонуванні протокол ARP передбачає, що кожний пристрій знає як свою IP-адресу, так і свою фізичну адресу.

Для того, щоб зменшити кількість посилань ARP-запитов, кожний пристрій в мережі, який використовує протокол ARP, повинен мати спеціальну буферну пам'ять. У цій пам'яті зберігаються відомості про пари IP- і фізичних адресо інших пристроїв в мережі. Кожного разу, коли пристрій отримує ARP-відповідь, він зберігає у цій пам'яті дані про зв'язок адрес. Як що такі дані є, то немає потреби надсилати ARP-запит. Така буферна пам'ять має назву «**ARP-таблиця**». В ARP-таблиці можуть бути як статичні, так і динамічні записи.

Динамічні записи додаються і вилучаються автоматично. Кожний запис має свій потенційний час існування. Після того як запис був додан до таблиці, йому надається часовий таймер.

Якщо запис не використовується протягом перших двох хвилин, він вилучається. Якщо ж навпаки - час його існування становить 10 хвилин.

Статичні записи можуть бути додані користувачем й будуть залишитися в таблиці до перезавантаження комп'ютера.

### 11.3. Організаційна структура Інтернету

Більшість протоколів маршрутизації, які застосовують у сучасних мережах з комутацією пакетів, виникли завдяки Інтернету. Для того, щоб зрозуміти їхнє призначення та особливості, корисно ознайомитися з організаційною структурою цієї глобальної мережі.

Інтернет від самого початку створено як мережу, яка об'єднує велику кількість незалежних систем. У його структурі виокремлювали **магістральну мережу – ядро** (Core Backbone Network, **CBN**), а під'єднані до магістралі мережі розглядали як **автономні системи** (Autonomous System, **AS**) (див. рис. 11.3).

Магістраль і кожна з автономних систем мали своє власне адміністративне керування та протоколи маршрутизації. Необхідно звернути увагу на те, що розподілення на автономні системи не пов'язано прямо з розподіленням Інтернету на мережі та домени імен. **Автономна система** об'єднує мережі, де маршрутизація здійснюється під загальним адміністративним керівництвом однієї організації, а **домен імен** - єдиний для комп'ютерів (можливо тим, які належать різним мережам), для яких

призначення унікальних символічних імен відбувається під таким же керівництвом.

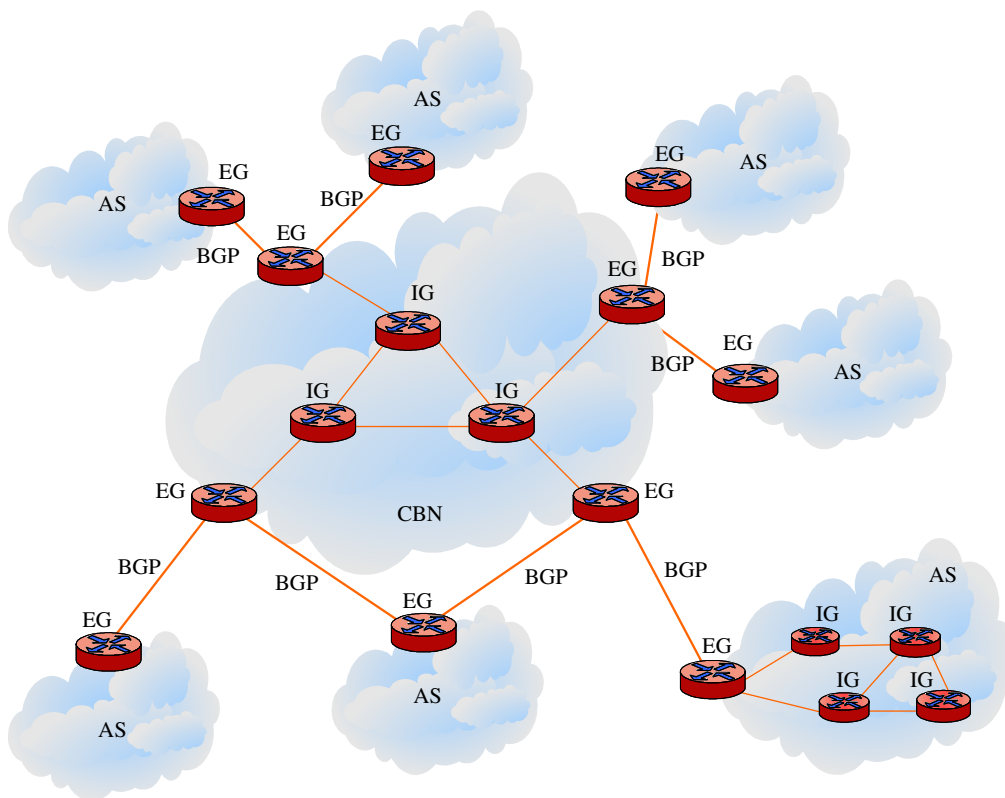


Рисунок 11.3. Організаційна структура Інтернету

CBR - маршрутна мережа

AS - автономна система

IG - внутрішній шлюз

EG - зовнішній шлюз

BGP - протокол суміжної маршрутизації

Природно, що сфера дії автономної системи та домену імен можуть іноді збігатися, якщо одна організація виконує обидві зазначені функції.

Маршрутизатори, які застосовуються для формування інтермережі усередині автономної системи, називаються **внутрішніми шлюзами** (Interior Gateway, **IG**), а ті, за допомогою яких автономні системи під'єднуються до магістралі СBN, – **зовнішніми шлюзами** (Exterior Gateway, **EG**). Сама магістраль СBN також є автономною системою.

Усі автономні системи мають спеціальний унікальний 16-розрядний номер, який присвоюється централізовано відповідним адміністративним органом Інтернету, де реєструють усі AS.

Протоколи, що використовуються всередині автономних систем маршрутизації називаються **протоколами внутрішніх шлюзів** (Interior Gateway Protocol, **IGP**), а протоколи обміну маршрутною інформацією між зовнішніми шлюзами автономних систем і шлюзами магістральної мережі СBN – **протоколами зовнішніх шлюзів** (Exterior Gateway Protocol, **EGP**). Усередині магістральної мережі СBN також може функціонувати будь-який власний внутрішній протокол IGP.

Поділ усього Інтернету на автономні системи є необхідним для *багаторівневої модульної організації*, що уможлиблює розширення будь-якої великої системи. Зміна протоколів маршрутизації всередині якої-небудь автономної системи не повинна впливати на роботу інших автономних систем. Крім того, поділ Інтернет на автономні системи сприяє агрегуванню інформації на магістральних та зовнішніх шлюзах. Внутрішні шлюзи можуть використовувати для внутрішньої маршрутизації досить детальні графи взаємних зв'язків, щоб вибрати найбільш раціональний маршрут. Однак, якщо інформація такого ступеня деталізації зберігатиметься в



усіх маршрутизаторах мережі, то топологічні бази даних настільки розростуться, що буде потрібною пам'ять гігантських розмірів, а час прийняття рішень про маршрутизацію стане непринятно тривалим. Тому детальна топологічна інформація залишається всередині автономної системи, яку зовнішні шлюзи подають для іншої частини Інтернет як єдине ціле. Вони повідомляють про внутрішній склад автономної системи мінімально необхідні відомості: кількість IP-мереж, їх адреси та внутрішню відстань до цих мереж від даного зовнішнього шлюзу.

Структура Інтернет з єдиною магістраллю, яка наведена на рисунку 11.3, була такою досить довго, тому спеціально для неї було розроблено протокол маршрутного обміну інформацією між AS, названий EGP. Однак з розвитком інтернет-сервіс-провайдингу структура Інтернету ускладнилася і зв'язки між автономними системами стали довільними. В наслідок цього протокол EGP поступився місцем **протоколу прикордонної маршрутизації** (Border Gateway Protocol, **BGP**), який дає змогу розпізнавати наявність петель між автономними системами та вилучати їх з міжсистемних маршрутів.

Великомасштабні автономні системи, що складаються із сотень вузлів, можна поділяти на підсистеми (більш дрібні AS). Таке утворення називають **конфедерацією**. Організувати конфедерації рекомендовано в тих випадках, коли в роботу за протоколом BGP залучено велику кількість маршрутизаторів, що викликає лавиноподібне наростання кількості BGP-сеансів на окремому маршрутизаторові. Всередині кожної такої підсистеми AS чинними є всі правила

маршрутизації за IGP. Оскільки, кожна підсистема AS має власний номер, вони можуть взаємодіяти із зовнішнім протоколом BGP.

#### **11.4. Методи та протоколи маршрутизації**

Найважливішим завданням мережевого рівня є маршрутизація – передавання пакетів між двома кінцевими вузлами в складеній мережі. Завдання щодо вибору маршрутів із декількох можливих вирішують маршрутизатори, а також кінцеві вузли. Маршрут вибирають на підставі наявної у цих пристроїв інформації про поточну конфігурацію мережі, а також з урахуванням зазначеного критерію вибору маршруту. Зазвичай, таким критерієм є затримка проходження маршруту окремим пакетом або середня пропускна здатність маршруту для послідовності пакетів. Часто використовують досить простий критерій, який враховує тільки кількість транзитних маршрутизаторів. Завдання маршрутизації вирішується на основі аналізу відповідних таблиць, розміщених на всіх маршрутизаторах і кінцевих вузлах мережі.

##### ***Таблиці маршрутизації***

Рішення про просування пакету маршрутизатор приймає на основі **таблиці маршрутизації**. Побудова коректних таблиць маршрутизації на всіх маршрутизаторах у великій складеній мережі є трудомістким завданням. Таблицю маршрутизації для відображення поточної мережевої топології необхідно періодично коригувати, тобто керувати динамічно.

Маршрутизатор виконує це завдання, беручи участь у процесі обмінювання інформацією про маршрути з іншими маршрутизаторами на основі **протоколів маршрутизації**. Протоколами маршрутизації, які забезпечують обмінювання інформацією про маршрути в мережах на базі протоколу IP, є протоколи RIP, OSPF, EGP і BGP, які розглядатимемо в п. 11.4. Залежно від структури складеної мережі деякі маршрутизатори можуть одночасно підтримувати роботу декількох протоколів маршрутизації.

Будь-який із маршрутизаторів має не менше ніж два порти для під'єднання різних логічних мереж. Кожен порт можна розглядати як окремий вузол мережі, оскільки він має власну *мережеву адресу* та власну *локальну адресу* в кожній мережі, яку до нього під'єднано.

Маршрутизатори самі ініціюють обмін спеціальними службовими пакетами, повідомляючи сусідам про відомі їм мережі, маршрутизатори та про зв'язки цих мереж з маршрутизаторами. Зазвичай до уваги береться не тільки топологія зв'язків, але й їхня пропускна здатність і стан. Це дає змогу маршрутизаторам швидше адаптуватися до змін конфігурації мережі, а також правильно передавати пакети в мережах з довільною топологією, що допускає наявність замкнених контурів.

За допомогою протоколів маршрутизації маршрутизатор складає «карту» зв'язків мережі різної деталізації. На підставі цієї інформації для кожного номера мережі приймається рішення про те, якому наступному маршрутизатору треба передавати пакети, які прямують за цією адресою, щоб маршрут був раціональним. Результати таких рішень заносять

до таблиці маршрутизації. У таблиці 11.2 наведено приклад простої таблиці маршрутизації. У цій таблиці розміщено типові записи для протоколів маршрутизації, таких, наприклад, як RIP, які використовують в якості метрики маршруту кількість переходів, так званих **хопів** (hop count). У деяких технічних джерелах можна зустріти також термін «транзитні вузли», під яким розуміють кількість маршрутизаторів, через які повинен пройти пакет до приходу до одержувача.

**Таблиця 11.2**

<b>Номер мережі одержувача 128.3.0.0</b>			
<b>Наступний маршрутизатор на шляху</b>	<b>Кількість переходів</b>	<b>Протокол маршрутизації</b>	<b>Часовий таймер</b>
128.5.3.2	3	RIP	145
128.5.4.7	3	RIP	170
128.5.3.9	6	RIP	25

Кожен запис у таблиці маршрутизації містить таку інформацію:

- *наступний маршрут на шляху* містить IP-адресу віддаленого маршрутизатора, якому необхідно послати пакети для доставки їх за адресою призначення;
- *кількість переходів* визначає кількість переходів (хопів) між даним маршрутизатором і одержувачем пакетів;
- *протокол маршрутизації* визначає протокол маршрутизації, за допомогою якого запис з'явився в таблиці маршрутизації;

- *часовий таймер* визначає час з моменту останнього поновлення запису в таблиці. Цей таймер скидає показання щоразу після отримання оновлення.

В основному маршрутизатори керують таблицею маршрутизації, яка містить тільки один маршрут для кожної мережі призначення. Деякі протоколи маршрутизації можуть керувати більш ніж одним маршрутом у певну мережу (прикладом є протокол OSPF).

Маршрутизатори повинні перевіряти свої таблиці маршрутизації, відшукуючи шлях для кожного пакету. Зміна конфігурації мережі деякі записи в таблиці спростовує. У подібних випадках пакети можуть бути відправлені за помилковими маршрутами, можуть зациклюватися та губитися. Якщо маршрут неможливо знайти, то маршрутизатору, який виконує пошук, необхідно видалити пакет з обігу.

Існує спеціальна IP-адреса 0.0.0.0, яка позначає маршрут за замовчуванням. Якщо потрібний шлях не знайдено й визначено маршрут за замовчуванням, маршрутизатор не буде видаляти пакет, а передасть його за цим маршрутом. Введення поняття маршруту за замовчуванням дає змогу значно зменшити розмір таблиць маршрутизації. У результаті процес маршрутизації спрощується, оскільки таблиця маршрутизації містить кілька записів для локальних мереж і маршрут за замовчуванням для всіх інших. Особливо помітною є перевага для під'єднання до Інтернету організацій. Окрім того використання маршруту за замовчуванням значно зменшує обсяги інформації, якими обмінюються маршрутизатори.

Недоліком маршруту за замовчуванням є потенційна можливість утворення петель маршрутизації.

Слід зазначити, що таблиця маршрутизації існує не тільки в маршрутизаторів із декількома портами, а й у хостів, які під'єднуються до мережі через один мережевий адаптер. Відмінність у цій ситуації полягає в тому, що всі пакети необхідно видавати тільки через один-єдиний порт, незалежно від їх адреси призначення.

### *Автоматична побудова таблиць маршрутизації*

Від того, наскільки швидко вміст таблиці маршрутизації приводиться у відповідність до реального стану мережі, залежить якість роботи всієї мережі. Для автоматизації цього процесу в складених мережах розроблено вищезазначені **протоколи маршрутизації** (або маршрутизувальні протоколи). Ці протоколи слід відрізнити від власне *мережевих протоколів* (наприклад, IP). Як перші, так другі забезпечують функції мережевого рівня: беруть участь у доставці пакетів адресатові через різнорідну складену мережу. Але в той час, як перші збирають і передають мережею тільки службову інформацію, другі призначено для передавання даних користувачеві. Протоколи маршрутизації використовують мережеві протоколи як транспортний засіб.

Маршрутизувальні протоколи можуть бути реалізовані на основі різних алгоритмів, які відрізняються методами побудови таблиць маршрутизації, способами вибору найкращого маршруту та іншими особливостями.

Раніше вважалося, що в таблицях маршрутизації для кожної адреси призначення вказано тільки наступний (найближчий) маршрутизатор, а не весь їх ланцюжок від початкового до кінцевого вузла. Відповідно до цього підходу маршрутизація виконується за розподіленою схемою: кожен маршрутизатор відповідає за вибір тільки одного етапу шляху, а остаточний маршрут складається в результаті роботи всіх маршрутизаторів, через які проходить цей пакет. Такі алгоритми маршрутизації називають **однокроковими**.

Існує також протилежний, багатокроковий підхід – **маршрутизація від джерела** (Source Routing). Відповідно до нього вузол-джерело вказує в пакеті, який відправляють у мережу, повний маршрут його проходження через усі проміжні маршрутизатори. Такий спосіб не вимагає побудови та аналізу таблиць маршрутизації. Це прискорює проходження пакета мережею та розвантажує маршрутизатори, але при цьому велике навантаження лягає на кінцеві вузли. Дану схему застосовують набагато рідше, ніж схему розподіленої однокрокової маршрутизації.

### *Алгоритми та протоколи маршрутизації*

Залежно від способу формування таблиць маршрутизації однокроковий алгоритми поділяють на три класи:

- алгоритми фіксованої (або статичної) маршрутизації;
- алгоритми простої маршрутизації;
- алгоритми адаптивної (або динамічної) маршрутизації.

Якщо **маршрутизація є фіксованою**, то всі записи в таблиці маршрутизації – статичні. Адміністратор мережі сам вирішує, на які маршрутизатори треба передавати пакети з тими чи іншими адресами, і заносить відповідні записи до таблиці маршрутизації вручну (наприклад, за допомогою утиліти route ОС UNIX або Windows NT).

Таблицю, як правило, створюють у процесі завантаження та редагують, якщо це необхідно. Такі виправлення можуть знадобитися, зокрема, якщо в мережі відмовляє якийсь маршрутизатор, а його функції передають іншому.

Таблиці розрізняють одномаршрутні, в яких для кожного адресата задано один шлях, та багато маршрутні, коли пропонується декілька альтернативних шляхів. У разі багатомаршрутних таблиць повинно бути задано правило вибору одного з маршрутів. Найчастіше один шлях є основним, а інші – резервними.

Очевидно, що алгоритм фіксованої маршрутизації з його способом формування таблиць маршрутизації вручну є доцільним тільки в невеликих мережах з простою топологією. Однак його можна ефективно застосовувати також на магістралях великих мереж із простою структурою та очевидними найкращими шляхами проходження пакетів у мережі.

У алгоритмах **простої маршрутизації** таблиця маршрутизації або зовсім не використовується, або будується без протоколів маршрутизації. Виокремлюють три типи простої маршрутизації:



- випадкова маршрутизація, коли прибувший пакет посилається в будь-якому вільному напрямку, крім вихідного;
- лавинна маршрутизація, коли пакет ширококомовно надсилається у всіх можливих напрямках, крім вихідного (аналогічно тому, як мости обробляють кадри з невідомою адресою);
- маршрутизація з урахуванням накопиченого досвіду, коли вибір маршруту здійснюється за таблицею, але таблиця будується так само, як і у випадку мосту, шляхом аналізу адресних полів пакетів, які надходять.

Найбільшого поширення набули алгоритми **адаптивної**, або **динамічної** маршрутизації. Вони забезпечують автоматичне оновлення таблиць маршрутизації після зміни конфігурації мережі. Використовуючи протоколи адаптивних алгоритмів, маршрутизатори можуть збирати інформацію про топологію зв'язків у мережі та оперативно реагувати на всі зміни конфігурації зв'язків. У таблиці маршрутизації, звичайно, заносять інформацію про інтервал часу, протягом якого даний маршрут залишатиметься чинним. Цей час називають *часом життя маршруту* (Time To Live, **TTL**).

Адаптивні алгоритми мають розподілений характер, тобто в мережі немає спеціально виділених маршрутизаторів для збору та узагальнення топологічної інформації: цю роботу розподілено між усіма маршрутизаторами.

У глобальних мережах використовують так звані **сервери маршрутів**. Вони збирають маршрутну інформацію, а

потім за запитами роздають її маршрутизаторів. У цьому випадку останні або звільняються від функції створення таблиці маршрутизації, або створюють тільки частину таблиці. Взаємодія маршрутизаторів із серверами маршрутів здійснюється за спеціальними протоколами, наприклад, **протоколом вибору наступного кроку** (Next Hop Resolution Protocol, **NHRP**).

Адаптивні алгоритми маршрутизації повинні відповідати декільком важливим вимогам. Перш за все, вони зобов'язані забезпечувати вибір якщо не оптимального, то хоча б раціонального маршруту. Друга умова – це їх неодмінна простота, щоб відповідні реалізації не споживали значні мережеві ресурси, зокрема вони не повинні породжувати занадто великий обсяг обчислень або інтенсивний службовий трафік. І, нарешті, алгоритми маршрутизації повинні мати властивість збіжності, тобто завжди приводить до однозначного результату за прийнятний час.

Сучасні адаптивні протоколи обміну інформацією про маршрути, у свою чергу, поділяють на дві групи, кожна з яких пов'язана з одним із наступних типів алгоритмів:

- дистанційно-векторні алгоритми (Distance Vector Algorithm, **DVA**);
- алгоритми стану зв'язків (Link State Algorithm, **LSA**).

В алгоритмах **дистанційно-векторного** типу кожен маршрутизатор періодично й ширококомовно розсилає мережею вектор, компонентами якого є відстані від даного маршрутизатора до всіх відомих йому мереж. Під відстанню,

зазвичай, розуміють кількість транзитних вузлів. Метрика може бути й такою, яка враховує не тільки кількість проміжних маршрутизаторів, але й час проходження пакетів між сусідніми маршрутизаторами або надійність шляхів.

Одержавши вектор від сусіда, маршрутизатор збільшує відстань до зазначених у ньому мереж на довжину шляху до даного сусіда та додає до нього інформацію про відомі йому інші мережі, про які він дізнався безпосередньо (якщо вони під'єднані до його портів) або з аналогічних оголошень інших маршрутизаторів, а потім розсилає нове значення вектора мережею. Врешті-решт, кожен маршрутизатор дізнається інформацію про всі наявні в об'єднаній мережі мережах і про відстань до них через сусідні маршрутизатори.

Дистанційно-векторні алгоритми добре працюють тільки в невеликих мережах. У великих же мережах вони завантажують лінії зв'язку інтенсивним широкомовним трафіком. Зміни конфігурації відпрацьовуються з цього алгоритму не завжди коректно, так як маршрутизатори не мають точного уявлення про топологію зв'язків у мережі, а лише узагальнену інформацію (вектор відстаней), до того ж отриманої через посередників. Робота маршрутизатора відповідно до дистанційно-векторних протоколом нагадує роботу моста, так як точної топологічної картини мережі такий маршрутизатор не має.

Найбільш поширеним протоколом на базі дистанційно-векторного алгоритму є **протокол маршрутної інформації (Routing Information Protocol, RIP)**.

Протокол RIP для IP-мереж подано двома версіями. Перша версія RIPv1 не підтримує маски, тобто передбачає

поширення між маршрутизаторами тільки інформації про номери мереж і відстані до них, а інформація про маски цих мереж не розсилається. Вважається, що всі адреси належать до стандартних класів А, В або С. Протокол другої версії RIP v.2 передає інформацію про міські мережі, тому він більшою мірою відповідає вимогам сьогодення.

**Алгоритми стану зв'язків** дають змогу кожному маршрутизатору отримати достатню інформацію для побудови точного графа зв'язків мережі. Всі маршрутизатори працюють на основі однакових графів, у результаті чого процес маршрутизації виявляється більш стійким до змін конфігурації. «Широкомовна» розсилка (передавання пакету всім найближчим сусідам маршрутизатора) проводиться тут тільки при змінах стану зв'язків, що в надійних мережах відбувається не так часто. Вершинами графа є як маршрутизатори, так об'єднані ними мережі. Поширювана у мережі інформація складається з опису зв'язків різних типів: маршрутизатор-маршрутизатор, маршрутизатор-мережа.

Для того щоб зрозуміти, в якому стані знаходяться лінії зв'язку, під'єднані до портів маршрутизатора, він повинен періодично обмінюватися короткими пакетами HELLO зі своїми найближчими сусідами. Цей службовий трафік також засмічує мережу, але не так, як, наприклад, пакети RIP, оскільки як пакети HELLO мають набагато менший обсяг.

Прикладом протоколу на основі алгоритму стану зв'язків може бути протокол першочергового вибору найкоротшого шляху «**відкрити найкоротший шлях першим**» (Open Shortest Path First, **OSPF**) стеку TCP/IP.

Протокол OSPF розроблено з урахуванням застосування у великих гетерогенних мережах. Обчислювальна складність протоколу OSPF швидко зростає із збільшенням розмірності інтермережі, тобто збільшенням кількості вхідних у неї IP-мереж, маршрутизаторів і зв'язків між ними. Для вирішення цієї проблеми в протоколі OSPF уведено поняття «область» мережі (area) (не плутати з автономною системою Інтернет). Маршрутизатори, які належать певній області, будують граф зв'язків тільки для неї, що скорочує розмірність мережі. Між областями інформація про зв'язки не передається, а прикордонні маршрутизатори обмінюються певною інформацією про адреси IP-мереж, які знаходяться в кожній з областей, і про відстань від прикордонного маршрутизатора до кожної IP-мережі. Для передавання пакетів між областями вибирають один із прикордонних маршрутизаторів області, а саме той, у якого відстань до потрібної IP-мережі є найменшою. Передаючи адресу в іншу область, маршрутизатори OSPF агрегують декілька адрес загальним префіксом в один.

Маршрутизатори OSPF можуть брати адресну інформацію від інших протоколів маршрутизації, наприклад від протоколу RIP, що є корисним для роботи в гетерогенних мережах. Така адресна інформація обробляється так само, як і зовнішня інформація між різними областями.

Протоколи RIP і OSPF є *внутрішніми шлюзовими протоколами IGP*, вони працюють на маршрутизаторах корпоративних мереж.

## ***Безкласова міждоменна маршрутизація CIDR***

Оскільки біти ідентифікатора мережі починаються зі старших розрядів IP-адреси, маску підмережі можна подати коротше, просто *вказавши число бітів ідентифікатора мережі*. Наприклад, запис 192.168.0.1/24 відповідає IP-адресі 192.168.0.1 з маскою підмережі 255.255.255.0. Такий вид запису маски називають **префіксом мережі**. У таблиці 11.3 наведено префікси мереж для класів А, В і С.

Таблиця 11.3

<b>Клас мережі</b>	<b>Біти маски підмережі</b>	<b>Префікс мережі</b>	<b>Маска підмережі</b>
<b>А</b>	11111111 00000000 00000000 00000000	/8	255.0.0.0
<b>В</b>	11111111 11111111 00000000 00000000	/16	255.255.0.0
<b>С</b>	11111111 11111111 11111111 00000000	/24	255.255.255.0

Подання маски підмережі у вигляді префікса мережі називається технологією **безкласової міждоменої маршрутизації** (Classless Interdomain Routing, **CIDR**). Розподілення IP-адреси на номер мережі і номер вузла в технології CIDR виконується не на основі декількох старших бітів, які визначають клас мережі, а на основі маски перемінної довжини, що надається Інтернет-провайдером. Використання префікса мережі дозволяє центрам розповсюдження адрес запобігти видачі абонентам надлишкових адрес.

Технологія CIDR описана в RFC 1519 і полягає в об'єднанні адрес, які залишено, в блоки змінного розміру, незалежно від класу. Провайдер при цьому отримує

можливість «нарізати» блоки з виділеного йому адресного простору відповідно до реальних потреб кожного клієнта. Це дає змогу уникнути видачі клієнтам зайвих адрес. Наприклад, якщо декому потрібно 2000 адрес, йому виділяють блок з 2048 адрес на межі, кратній 2048 байтам. Усі адреси блоку мають однаковий *префікс*, тобто однакові цифри в декількох вищих розрядах.

Використання CIDR дає змогу значно скоротити обсяги маршрутної інформації, що передають між автономними системами. Маршрутизація на магістралях Інтернету здійснюється на основі префіксів, а не повних адрес мереж. Так, якщо всі мережі всередині деякої автономної системи починаються з загального префікса, скажімо 194.27.0.0/16, то зовнішній шлюз автономної системи повинен робити оголошення тільки про цю адресу, не повідомляючи окремо про існування всередині даної автономної системи, наприклад, мережі 194.27.32.0/19 або 194.27.40.0/21, так як ці адреси агрегуються в адресі блоку 194.27.0.0/16.

У CIDR застосовують розширення всіх записів таблиці маршрутизації за рахунок додавання 32-бітної маски. Таким чином, утворюється єдина таблиця для всіх мереж, що складаються з набору трійок: *IP-адреса, маска підмережі, вихідна лінія*. Після надходження пакету, у разі застосування CIDR, з нього витягується IP-адреса призначення. Потім він маскується, а після сканування таблиці маршрутизації порівнюється зі значеннями записів. Може виявитися, що за значенням підійде декілька записів з різними довжинами масок підмережі. У цьому випадку використовується найдовша маска.

Технологію CIDR успішно застосовують у четвертій версії IPv4, вона підтримується такими протоколами маршрутизації, як OSPF, RIP.

### ***Протокол BGP***

**Прикордонний шлюзовий протокол** (Border Gateway Protocol, **BGP**) є сьогодні основним протоколом маршрутного обміну інформацією *між автономними системами*, створеним для застосування в *Інтернеті*. Зважаючи на цю його особливість, BGP ще називають протоколом зовнішніх маршрутизаторів або протоколом міждоменої маршрутизації. **Доменом маршрутизації** в термінології Інтернету прийнято називати автономну систему (AS).

Хоча BGP розроблено як протокол маршрутизації між AS, його можна використовувати для маршрутизації всередині AS. Два сусідніх BGP, які сполучаються з різних AS, повинні знаходитися в одній і тій же фізичній мережі. Маршрутизатори BGP, які знаходяться в межах однієї і тієї ж AS, повідомляють про себе, щоб забезпечити узгоджуване уявлення про дану AS та визначити, який з її маршрутизаторів BGP виконуватиме роль точки з'єднання під час передавання повідомлень у зовнішні AS та під час їх приймання.

Деякі AS є тільки транзитними для проходження через них трафіку, джерело якого не знаходиться в їх межах і який не призначено для них. BGP, таким чином, повинен взаємодіяти з будь-якими протоколами маршрутизації всередині кожної з транзитних AS.



Повідомлення про коригування BGP складаються з пар «мережевий номер/тракт AS». Тракт AS є своєрідним маршрутом, який описано як послідовність AS, через які можна досягти мережі з зазначеними у повідомленні номером. Повідомлення про коригування для забезпечення надійної доставки відправляють за допомогою механізму транспортування TCP, описаного в розділі 11.5.

Обмін інформацією між двома маршрутизаторами відбувається в змісті маршрутної таблиці BGP. На відміну від деяких інших протоколів маршрутизації BGP не вимагає періодичного оновлення всієї маршрутної таблиці. Замість цього маршрутизатори BGP зберігають останню версію маршрутної таблиці кожного рівноправного члена. Хоча BGP підтримує маршрутну таблицю всіх можливих трактів до будь-якої конкретної мережі, у своїх повідомленнях про коригування він оголошує тільки про основні (оптимальні) тракти. Позначка про ступінь оптимальності тракту називається «показником». Він являє собою довільну кількість одиниць, що характеризує ступінь переваги якого-небудь конкретного тракту. Показники звичайно встановлюють адміністратори мережі за допомогою конфігураційних файлів. Ступінь переваги може базуватися на будь-якій кількості критеріїв, зокрема кількості AS (тракти з меншим числом AS, як правило, кращі), типі каналу (стабільність, швидкодія та надійність каналу) та інших факторах.

Формат пакету BGP подано на рисунку 11.4.

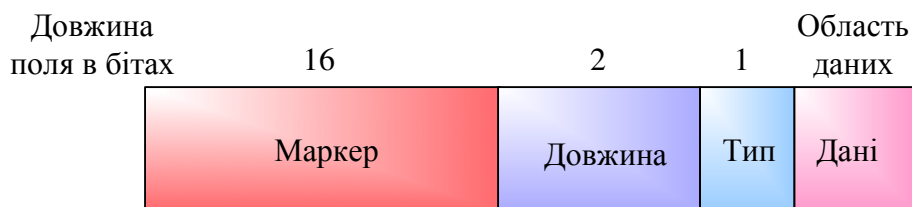


Рисунок 11.4. Формат пакету BGP

Пакети BGP мають загальний 19-байтовий заголовок, що складається з трьох полів:

- **Marker** – поле маркера має довжину 16 байтів, а його вміст може легко інтерпретувати одержувач. Маркер можна застосовувати для виявлення втрати синхронізації в роботі BGP-партнерів. Це поле використовують для встановлення автентичності;
- **Length** – поле довжини займає два байти і визначає повну довжину повідомлення в байтах разом із заголовком. Значення цього поля, зазвичай, лежить в межах 19–4096;
- **Type** є кодом різновиду повідомлення і може приймати такі значення: OPEN – відкрити; UPDATE – змінити; NOTIFICATION – увага; KEEPALIVE – ще живий.

**Повідомлення протоколу BGP.** У документі RFC 1163 визначено 4 типи повідомлень для BGP:

- відкривне повідомлення;
- повідомлення про коригування;

- сповіщення;
- повідомлення keeralive (продовжуй діяти).

Після того, як з'єднання протоколу транспортного рівня організовано, першим повідомленням, яке відправляє кожна сторона, є відкривне. Якщо відкривне повідомлення є прийнятним для одержувача, то відправнику надсилається повідомлення keeralive, яке підтверджує отримання відкривного повідомлення. Після успішного підтвердження прийняття початкового повідомлення можна здійснювати обмін коригуваннями, повідомленнями keeralive та сповіщеннями.

*Відкривне повідомлення.* Додатково до звичайного заголовка пакету BGP у відкривному повідомленні виділяють кілька полів. У полі версії (*version*) вказують номер версії BGP, що дає можливість одержувачеві перевіряти, чи збігається його версія з версією відправника. У полі автономної системи (*autonomous system*) поміщається номер AS відправника. Поле часу утримування (*hold time*) вказує максимальне число секунд, які можуть пройти без отримання будь-якого повідомлення від передавального пристрою, перш ніж вважати його таким, що відмовив. Поле коду підтвердження (*authentication code*) вказує на використовуваний код підтвердження (якщо він є). Поле даних підтвердження (*authentication data*) містить фактичні дані підтвердження (у разі їх наявності).

*Повідомлення про коригування.* Повідомлення про коригування BGP забезпечують коректування маршрутизації для інших систем BGP. Інформацію цих повідомлень

використовують для побудови графіка, який описує взаємодію між різними AS.

Окрім звичайного заголовка BGP повідомлення про коригування мають декілька додаткових полів. Ці поля забезпечують маршрутну інформацію шляхом перерахування атрибутів трактів, відповідних кожній мережі. На сьогодні час BGP визначає 5 атрибутів:

- *Origin* – джерело. Може мати одне з трьох значень: *IGP*, *EGP* і *incomplete* (незавершений). Атрибут *IGP* означає, що ця мережа є частиною даної AS. Атрибут *EGP* вказує на те, що початкові відомості про дану інформації отримано від протоколу *EGP*. Реалізації BGP надають перевагу маршрутами *IGP* над маршрутами *EGP*, тому що маршрут *EGP* відмовляє у разі наявності маршрутних петель. Атрибут *incomplete* використовують для з'ясування того, що про дану мережу відомо завдяки іншим засобам.
- *AS path* – шлях AS. Забезпечує фактичний перелік AS на шляху до вузла призначення;
- *Next hop* – наступне пересилання. Забезпечує адреса IP маршрутизатора, який необхідно використовувати як наступний транзитний вузол для пересилання до мереж, які перераховано в повідомленні про коригування.
- *Unreachable* – недосяжний. Вказує (у разі його наявності), що певний маршрут неможливо застосувати.

- *Inter-AS metric* – показчик у повідомленні між AS. Забезпечує для маршрутизатора BGP можливість рекламувати свої витрати на маршрути до пунктів призначення, що знаходяться в межах його AS. Цю інформацію можуть використовувати маршрутизатори, які є зовнішніми відносно AS «рекламодавця», для вибору оптимального маршруту до конкретного вузла призначення, що знаходиться в межах даної AS.

*Сповіщення* відправляють у разі виявлення збійної ситуації, коли один маршрутизатор хоче повідомити іншому, чому він перериває з'єднання між ними. Крім звичайного заголовка BGP сповіщення містять поле коду помилки (*error code*), поле підкоду помилки (*error subcode*) та дані помилки (*error data*). Поле коду помилки вказує тип помилки, який може бути одним з перерахованих нижче:

- *Message header error* – помилка в заголовку повідомлення. Вказує на проблему в заголовку повідомлення, таку, як неприйнятна довжина повідомлення, неприйнятне значення поля маркера або неприйнятний тип повідомлення;
- *Open message error* – помилка в відкривному повідомленні. Вказує на наявність такої проблеми, як незабезпечуваний номер версії, неприйнятний номер AS або адресу IP та незабезпечуваний код підтвердження;

- *Update message error* – помилка в повідомленні про коригування. Вказує на наявність проблеми в повідомленні про коригування. Прикладами таких проблем можуть бути неправильно сформований перелік атрибутів, помилка в переліку атрибутів і недійсний атрибут наступного пересилання;
- *Hold time expired* – “час утримування закінчився”. Вказує на закінчення періоду часу утримування, після чого вузол BGP буде оголошено нечинним.

*Повідомлення keeralive (продовжуй діяти).*

Повідомлення keeralive не містять додаткових полів, крім розміщених у заголовку BGP. Ці повідомлення відправляються досить часто для того, щоб перешкоджати закінченню часу утримування таймера.

BGP є протоколом, який орієнтується на вектор відстані. Вектор описується списком AS по 16 біт на AS. BGP відрізняється від RIP і OSPF тим, що використовує TCP як транспортний протокол. Дві системи, які застосовують BGP, зв'язуються один з одним і пересилають за допомогою TCP повні таблиці маршрутизації. Надалі обмін йде тільки в разі якихось змін.

Протокол BGP дає змогу реалізувати маршрутну політику, яку визначає адміністратором AS. Політика відображається у конфігураційних файлах BGP. Маршрутна політика – це не частина протоколу, вона визначає рішення. Наприклад, коли місця призначення можна досягти кількома шляхами, політика враховує безпеку, економічні інтереси та ін.

Протокол BGP версії 4 (BGPv4) є вдосконаленою версією (порівняно з попередніми). Ця версія дає змогу пересилати інформацію про маршрут в межах одного IP-паketу. BGPv4 успішно працює у будь-якій топології зв'язків між автономними системами, що відповідає сучасному стану Інтернету. Для налаштування зв'язку маршрутизаторів спочатку робиться спроба реалізувати вищий з протоколів (наприклад, BGPv4), якщо одна з них не підтримує цю версію, номер версії знижується.

### **11.5. Протоколи транспортного рівня в мережах TCP/IP**

Протоколи транспортного рівня вирішують завдання *передавання даних між прикладними процесами*. У стеку TCP/IP це завдання вирішують *протокол призначених для користувача датаграм і протокол керування передаванням*. Ці протоколи, також як і протоколи прикладного рівня, налаштовують тільки на кінцевих вузлах; вони забезпечують інтерфейс із вищерозташованим прикладним рівнем, передаючи дані, які надходять на вхідний інтерфейс хосту, котрий відповідає застосуванню.

#### ***Протокол UDP***

**Протокол датаграм користувачів** (User Datagram Protocol, **UDP**) описано в документі RFC 768. Він є одним із двох протоколів, розташованих над протоколом IP, і надає прикладним програмам транспортні послуги. Кожне

повідомлення протоколу UDP називають *датаграмою користувача*.

Протокол UDP, також як і протокол IP, забезпечує негарантовану доставку датаграм одержувачеві та не підтримує налаштування з'єднань. Взаємодія між прикладними програмами та протоколом UDP здійснюється через протокольні порти.

Під терміном **«протокольний порт»** (на відміну від порту фізичного пристрою) розуміють *абстрактну точку входу* в конкретнеу прикладну програму (застосовання), що знаходиться на певному комп'ютері. Надалі (відповідно до контексту) ми будемо використовувати також термін «порт», маючи на увазі «протокольний порт».

У стеку протоколів TCP/IP протокольний порт – це механізм, який дає змогу одному хосту одночасно підтримувати декілька сеансів зв'язку з віддаленими хостами та програмами. Можна сказати, що протокольний порт визначає прикладний процес, який є одержувачем інформації. Коли робоча станція отримує з мережі пакет, у якому вказано її IP-адресу, вона направляє його до конкретної прикладної програми, використовуючи для цього визначений під час налаштування сеансу зв'язку унікальний номер порту для цієї програми.

Механізм, який використовує кожна прикладна програма для визначення портів, на яких вона працює, або портів, до яких необхідно здійснювати доступ, надає мережева операційна система. Більшість операційних систем забезпечує синхронний доступ до портів. Кожен порт ідентифікується цілим позитивним числом. Для зв'язку з портом одержувача



відправник повинен знати IP-адресу хосту та відповідний номер протокового порту. Кожне повідомлення містить також номер порту відправника. Таким чином, кожна прикладна програма, яка отримує повідомлення, має можливість відповісти безпосередньо відправнику (програмі).

**Датаграма** містить дві частини: заголовок та область даних. Заголовок складається з чотирьох 16-бітових полів, які визначають порт відправника, порт одержувача, довжину повідомлення й контрольну суму. На рисунку 11.5 зображено формат полів у датаграмі протоколу UDP.

Порт відправника (16 біт)	Порт одержувача (16 біт)
Довжина повідомлення (16 біт)	Контрольна сума (16 біт)
Дані	

Рисунок 11.5. Формат полів у датаграмі UDP

Поля «*Порт відправника*» і «*Порт одержувача*» містять 16-бітові номери портів, відповідно визначаючи прикладний процес на хості відправника та на хості одержувача. Поле «*Порт відправника*» може бути не використано, при цьому воно має містити нулі. Поле «*Довжина повідомлення*» містить інформацію про кількість байтів у датаграмі, при цьому враховується довжина заголовка UDP і даних.

Прикладні програми, що використовують UDP, повинні самі забезпечувати надійність передавання повідомлень. Обчислення контрольної суми датаграми UDP може проводитися, а може не проводитися. Значення «нуль» у полі «*Контрольна сума*» означає, що сума не обчислювалася.

Контрольна сума не обчислюється при роботі протоколу UDP у високонадійній локальній мережі. При роботі в ненадійній мережі тільки контрольна сума може вказати на достовірність і цілісність даних, які надійшли. Це пов'язано з тим, що протокол IP не обчислює контрольну суму поля даних у IP-датаграмах.

Для розрахунку контрольної суми UDP-датаграми необхідно мати додаткову інформацію. Для цієї мети до початку UDP-датаграми приписується псевдозаголовок, а до кінця датаграми додається байт з нулів для вирівнювання числа бітів повідомлення до кратного шістнадцяти. Після цього обчислюється контрольна сума отриманої датаграми. Кінцеві доповнення з нулів і псевдозаголовків не передаються разом з UDP-датаграмою.

Для обчислення контрольної суми отриманої UDP-датаграми спочатку зберігається нуль у полі «Контрольна сума», потім обчислюється 16-бітна сума, яка містить псевдозаголовок, заголовок самої датаграми й дані. Після отримання датаграми перевіряють контрольну суму, використовуючи IP-адресу призначення, отриману з заголовка IP-датаграми, яка містила UDP-датаграму. Якщо контрольні суми однакові, то датаграма дійсно надійшла до потрібного одержувача.

На рисунку 11.6 показаний формат псевдозаголовка. Псевдозаголовок має довжину 12 байтів. Поле «*Протокол*» містить код типу протоколу IP. Для перевірки контрольної суми одержувач повинен отримати ці поля з IP-заголовка, сформувати свій псевдозаголовок і обчислити контрольну суму.

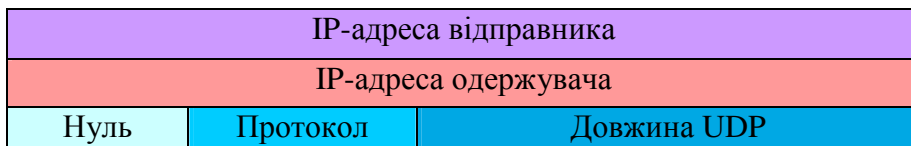


Рисунок 11.6 Формат псевдозаголовка

Дані протоколу UDP інкапсулюються в IP-датаграми (див.рис.11.7).

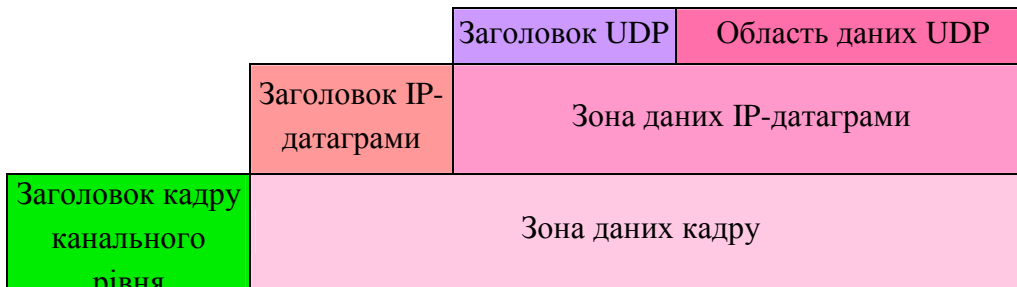


Рисунок 11.7. Два рівні інкапсуляції повідомлень UDP

Таким чином, IP-заголовок визначає хост, який є відправником та хост-одержувач, а UDP-заголовок – порти застосовань, які працюють на них.

Порт UDP надає протокольні порти, які використовують для розмежування декількох застосовань, що виконуються на одному комп'ютері. Крім того, протокол UDP може обслуговувати відразу декілька прикладних процесів, забезпечуючи приймання та передавання датаграм. Для цього в його програмному забезпеченні передбачено виконання процесів мультиплексування й демультіплексування. Ці процеси супроводжуються призначенням портів. Кожна прикладна програма повинна отримати від операційної

системи протокольний порт і пов'язаний з ним номер, який потім поміщається в поле «Порт відправника». Протокол UDP приймає UDP-датаграми, які приходять від протоколу IP, і демультимплексує їх по портах призначення. Рисунок 11.8 ілюструє приклад демультимплексування.

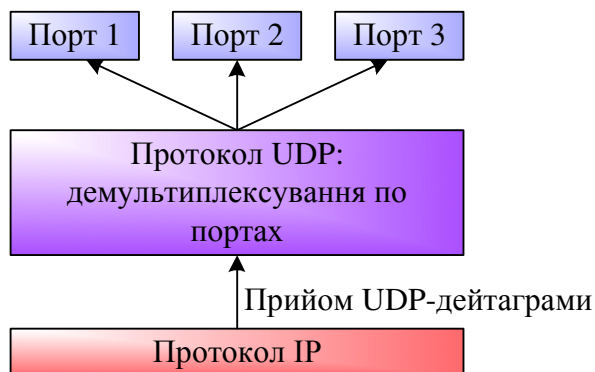


Рисунок 11.8. Приклад демультимплексування UDP-датаграми

Порт UDP найбільш наочно можна подати у вигляді черги. Операційна система створює внутрішню чергу повідомлень, які надходять. Якщо надійшло повідомлення з номером порту, якого немає серед використовуваних на прийомі портів, датаграма знищується та висилається **повідомлення протоколу керувальних повідомлень у Інтернеті (Internet Control Message Protocol, ICMP)** про помилку – «Порт є недосяжним».

Існує два підходи для призначення портів. Перший підхід використовує централізоване керування призначенням. Центральний орган IANA призначає номери портів, а потім публікує список призначень і контролює їх використання. У більшості випадків їх можуть використовувати тільки системні

процеси або застосування привілейованих користувачів. Діапазон номерів портів, призначених IANA, знаходиться в межах від 0 до 1023.

Другий підхід використовує динамічне призначення номерів портів, при якому мережеве забезпечення саме призначає порт, коли програма цього потребує. Ці номери портів не є загальновідомими, організація IANA їх не контролює, а використовують їх користувацькі процеси або застосування.

Числові значення цих портів знаходяться в межах від 1024 до 65535. Порти, числові значення яких знаходяться в межах від 1024 до 5000, називають тимчасовими. Хоча організація IANA не контролює використання цих портів, вона веде списки їх використання в інтересах спільнот Інтернету.

Для отримання інформації про поточне призначення портів необхідно надіслати відповідний запит. У стеку протоколів TCP/IP прийнято змішаний підхід, коли група портів призначається апріорі, але більшість інших можна використовувати вільно.

Протокол UDP використовують для передавання потокового відео, ігор реального часу, а також деяких інших типів даних, не так критичних до втрати пакетів, а критичних до затримок. Якщо застосування вимагає високої надійності, то використовують протокол TCP, який розглядатимемо далі.

### *Протокол TCP*

**Протокол керування передаванням** (Transmission Control Protocol, **TCP**) описано в документі RFC 793. Його

використовують як *надійний транспортний засіб* для взаємодії розподілених прикладних процесів у TCP/IP мережах. Протокол TCP працює, як і протокол UDP, на транспортному рівні. Він забезпечує надійне транспортування даних між прикладними програмами шляхом налаштування логічного з'єднання між ними.

Для забезпечення надійного передавання даних налаштованими логічними з'єднаннями між парами прикладних програм протокол TCP повинен забезпечувати виконання таких функцій:

- передавати необхідні дані;
- підтримувати достовірність даних під час передавання;
- керувати потоком даних;
- розділяти канали зв'язку;
- обслуговувати налаштовані з'єднання;
- підтримувати встановлений пріоритет користувачів і відповідний рівень безпеки.

**Сегмент** є одиницею даних протоколу TCP. Вихідні від застосування дані буферизують засоби TCP. Для передавання на мережевий рівень з буферу «вирізають» певну безперервна частина даних, яку називають сегментом. Розмежування сегментів TCP здійснює протокол IP. Не всі сегменти, надіслані через з'єднання, будуть однакового розміру. Однак обидва учасники з'єднання повинні домовитися про максимальний розміру сегменту, який вони будуть використовувати. Цей розмір вибирають таким чином, щоб при пакуванні сегменту в IP-датаграму він містився туди цілком.

Адресатом інформації є модуль протоколу TCP на приймальному кінці. Цей модуль, у свою чергу, розміщує дані сегменту в буфер прикладної програми одержувача та сповіщає його про прибуття даних. З кожним модулем TCP пов'язано модуль протоколу IP, який забезпечує передавання локальною мережею. При цьому відбувається інкапсуляція сегменту TCP у датаграму протоколу IP. Ця датаграма, у свою чергу, поміщається в кадр канального рівня відповідного типу. Протокол IP здійснює фрагментацію та збирання сегментів TCP, необхідне для здійснення передавання та доставки їх через безліч мереж із різними технологіями канального рівня.

Передавання здійснюється надійно завдяки використанню підтверджень після отримання даних і механізму нумерації черг. Концептуально кожному байту даних присвоюють номер черги. Номер черги для першого байта даних у сегменті передають разом із цим сегментом і називають номером черги для сегмента. Оскільки кожен байт пронумеровано, то їх можна розпізнати. Механізм розпізнання байтів має накопичувальний характер, тобто розпізнання номера  $N$  означає, що всі байти з попередніми номерами ( $N - 1, N - 2, \dots$ ) вже отримано та розпізнано. Цей механізм дає змогу реєструвати появу дублів у разі повторного передавання. Нумерація байтів у межах сегменту здійснюється так, щоб перший байт даних відразу вслід за заголовком мав найменший номер, а наступні байти нумерувалися по зростаючій. Діапазон номерів лежить в межах від 0 до  $(232 - 1)$ . Так як набір обмежено, то всі арифметичні операції з номерами черг повинні здійснюватися за модулем 232.

Номери черг не встигають пройти весь діапазон номерів у 232 значень, перш ніж пов'язані з ними дані з сегменту, який відправляють, отримають підтвердження від одержувача, а всі дублікати цього сегмента покинуть мережу. В іншому випадку двом сегментам можуть бути призначені однакові номери, що викличе проблему в одержувача. На швидкості 100 Мбіт/с один цикл використання всіх номерів складе 5,4 хв.

Сегменти також несуть номер підтвердження, який є номером наступного очікуваного байта даних, що передається у зворотному напрямку. Коли протокол TCP передає сегмент з даними, він поміщає його копію в чергу повторного передавання та запускає таймер. Після приходу підтвердження для цих даних відповідний сегмент видаляють з черги повторної передавання. Якщо підтвердження не приходить до закінчення часу, то сегмент посилають повторно. Пошкодження під час передавання фіксують за допомогою додавання до кожного сегменту, який передають, контрольної суми, перевірки її під час отримання та подальшої ліквідації дефектних сегментів.

Протокол TCP дає можливість одержувачеві керувати кількістю даних, які надсилає йому відправником. Це досягається посилкою разом з кожним підтвердженням так званого вікна. Вікно визначає кількість сегментів інформації, яку відправник може послати до отримання подальших вказівок. У вікні вказано діапазон номерів, наступних після номеру успішно прийнятого сегменту.

Правильність передавання кожного сегменту підтверджує квитанція одержувача. Для організації повторного передавання раніше перекручених даних відправник нумерує



сегменти для передавання. Для кожного сегменту відправник чекає від одержувача позитивну квитанцію, тобто службове повідомлення, яке повідомляє про те, що вихідний сегмент отримано, а дані в ньому є коректними. Час очікування квитанції є обмеженим. Відправляючи сегмент, відправник запускає таймер, і якщо після закінчення часу таймера квитанцію не отримано, то сегмент вважається загубленим.

Вибираючи величину часу очікування, так званого «тайм-ауту», чергової квитанції необхідно враховуватися швидкість і надійність фізичних каналів зв'язку, їх довжину і багато інших факторів. У протоколі ТСП для кожного передавання фіксують час від моменту відправлення сегменту до приходу квитанції про його прийом (час обігу). Отримані значення часу обігу усереднюють з ваговими коефіцієнтами, які зростають від попереднього заміру до наступному. Як тайм-аут вибирають середній час обігу, помножений на деякий коефіцієнт. Варіюючи величину вікна, можна вплинути на завантаження мережі. Чим більшим є вікно, тим більшу порцію непідтверджених даних можна надіслати в мережу. Якщо прийомний буфер протоколу ТСП переповнено, то він, відправляючи чергову квитанцію, вміщує в неї новий, зменшений розмір вікна. Якщо одержувач зовсім відмовляється від прийому, то в квитанції вказується вікно нульового розміру. Винятки є можливими в ситуації, коли надсилається повідомлення з позначкою «терміново». Порт зобов'язаний прийняти сегмент, навіть якщо для цього доведеться витіснити з буферу вже розміщені там дані.

У деяких реалізаціях протоколу ТСП одержувач, якщо отримано спотворений сегмент, повинен відправити негативну

квитанцію. Існує два підходи до організації обміну позитивними й негативними квитанціями: з простоями та з організацією вікна.

**Метод з простоями** вимагає, щоб відправник очікував отримання квитанції від одержувача та тільки після цього послав наступний сегмент. На рисунку 11.9 показаний приклад методу з простоями.

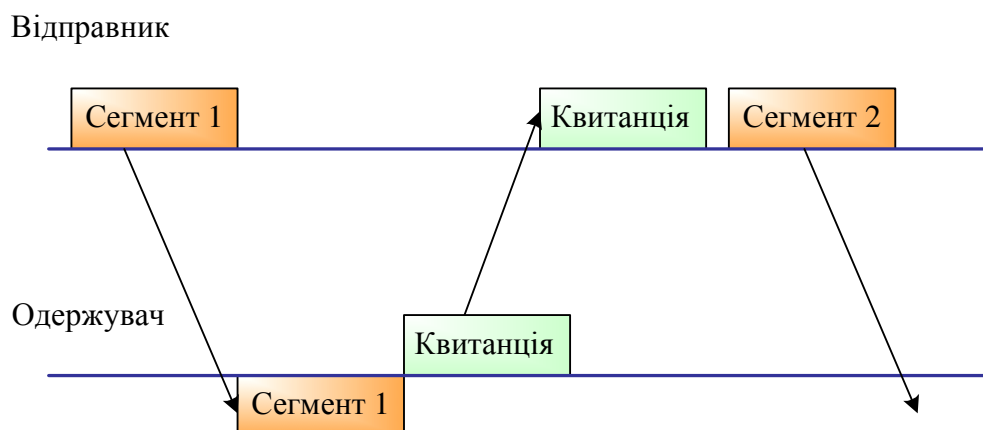


Рисунок 11.9. Приклад методу передавання сегментів з простоями

Даний метод має низьку швидкістю передавання даних. Особливо це стає помітним на низькошвидкісних каналах зв'язку.

Використовуючи **метод з організацією вікна**, названого ще **методом безперервного відправлення сегментів**, відправник може передати деяку кількість сегментів безперервно – без отримання на ці сегменти квитанції. Кількість сегментів, які дозволено передавати таким чином, вказується розміром вікна. На рисунку 11.10 наведено приклад реалізації цього методу для розміру вікна в  $N$  сегментів.

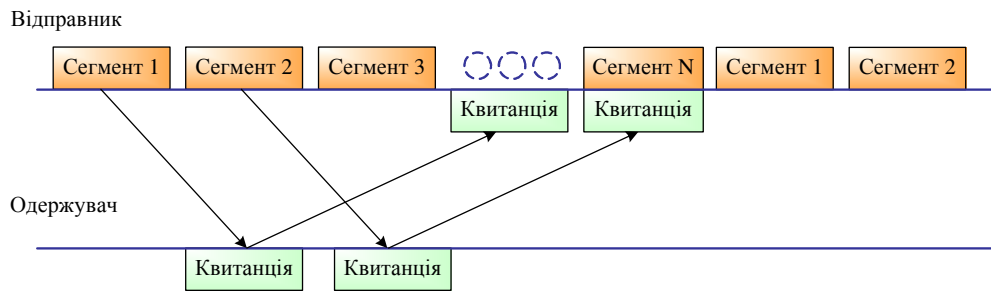


Рисунок 11.10. Метод безперервної відправки сегментів

Сегменти під час обмінювання нумерують циклічно – від 1 до  $N$ . Відправляючи сегмент 1, відправнику дозволено передати ще  $N - 1$  сегментів до отримання квитанції на сегмент 1. Якщо ж за цей час квитанція на сегмент 1 так і не прийшла, то процес передавання припиняється, а після закінчення деякого часу сегмент 1 вважається загубленим і передається знову.

Якщо потік квитанцій надходить регулярно, в межах числа  $N$  сегментів, то швидкість обміну досягає максимально можливої величини для даного каналу зв'язку. Такий алгоритм називають **алгоритмом ковзного вікна**. Щоразу, отримуючи квитанції, вікно переміщається, захоплюючи нові сегменти, які дозволено передавати без підтвердження. Як квитанції одержувач сегмента відсилає відповідь, у якій міститься число, яке на одиницю перевищує максимальний номер байта в отриманому сегменті. Якщо розмір вікна дорівнює  $N$ , а остання квитанція містила значення  $K$ , то відправник може посилати нові сегменти доти, поки в черговий сегмент не потрапить байт з номером  $K + N$ . Цей сегмент виходить за межі вікна, що свідчить про необхідність припинення передавання.

Для одночасного використання можливостей протоколу TCP кількома прикладними програмами на одному комп'ютері використовують набір адрес і протокольних портів. Зауважимо, що порти протоколу TCP відрізняються від портів протоколу UDP. Оскільки кожна програма протоколу TCP обирає ідентифікаторів портів незалежно, то вони не будуть унікальні. Унікальною буде сукупність ідентифікатора порту та його IP-адреси. Ця сукупність має назву «сокет».

З'єднання між відправником і одержувачем визначаються двома сокетами на кінцях. Це з'єднання можна використовувати для передавання даних в обох напрямках, тобто воно є дуплексним.

Спрощено процес з'єднання можна подати такою послідовністю дій:

- 1) ініціатор з'єднання надсилає запит до протоколу TCP на відкриття порту для передавання;
- 2) після відкриття порту протокол TCP на стороні застосування-ініціатора надсилає запит застосуванню, з яким потрібно налаштувати з'єднання;
- 3) протокол TCP на приймальній стороні відкриває порт для прийому даних і відсилає квитанцію, яка підтверджує прийом запиту;
- 4) приймальня сторона відкриває порт для передавання і також передає запит до протилежної сторони;
- 5) застосування-ініціатор відкриває порт для прийому та повертає квитанцію. З цього моменту з'єднання вважається налаштованим: починається обмін інформацією.

Існують кілька основних концепцій зв'язку портів із прикладними програмами, враховуючи будь-які реалізації протоколу TCP, та *загальновідомі сокети*. Для збереження всієї сукупності інформації щодо процесу створення сокетів є структура даних, яку називають **блоком керування передаванням** (Transmission Control Block, **ТСВ**).

Блок ТСВ формується для кожного з'єднання, є необхідним для підтримування з'єднань протоколу TCP та містить ряд змінних, якими є номери локального та віддаленого сокетів, прапори безпеки та пріоритети для даного з'єднання, показчики буферів надсилання та отримання, показчики поточного сегменту та черги повторного надсилання. Крім перерахованих вище змінних, блок має ряд змінних, які визначають черговість відправлення. Такими змінними є:

1. Відправлення:

- **SND.UNA** – надсилання не підтверджено;
- **SND.NXT** – надіслати наступний сегмент;
- **SND.WND** – відправити вікно;
- **SND.UP** – відправити строковий показчик;
- **SND.WL1** – номер черги сегменту, використаний для оновлення останнього вікна;
- **SND.WL2** – номер підтвердження в сегменті, що використовується для оновлення останнього вікна;
- **ISS** – початковий номер черги відправлення.

## 2. Отримання:

- **RCV.NXT** – отримати наступний сегмент;
- **RCV.WND** – отримати вікно;
- **RCV.UP** – отримати строковий покажчик;
- **IRS** – початковий номер черги отримання.

Часто використовують змінні, які беруть своє значення з полів чергового сегменту. Такими є:

- **SEG.SEQ** – номер черги для сегменту;
- **SEG.ACK** – номер підтвердження для сегменту;
- **SEG.LEN** – довжина сегменту;
- **SEG.WND** – вікно для сегменту;
- **SEG.UP** – строковий покажчик для сегменту;
- **SEG.PRC** – пріоритет для сегменту.

Відправник даних за допомогою значення змінної **SND.NXT** відстежує наступний номер у черзі, що підлягає відправленню. Одержувач даних за допомогою змінної **RCV.NXT** відстежує наступний номер, прибуття якого він очікує. У змінну **SND.UNA** відправник даних поміщає значення найдавнішого номера, який було відправлено, але який ще не отримав підтвердження. Коли відправник створює та посилає якийсь сегмент, він збільшує значення змінної **SND.NXT**. Адресат, отримавши цей сегмент, збільшує значення змінної **RCV.NXT** і відправляє підтвердження. Після отримання підтвердження збільшується значення змінної **SND.UNA**. Різниця у значеннях цих змінних є *величиною*

*затримування сегментів у мережі.* Величину, на яку накладають зміну змінних, називають *довжиною поля даних* у сегменті.

З'єднання можна здійснювати активно, іноді відбувається пасивне очікування з'єднання ззовні. Програма, яка зробила запит на пасивне відкриття, може приймати запити на з'єднання від інших застосовань. Після приходу запиту на активне з'єднання протокол TCP інформує їх про налаштування з'єднання. Два застосовання, які зробили один одному одночасні запити на активне відкриття, отримають коректне з'єднання. Якщо на один і той самий локальний сокет зроблено кілька пасивних запитів на відкриття, які записуються в блоці TCB, і при цьому здійснюється активний запит на відкриття ззовні, то чужий активний сокет зв'язуватиметься з тим блоком TCB, у якому зазначено саме цей сокет.

Для кожного з'єднання існує номер у черзі відправлення та номер у черзі отримання. Початковий номер черги відправлення вибирає програма TCP, яка посилає дані в цій черзі, а початковий номер у черзі отримання з'ясовується під час налаштування з'єднання. У цей час обидва модулі протоколу TCP повинні синхронізувати один з одним первинні номери черг. Це проводиться шляхом обміну сегментами, які налаштовують з'єднання. Ці сегменти несуть прапор синхронізації SYN і вихідні номери для черг. Синхронізація вимагає, щоб кожна сторона посилала свій власний перший номер черги та отримувала підтвердження. Кожна сторона повинна отримати початковий номер черги напарника й надіслати підтвердження. Наприклад, для зв'язку сторони А зі стороною Б необхідно виконати такі дії:

1. Сторона А надсилає сегмент із SYN і своїм номером черги N стороні Б.
2. Сторона Б надсилає підтвердження – «ваш номер черги N» стороні А.
3. Сторона Б надсилає сегмент із SYN і своїм номером черги стороні А.
4. Сторона А відправляє підтвердження – «ваш номер черги K» стороні Б.

Кроки 2 і 3 можна об'єднати, тому такий обмін називають налаштуванням з'єднання з підтвердженням трьох шляхів.

Відміна з'єднання також передбачає обмінювання сегментами, які несуть керувальний прапор про скасування з'єднання.

У протоколі TCP існує так званий механізм *«проштовхування»*, особливість якого в тому, що протокол TCP повинен передати все не відправлені раніше дані. Коли програма протоколу TCP на приймальній стороні виявляє ввімкнення механізму *«проштовхування»*, вона не може отримувати нові дані доти, поки всі дані в її буфері не буде передано застосуванню, яке їх очікує. Тобто вміст буферу одержувача передається користувачеві на оброблювання, навіть якщо він не був заповнений. Якщо надіслані дані заповнюють буфер користувача до того, як отримано команду до *«проштовхування»*, користувачеві відправляють блок даних, відповідний розміру буферу.

Протокол TCP також має механізм для відправлення термінових даних. У цьому випадку протокол, не очікуючи



заповнення буфера до рівня розміру сегменту, негайно передає вказані дані в мережу. Про таких дані говорять, що їх передають *поза потоком*.

Протокол TCP використовує тип сервісу та опцію безпеки протоколу IP для забезпечення користувачам пріоритету та безпеки даних на кожному з'єднанні. Модулі протоколу TCP, які діють у багаторівневій системі безпеки, повинні адекватно оголошувати в сегментах, які надсилають, необхідну безпеку та пріоритет.

*Заголовок TCP* прямує за заголовком протоколу IP і доповнює його інформацією, специфічною для протоколу TCP. На рисунку 11.11 зображено формат заголовка протоколу TCP.

Порт відправника (16 біт)		Порт одержувача (16 біт)	
Номер черги (32 біти)			
Номер підтвердження (32 біти)			
Зсув даних (4 біти)	Резерв (6 біт)	Контрольні біти (6 біт)	Вікно (16 біт)
Контрольна сума (16 біт)		Показчик терміновості (16 біт)	
Опції (довжина змінна)		Вирівнювальне поле до 32 біт	

Рисунок 11.11. Формат заголовка протоколу TCP

Поле «**Номер черги**» визначає номер черги для першого байта даних у цьому сегменті. Виняток становлять випадки, коли наявним є прапор синхронізації SYN. Поле «**Номер підтвердження**» містить наступний номер черги, який відправник даної датаграми бажає отримати в зворотному напрямку. Для цього необхідно встановити контрольний біт

підтвердження ACK. Номери підтвердження посилаються постійно, як тільки з'єднання вважається налаштованим.

Поле «**Зсув даних**» визначає кількість 32-бітних слів у TSP-заголовку та вказує на початок поля даних. Заголовок протоколу TSP завжди закінчується на 32-бітній межі слова, навіть якщо він містить опції. Поле «**Резерв**» має бути заповнено нулями. Поле «**Вікно**» містить оголошене значення розміру вікна в байтах. Поле «**Контрольна сума**» розраховується за сегментом, визначається 16-бітне доповнення суми всіх 16-бітових слів заголовка й даних. Якщо сегмент містить непарну кількість байтів, то його доповнюють нулями справа до утворення 16-бітного слова. При цьому вирівнювальний байт не передають разом з сегментом у мережі. Формат і значення поля «Контрольні біти» наведені у таблиці 11.4.

Таблиця 11.4.

<b>Біти поля «Контрольні біти»</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
URG	ACK	PSH	RST	SYN	FIN
Поле указателя срочности задействован	Поле «Номера подтверждения» задействовано	Включена функция проталкивания	Перезагрузка данного соединения	Синхронизация номеров очереди	Данных для передачи нет

Контрольна сума враховує також 96-бітний псевдозаголовок, який ставлять перед заголовком протоколу TSP. Псевдозаголовок містить адресу відправника, адреса одержувача, тип протоколу та довжину TSP-сегмента. Механізм псевдозаголовка забезпечує захист протоколу TSP від сегментів спотворення під час передавання.

Поле «**Показчик терміновості**» визначає зміщення даного сегменту щодо номера черги. Цей показчик повідомляє номер черги для байти, наступного після термінових даних. Поле використовують спільно з контрольним бітом URG.

Поле «**Опції**» має змінну довжину та може взагалі бути відсутнім. Воно розташовується в кінці заголовка протоколу TCP, його довжина кратна 8 бітам. Протокол TCP повинен бути готовий обробляти всі види опцій. Опції використовують для вирішення допоміжних завдань, наприклад для вибору максимального розміру сегменту. «**Компенсаційне поле**» може мати змінну довжину, бути фіктивним полем, яке використовують для доведення розміру заголовка до цілого числа 32-бітових слів.

З'єднання протоколу TCP переходять з одного стану в інший у відповідь на певні події: запити клієнта, прихід сегментів з прапорами SYN, ACK, RST, FIN і після закінчення заданого часу.

Проміжні стани з'єднань мають фіксовані значення та позначають:

- **LISTEN** – очікування запиту на з'єднання від чужих портів і програм TCP;
- **SYN-SENT** – очікування парного запиту на налаштування з'єднання (відправник запит вже зробив);
- **SYN-RECEIVED** – очікування підтвердження після того, як запит на з'єднання вже прийнято та відправлено;

- **ESTABLISHED** – стан відкритого з'єднання (прийняті дані можна надати користувачеві);
- **FIN-WAIT-1** – очікування запиту від чужої програми TCP або підтвердження раніше відправленого запиту на закриття з'єднання;
- **FIN-WAIT-2** – очікування запиту на закриття з'єднання від чужої програми TCP;
- **CLOSE-WAIT** – очікування запиту на закриття з'єднання від свого клієнта;
- **CLOSING** – очікування підтвердження запиту про закриття з'єднання від чужої програми TCP;
- **LAST-ACK** – очікування запиту на закриття з'єднання, раніше відправленого чужій програмі TCP;
- **TIME-WAIT** – часовий період, після якого можна бути впевненим, що чужа програма TCP отримала підтвердження свого запиту на закриття з'єднання;
- **CLOSED** – стан повного закриття з'єднання.

На рисунку 11.12 зображено діаграму зміни станів з'єднання.

Для розуміння механізму використання змінних під час налаштування з'єднань як приклад можна навести процедуру налаштування з'єднання з підтвердженням трьох шляхів (див. рис. 11.13). Кожен рядок рисунку пронумеровано. Стрілки → означають відправлення сегмента від модуля TCP сторони А в модуль TCP сторони Б.

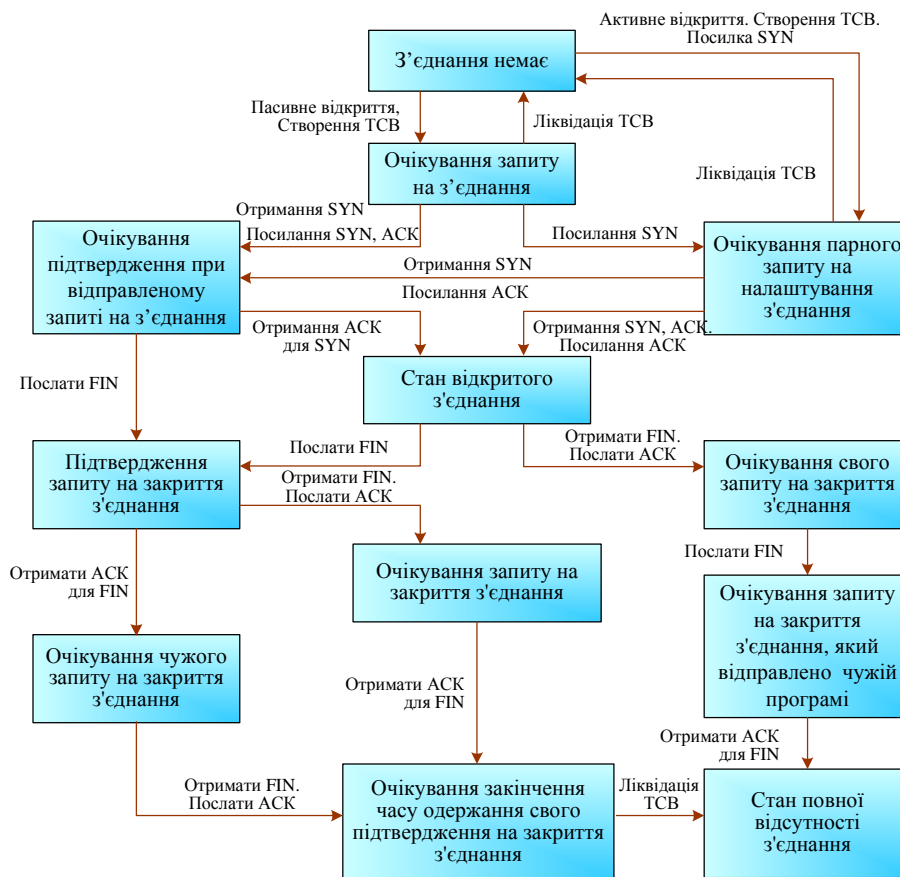


Рисунок 11.12. Діаграма зміни станів з'єднання

	Модуль TCP на стороні А	Модуль TCP на стороні Б
1.	CLOSED	LISTEN
2.	SYN-SENT → <SEQ=100><CTL=SYN>	→ SYN-RECEIVED
3.	ESTABLISHED ← <SEQ=300><ACK=101><CTL=SYN, ACK>	→ SYN-RECEIVED
4.	ESTABLISHED → <SEQ=101><ACK=301><CTL=ACK>	→ ESTABLISHED
5.	ESTABLISHED → <SEQ=101><ACK=301><CTL=ACK><DATA>	→ ESTABLISHED

Рисунок 11.13. Процедура підтвердження трьох шляхів для синхронізації з'єднання

Стрілки ← показують зворотні процеси. Проміжний стан з'єднання відповідає моменту надсилання або отримання сегменту. Зміст сегменту наведено в скороченій формі, він є номером черги, прапором керування і полем АСК. Інші поля не показано.

Сторона А вказує, що вона буде використовувати номер черги 100. У відповідь сторона Б посилає свій номер черги 300 і каже, що чекає на отримання номера 101 (рядок 3). У рядку 5 модуль TCP сторони А передає деяку порцію даних.

На рисунку 11.14 відтворено нормальну процедуру закриття з'єднання.

Модуль TCP на стороні А		Модуль TCP на стороні Б
1.	ESTABLISHED	ESTABLISHED
2.	FIN-WAIT-1 →	→ CLOSE-WAIT
3.	FIN-WAIT-2 ← <SEQ=300><ACK=101><CTL=	← CLOSE-
4.	TIME-WAIT ←	← LAST-ACK
5.	TIME-WAIT → <SEQ=101><ACK=301><CTL=	→ CLOSED
6.	CLOSED	

Рисунок 11.14. Нормальна процедура закриття з'єднання

Протокол TCP розглядали, зважаючи на його використання як транспортного механізму обмінування маршрутною інформацією в протоколі політики маршрутизації BGP. Протокол TCP знаходиться в постійному розвитку. Один із останніх кроків у розвитку протоколу регламентовано у документі RFC-1323. Ця модернізація протоколу адаптує його до дуже високих швидкостей передавання (до терабіт в секунду).

## Контрольні питання

1. У чому полягає відмінність понять «IP-мережа» та «TCP/IP-мережа»?
2. Яке призначення протоколу IP і його місце в стеку TCP/IP?
3. Що таке IP-адреса, чим відрізняються IP-адреси для різних класів мереж?
4. Що таке маска підмережі? Якщо маска підмережі дорівнює 255.255.240.0, скільком дорівнює максимальна кількість хостів у логічній мережі?
5. Що розуміють під методом CIDR?
6. Якими є загальні, приватні, динамічні та статичні IP-адреси, чим вони відрізняються від доменних імен?
7. Охарактеризуйте відмінність форматів пакетів протоколу IP версії 4 і 6-ї версії.
8. Яке призначення протоколу дозволу адрес ARP?
9. Як влаштовано глобальний Інтернет?
10. Для чого призначено таблиці маршрутизації? Охарактеризуйте їх специфіку.
11. Охарактеризуйте однокрокові алгоритми різних класів?
12. Назвіть найбільш поширений протокол на базі дистанційно-векторного алгоритму, на базі алгоритму стану зв'язків?
13. Охарактеризуйте протокол BGP, формат його пакету.
14. Які повідомлення передбачено в документі RFC 1163 для протоколу BGP?

15. Яке призначення протоколів транспортного рівня в стеку TCP/IP?
16. Що називають «протокольним портом»?
17. Охарактеризуйте протокол UDP.
18. Що забезпечує функція мультиплексування (демультиплексування) в протоколі UDP?
19. Як призначають номери портів у протоколі UDP?
20. У чому полягає відмінність протоколу TCP від протоколу UDP?
21. Як формується одиниця даних протоколу TCP – сегмент?
22. Як забезпечується надійність передавання даних у протоколі TCP?
23. Як працює алгоритм «ковзного вікна»?
24. Що називають «сокетом»?
25. Що таке заголовок протоколу TCP? Охарактеризуйте призначення його полів.
26. Як відбувається налаштування логічного з'єднання?



## Розділ 12. Мережі підприємств

### 12.1. Особливості побудови мереж підприємств

Основне призначення мережі підприємств – це забезпечення колективного доступу користувачів до інформаційних ресурсів (баз даних) підприємства та виходу в глобальні мережі, поділ дорогого периферійного обладнання та оргтехніки, призначеної для роботи в мережі, підвищення ефективності виробничого процесу (бізнес-процесу) за рахунок автоматизації якомога більшої кількості виробничих операцій. Отже, *мережі підприємств є класичним прикладом інформаційних мереж*, де основний трафік формується в результаті взаємодії прикладних процесів кінцевих систем.

Мережі підприємств організовуються на основі принципів побудови сегментів LAN. Їх прикметними особливостями є компактне розташування користувачів і високі швидкості передавання трафіку.

Принцип сегментування мережі великого підприємства, як правило, відображає його організаційну структуру. Кількість рівнів структуризації в мережі є пропорційним до масштабу підприємства. Так, для об'єднання кінцевих пристроїв у сегменті масштабу мережі невеликої робочої групи цілком можна обмежитися комутатором рівня доступу. Для об'єднання сегментів робочих груп у сегмент масштабу відділу й далі – підприємства необхідно долучати комутатори відповідно рівнів розподілу й ядра (див. рис. 12.1).

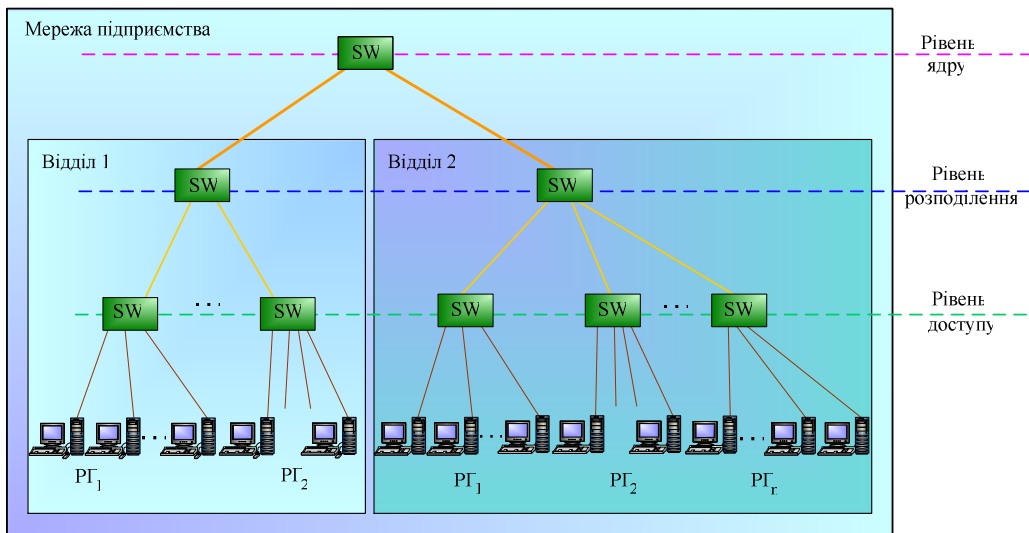


Рисунок 12.1. Зразок мережі підприємства

Побудова телекомунікаційних мереж підприємств ґрунтується на загальних принципах побудови сегментів фізичного каналного й мережевого рівнів, які детально розглянуто в розділі 5.

У якості ліній зв'язку, як правило, використовують прості лінки (без ущільнення й мультиплексування).

Нижче розглядаються основні типи кінцевих пристроїв, які, зазвичай, під'єднують до мережевих закінчень телекомунікаційної мережі підприємства.

## 12.2. Термінальне устаткування мереж підприємств

Термінальним устаткуванням мереж підприємств є апаратура класу DTE (див. розділ 3.5), а саме пристрої, описані нижче.

**Термінальні пристрої телекомунікаційних служб.** До цих пристроїв належать кінцеві пристрої користувачів, а саме: цифрові та аналогові телефонні апарати, IP-телефони, факс-апарати, офісні міні-АТС.

**Алфавітно-цифрові, графічні та відеотермінали.** Використовуються у клієнт-серверних системах для організації робочого місця користувача, а також як консолі для керування мережевим обладнанням. Термінали, як правило, мають власну систему команд (популярні системи команд VT-52, VT-100), які мають відмінності в трактуванні керувальних символів і послідовностей. Розрізняють також таблиці кодування символів.

**Комп'ютери.** Залежно від функцій, які комп'ютер виконує у мережі, він може розглядатися як робоча станція або сервер. Функціональне призначення робочої станції визначають інсталювані в неї застосовання та її периферія (мультимедійні аксесуари, IP-телефони, відеотелефони, та ін.).

Нагадаємо, що сервер, який працює в режимі хосту, може бути під'єднаним до одного й більше сегментів мережі підприємства. Він отримує та надсилає потоки даних будь-якого із сегментів, але не має права переспрямовувати (ретранслювати) дані з одного сегмента в інший. Інакше він стає мережевим комунікаційним пристроєм.

**Розподільчі принтери.** Забезпечують друк завдань для користувачів мережі. У загальному випадку для цього потрібно мати принт-сервер, який керує вибором завдань з черги і, власне, принтер, під'єднаний до принт-серверу (як правило, через порт LPT, можливо USB, іноді через COM-порт). Функції принт-сервера може виконувати звичайний

комп'ютер, під'єднаний до мережі. Під'єднання принтера за допомогою кабеля до комп'ютера територіально "прив'язує" принтер до комп'ютера (на відстань до 5 м), а це не завжди зручно.

**Мережеві принтери.** Це тип принтерів, які мають вбудований мережевий інтерфейс (мережевий адаптер) і вбудоване програмне забезпечення (принт-сервер). До мережі під'єднуються самостійно, територіально можуть розташовуватися в будь-якому місці, де є телекомунікаційний роз'єм мережі.

**Апаратні принт-сервери.** Це мікроконтролери, які забезпечені мережними адаптерами. Вони також мають кілька портів для під'єднання звичайних принтерів. Можливість під'єднання відразу декількох принтерів є відмінною рисою апаратного принт-сервера. Вбудоване в апаратний принт-сервер програмне забезпечення виконує вибір завдань із черги на друк.

**Плотери** (графобудівники). Припускають використання в режимі розподілення, якщо вони підтримують стандартний протокол керування потоком даних. У разі наявності паралельного інтерфейсу плотер без проблем може під'єднуватися до будь-якого принт-сервера (аналогічно до принтера). Плотери з послідовними інтерфейсами можуть взаємодіяти з застосуваннями тільки локально, через спеціальний драйвер.

Для під'єднання термінальних пристроїв локальної мережі до фізичного середовища передавання, використовуюється апаратура класа DCE (див. розділ 3.5). У даному випадку цю функцію виконує **мережевий адаптер** або

**мережева інтерфейсна карта.** Це вбудований інтерфейсний пристрій, який є джерелом і приймачем даних у кінцевих вузлах мережі. Разом зі своїм драйвером (системною програмою) він здійснює передавання й приймання кадрів локальних сегментів (реалізує функції фізичного рівня моделі OSI/ISO або підрівня MAC – доступу до середовища). Його тип повинен відповідати призначенню кінцевого пристрою мережі та його мережевій активності (клієнт, сервер), а також застосовуваний мережевій технології.

### **12.3. Технології та устаткування телекомунікаційних мереж підприємств**

Традиційно вважалося, що саме застосування певної мережевої технології сегменту LAN визначає топологію його фізичних і логічних зв'язків. У якості варіантів розглядалися: "загальна шина" (Ethernet, ARCnet), "кільце" (Token Ring, FDDI), "зірка" (Ethernet). Проте, з переходом на комутовану топологію, стало можливим, шляхом кросування портів комунікаційного обладнання, реалізувати будь-яку з перерахованих вище топологій тільки на фізичній топології "зірка" (або "ієрархічна зірка").

Подальшим кроком розвитку технологій сегментів LAN стала поява ієрархії швидкостей **комутованої Ethernet** (Ethernet, FE, GE, 10GE), яка стала провідною серед технологій цього рівня.

Комунікаційне устаткування – комутатори Ethernet мають очевидні переваги, оскільки працюють зі швидкістю протоколу та забезпечують тим самим високі швидкості

передавання в мережі. Однак, мають і певні недоліки: комутатори можуть працювати тільки в мережах з топологією “дерево” (у разі відсутності циклів) і вони прозорі для ширококомовних кадрів. Неможливість організації в топологіях “дерево” обхідних напрямків (резервних шляхів) не дає змогу вирішувати проблему надійності мережі, а безперешкодне поширення ширококомовного трафіку може істотно перевантажувати магістральні зв'язки.

Подолання зазначених недоліків комутаторів стало можливим завдяки долученню їм *інтелектуальних функцій*, а саме:

- підтримку алгоритму “покривного дерева”, що дає змогу автоматично знаходити новий варіант топології “дерево” у разі відмов комутаторів або ліній зв'язку в мережі з циклами, а отже, забезпечувати відмовостійкість мережі;
- підтримку механізму транкових з'єднань, що уможлиблює поєднання кілька ліній зв'язку в один канал (транкові з'єднання) підвищеної пропускної спроможності. Це є актуальним для окремих особливо завантажених магістральних зв'язків;
- підтримку технології віртуальних локальних мереж.

**Алгоритм побудови покривного дерева (Spanning Tree Algorithm, STA)** детально розглядається у п. 6.4. Зараз ми лише зосередим увагу на основній специфікації ITU-T, яка містить протокол, що реалізує алгоритм STA. Це – стандарт **IEEE 802.1D**.

Протокол STA знаходить конфігурацію покривного дерева в три етапи. На першому етапі визначається кореневий комутатор, на другому – кореневі порти, на третьому – призначені порти сегментів.

Єдиним недоліком зазначеного протоколу є те, що в мережах з великою кількістю комутаторів час визначення нової активної конфігурації “дерево” в мережі може виявитися досить тривалим. Існують численні нестандартні версії STA, які дають змогу скоротити цей час за рахунок ускладнення алгоритму, наприклад, специфікація **IEEE 802.1w**.

**Транки** – це з'єднання між двома комунікаційними пристроями, які утворюються логічним об'єднанням фізичних портів заздалегідь передбачених надлишкових зв'язків у загальний логічний канал з єдиним логічним портом. При цьому не тільки збільшується пропускна здатність з'єднання, а й підвищується його надійності. У разі відмови одного з зв'язків агрегованого з'єднання, трафік перерозподіляється між рештою ліній. Стандартний спосіб створення транкового з'єднання описано в специфікації **IEEE 802.3ad**.

Використання транків є дуже зручним, коли підвищення швидкості передавання потрібним є не у всій мережі, а на окремих ділянках, наприклад, у лінії, яка з'єднує комутатор з сервером, потік звернень до якого є досить інтенсивним. Транк використовують як для зв'язків між комп'ютером і комутатором, так і для зв'язків між портами комутаторів. Агрегований канал може бути утворений не тільки між двома сусідніми комутаторами, але й розподілятися між портами декількох комутаторів. Для автоматичного повідомлення про приналежність фізичного порту до певного агрегованого порту

використовують спеціальний протокол керування агрегуванням ліній зв'язку (Link Control Aggregation Protocol, **LCAP**).

Методи агрегування зв'язків мають певні обмеження: вони вимагають наявності надлишкової кількості портів у з'єднувальних пристроях.

**Технологія віртуальних локальних мереж (Virtual LAN, VLAN)** дає змогу в мережі, побудованій на комутаторах, створювати сегменти, трафіки яких повністю ізолюються один від одного. Це досягається шляхом логічного конфігурування комутаторів мережевим адміністратором і не вимагає зміни фізичної структури мережі.

Технологія VLAN, таким чином, забезпечує вирішення проблеми бар'єрів на шляху ширококомовного трафіку, оскільки весь трафік (зокрема ширококомовний) вузлів, які належать одній віртуальній мережі, на каналному рівні повністю ізолюваний від інших вузлів мережі. Це означає, що передавання кадрів між різними віртуальними мережами на основі адреси каналного рівня є неможливим, незалежно від типу адреси – унікальної, групової або ширококомовної. Водночас усередині віртуальної мережі кадри передаються за технологією комутації, тобто лише на той порт, який пов'язаний з адресою призначення кадру. Віртуальні мережі можуть перетинатися, якщо один або декілька комп'ютерів входять до складу більш ніж однієї віртуальної мережі. Таким чином віртуальна мережа утворює *домен ширококомовного трафіку* (broadcast domain).



Базові правила побудови віртуальних локальних мереж визначено стандартом **IEEE 802.1Q** та не залежать від протоколу канального рівня, який підтримує комутатор.

Використовуючи технології VLAN в мережі підприємства, одночасно можна вирішувати такі завдання:

- підвищувати загальну корисну пропускну спроможність мережі за рахунок локалізації широкомовного трафіку в окремих сегментах VLAN;
- забезпечувати можливість гнучкого формування сегментів мережі з некомпактно розташованих вузлів на програмованій основі, а не шляхом їх фізичного переміщення або перекомутації на крос-панелях;
- ізолювати мережі одну від іншої для керування правами доступу користувачів.

Для поєднання віртуальних мереж у загальну мережу необхідним є залучення мережевого рівня, що може бути реалізовано в окремому маршрутизаторі або у складі програмного забезпечення комутатора, який при цьому стає комбінованим пристроєм – *комутатором 3-го рівня*.

Створюючи віртуальні мереж на основі одного комутатора, зазвичай, використовують *механізм групування в мережі портів комутатора* (рис. 12.2), за яким кожен порт приписують до тієї чи іншої віртуальної мережі.

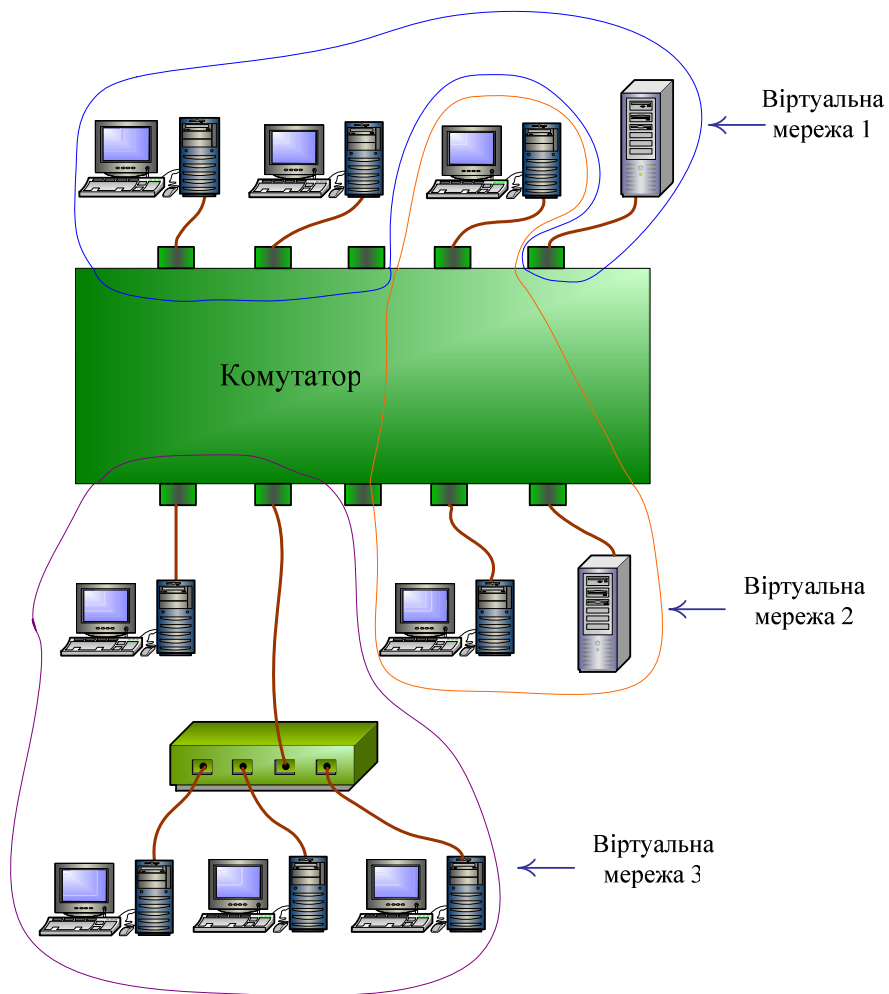


Рисунок 12.2. Віртуальні мережі, побудовані на одному комутаторі

Кадр, що надійшов від порту, який належить, наприклад, віртуальній мережі 1, ніколи не буде передано порту, який не належить цій віртуальній мережі. Порт можна приписати до декількох віртуальних мереж, хоча у практиці так роблять рідко (зникає ефект повної ізоляції мереж).

Групування портів для одного комутатора – найбільш логічний спосіб утворення VLAN, оскільки віртуальних

мереж, побудованих на основі одного комутатора, не може бути більше, ніж портів. Однак групування портів погано працює в мережах, побудованих на декількох комутаторах.

Рисунок 12.3 ілюструє проблему, що виникає в процесі створення віртуальних мереж на основі декількох комутаторів, які підтримують техніку групування портів.

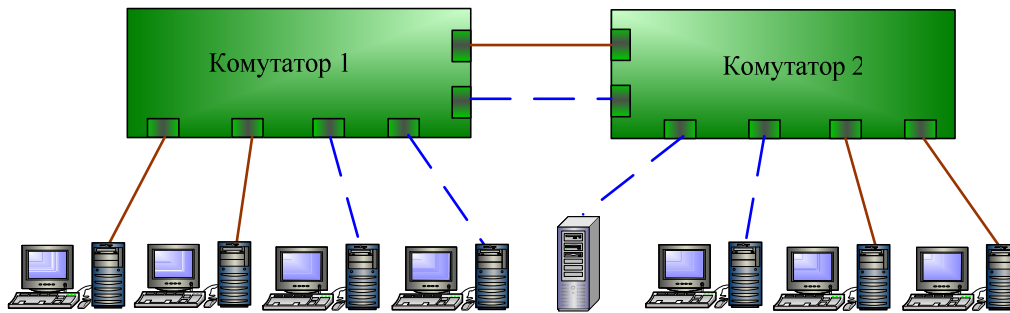


Рисунок 12.3. Побудова віртуальних мереж на декількох комутаторах із групуванням портів

Якщо вузли будь-якої віртуальної мережі під'єднано до різних комутаторів, то для з'єднання комутаторів кожної такої мережі необхідно виділити свою пару портів. У іншому випадку, якщо комутатори пов'язуються тільки однією парою портів, інформацію про належність кадру до тієї чи іншої віртуальної мережі в процесі передавання з комутатора в комутатор буде втрачено. Таким чином, комутатори з групуванням портів потребують для свого з'єднання портів стільки, скільки віртуальних мереж вони підтримують. Порти та кабелі використовуються у такому способі дуже марнотратно. Крім того, для з'єднання віртуальних мереж через маршрутизатор для кожної віртуальної мережі виділяється окремий кабель і окремий порт маршрутизатора, що також призводить до додаткових витрат.

Другий спосіб утворення віртуальних мереж засновано на *групуванні MAC-адрес*. У цьому випадку потрібно позначати номерами віртуальних мереж усі MAC-адреси, які є в таблицях кожного комутатора. Групування MAC-адрес у віртуальну мережу на кожному комутаторі позбавляє від необхідності їх поєднання декількома портами, тому що в цьому випадку MAC-адреса є міткою віртуальної мережі. Оскільки в мережі існує численність вузлів, цей спосіб вимагає від адміністратора виконання великої кількості ручних операцій. Однак він є більш гнучким для побудови віртуальних мереж на основі декількох комутаторів, ніж спосіб групування портів.

Описані два підходи засновано тільки на доповненні інформацією адресних таблиць моста, в них відсутня можливість вбудовувати (долучати) інформацію про належність кадру до віртуальної мережі в кадр, який передається.

Інші підходи використовують наявні чи додаткові *поля кадру* для зберігання інформації про належність кадру конкретної VLAN у процесі його переміщення між комутаторами мережі. Додаткове поле з позначкою про номер віртуальної мережі застосовують тільки тоді, коли кадр передається від комутатора до комутатора, а в процесі передавання кадру кінцевому вузлу воно видаляється. При цьому модифікується протокол взаємодії “комутатор – комутатор”, а програмне й апаратне забезпечення кінцевих вузлів залишається незмінним.

Для зберігання номера віртуальної мережі в стандарті IEEE 802.1Q передбачено додатковий заголовок. У цьому

заголовку 12 біт використовуються для зберігання номера VLAN, до якої належить кадр. Ця додаткова інформація дає змогу комутаторам різних виробників створювати до 4096 загальних віртуальних мереж. Щоб кадр Ethernet не збільшувався в обсязі, під час долучування заголовка поле даних зменшується на 2 байти.

У разі застосування комутаторів 3-го рівня для створення VLAN можуть бути використані адреси мережевого рівня (IP-адреси). У цьому випадку віртуальна мережа є звичайною логічною мережею.

Технологія VLAN уможлиблює вирішення спеціальних завдань щодо *безпеки в мережі*, а саме: керування правами доступу користувачів. Для автентифікації користувачів створюється певна чергова VLAN, до якої вважається прикріпленим будь-який користувач, який входить у мережу. Чергова VLAN забезпечує його зв'язок з сервером автентифікації для введення імені та пароля. Для кожного користувача сервер зберігає інформацію про VLAN, доступ до яких йому дозволено. Цю інформацію сервер завантажує в комутатори, конфігуруючи таким чином різні шляхи передавання кадрів під час роботи користувача в мережі.

#### **12.4. Структуровані кабельні системи будівель**

Використання комутованої топології, яка забезпечила незалежність топології фізичних зв'язків від застосовуваної мережевої технології в сегментах LAN, дало змогу розглядати телекомунікаційні мережі будівель як самостійні об'єкти – *структуровані кабельні системи*.

**Структурована кабельна система (СКС)** є невід'ємною частиною будь-якого сучасного будинку, істотно підвищує ринкову вартість об'єкта нерухомості. Її створюють на етапі будівництва або переобладнання об'єкта під будівлю офісного типу. Офісною будівлею є будь-який будинок або його частина, основна площа якого призначена для організації робочих місць співробітників. Типовими прикладами офісних будівель є бізнес-центри, державні та фінансові установи, навчальні заклади тощо.

Сучасна СКС є устаткуванням, що містить компоненти пасивного мережевого обладнання, створеного на основі відповідних стандартів. Технічний рівень елементної бази, яку застосовують для побудови СКС, задається стандартом таким чином, щоб забезпечити тривалість експлуатації кабельної системи мінімально на 10 років.

На сьогодні у світі чинними є три основні стандарти СКС:

- Американський - EIA/TIA-568-A;
- Міжнародний - ISO/IEC 11801;
- Європейський - EN 50173.

Усі вони описують майже однакові кабельні системи. Розрізняють ці стандарти за термінологією та нормами на параметри СКС.

У вказаних стандартах СКС визначено як кабельну систему, принцип побудови якої відповідає трьом основним ознакам: *структуризації, універсальності та надлишковості*.

**Структуризація** припускає розбивку кабельної проводки та її аксесуарів на окремі підсистеми, кожна з яких виконує певні функції й забезпечена стандартизованим інтерфейсом для зв'язку з іншими підсистемами та активним комунікаційним устаткуванням. Кожна підсистема обов'язково складається з великого набору засобів перемикачів, що забезпечує її високу гнучкість і можливість швидкої зміни конфігурації.

**Універсальність** кабельної системи полягає в тому, що її споруджують без прив'язки до будь-якої конкретної мережевої технології та будують за принципами відкритої архітектури, набір основних технічних характеристик якої зафіксовано в стандартах. У нормативних документах визначено параметри як електричних і оптичних кабельних трас кожної з підсистем, так і їх інтерфейсів.

Для з'єднання підсистем СКС між собою, а також з активним устаткуванням передбачено обмежений набір шнурів з універсальними роз'ємами.

Можливість використання кабельної проводки СКС мережевою апаратурою, яка не підтримує передавання по симетричному або волоконно-оптичному кабелю, забезпечено наявністю розвиненої номенклатури адаптерів і перехідників. Хоча ці елементи формально не потрапляють у межі чинності стандартів, розробники створюють ці вироби з урахуванням вимог СКС.

**Надлишковість** припускає долучення до складу СКС додаткових інформаційних розеток, кількість та розміщення яких визначають площею та топологією робочих приміщень, а не планом розміщення обладнання робочих місць

співробітників і офісних меблів. Оскільки тривалість експлуатації СКС у кілька разів перевищує аналогічний показник для інших компонентів інформаційної інфраструктури будівлі, цей принцип є особливо важливим.

Для створення ефективної СКС та її експлуатації необхідними є такі умови:

- наявність каталогу продукції;
- наявність чинних стандартів, які регламентують норми й методику проектування СКС;
- можливість адміністрування СКС відповідно до стандартних процедур;
- система підготовки кадрів та забезпечення гарантії виробника.

Структуризація кабельної системи залежить від особливостей структури будівлі. Будівля складається з поверхів, а кожен поверх – з певної кількості кімнат, з'єднаних коридорами. Ієрархічний підхід до процесу створення кабельної системи в будівлі дає підстави називати її структурованою.

На рис. 12.4 наведено схему структуризації кабельної системи сегменту LAN масштабу кампусних мережі.



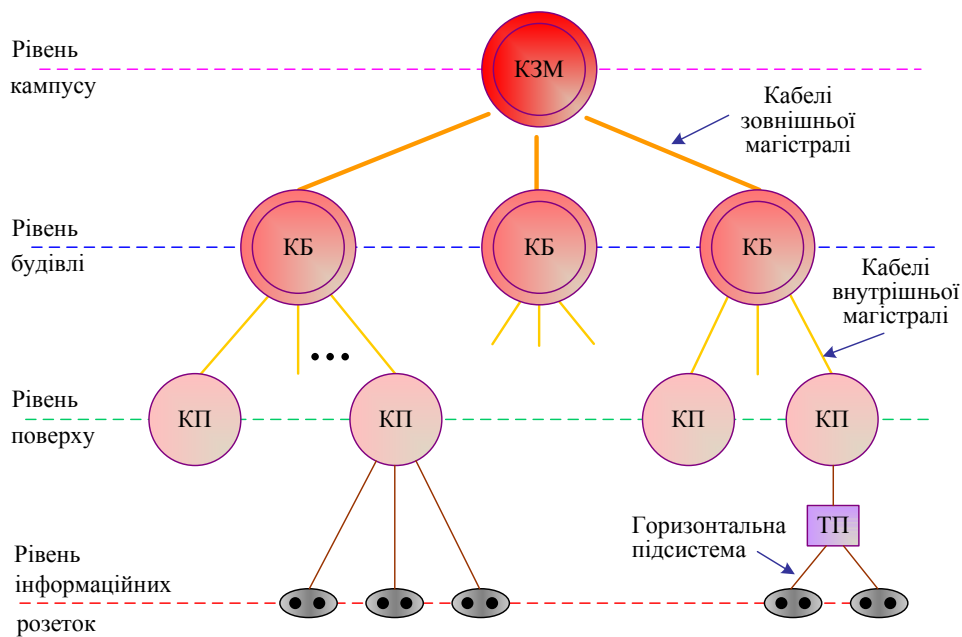


Рисунок 12.4. Схема структуризації кабельної системи  
 КЗМ - крос зовнішніх магістралей  
 КБ - крос будівель  
 КП - крос поверхів  
 ТП - точки переходу (необов'язково)

В основу будь-якої СКС покладено фізичну топологію “дерево”, яку називають *ієрархічною зіркою*. У її вузлових пунктах передбачається розміщення пасивного комутаційного устаткування, яким, зазвичай, обладнуються спеціальні технічні приміщення. Це пасивне комутаційне устаткування з'єднують між собою і з інформаційними розетками робочих місць користувачів електричними й оптичними кабелями. Усі кабелі, які входять у технічне приміщення, заводяться на комутаційне устаткування (кросові комутаційні панелі, комутаційні шафи, стійки та ін.). Тут здійснюють усі необхідні під'єднання (зокрема, до активного

комунікаційного обладнання) на етапі інсталяції СКС і перемикання в процесі поточної експлуатації мережі. Це забезпечує велику гнучкість СКС і можливість організувати на зазначеній технічній платформі будь-яку топологію мережі, передбачену стандартами мережевих технологій локальних сегментів (шина, кільце, зірка).

Мережеві технології (Token Ring, Ethernet, FDDI, ATM), під які адаптується СКС, прийнято **називати застосуваннями СКС**.

Відповідно до міжнародного стандарту ISO/IEC 11801 у сфері СКС, усі види застосовань поділяють на класи. Для застосовань кожного класу визначають відповідний клас лінії зв'язку, який задає певні електричні характеристики лінії, необхідні для нормальної роботи застосовань відповідного й нижчого класу. Класи застосовань за стандартом ISO/IEC 11801 наведено у таблиці 12.1.

Таблиця 12.1

<b>Клас застосовань і ліній</b>	<b>Максимальна частота сигналу</b>	<b>Тип застосування</b>
A	до 100 кГц	Телефонія та низькочастотні дані
B	до 1 МГц	Застосування з середньою швидкістю обміну
C	до 16 МГц	Ethernet, Token Ring
D	до 100 МГц	Fast Ethernet
E	до 250 МГц	Передавання даних зі швидкістю 1 Гб/с (Gigabit Ethernet)
F	до 600 МГц	Кабельне TV (ATM)
G	до 1200 МГц	Відео в реальному масштабі часу (GE, 10GE)

Лінії електричного зв'язку СКС повинні бути зібрані з кабелів та інших компонентів, що забезпечує якісне передавання сигналів, які генерують застосовання відповідного класу. Стандарт ISO/IEC 11801 додатково до класів ліній специфікує категорії кабелів і роз'ємів (табл. 12.2). Категорії визначено за максимальною частотою сигналу, на яку розраховано відповідні роз'єми та кабелі. Кабелі та роз'єми більш високих категорій підтримують усі програми, які розраховано на роботу кабелів нижчих категорій.

Таблиця 12.2

<b>Категорія кабелю і роз'єму</b>	<b>Максимальна частота сигнал</b>
Категорія 3	до 16 МГц
Категорія 4	до 20 МГц
Категорія 5	до 100 МГц
Категорія 5e	до 100 МГц
Категорія 6	до 250 МГц
Категорія 7	до 600 МГц
Категорія 8	до 1200 МГц

Усій СКС також присвоюється категорія, що відповідає категорії компонентів, з яких вона виконана. Якщо СКС зібрано з компонентів різних категорій, їй присвоюється остаточна категорія, яка визначається найнижчою категорією наявних компонентів.

На рис. 12.5 подано основні підсистеми та обмеження в кабельній підсистемі, що передбачено стандартами СКС.

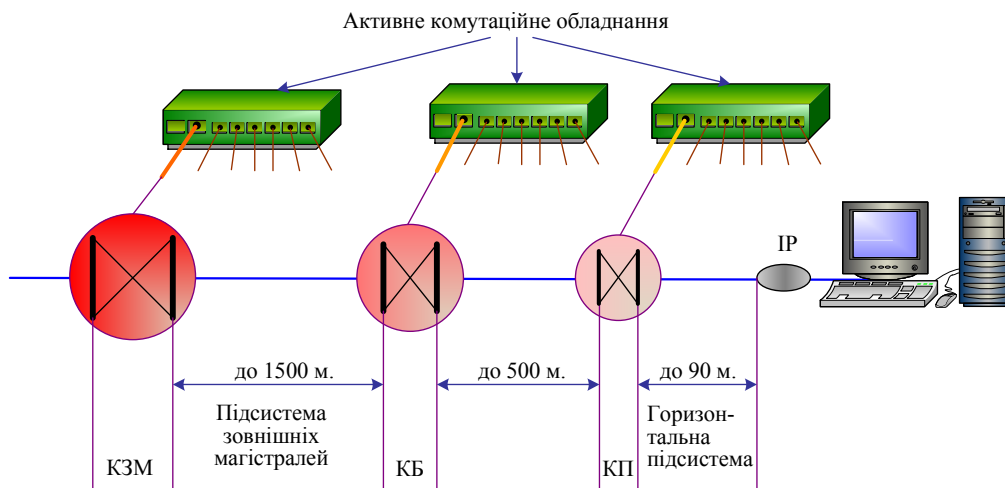


Рисунок 12.5. Підсистеми СКС та обмеження на довжини кабелів

Відповідно до міжнародного стандарту ISO/IEC 11801 СКС містить три наступні підсистеми.

**Підсистема зовнішніх магістралей** складається з зовнішніх магістральних кабелів між КЗМ і КБ, комутаційного устаткування в КЗМ і КБ, до якого під'єднано зовнішні магістральні кабелі, й комутаційних шнурів і перемичок в КЗМ. Підсистема зовнішніх магістралей є тією основою, яка поєднує в єдину мережу кампусу локальні мережі будинків, розташованих на невеликій відстані один від одного. Якщо СКС налаштовують тільки в одній будівлі, то підсистема зовнішніх магістралей відсутня. У висотних будівлях підсистему зовнішніх магістралей складають також ті кабелі, які мають довжину понад 500 м, хоча вони фактично не виходять за межі будівлі.

**Підсистема внутрішніх магістралей**, яку ще називають **вертикальною підсистемою**, містить прокладені між КБ і КП внутрішні магістральні кабелі, під'єднане до них комутаційне

устаткування в КБ та КП, а також частину комутаційних шнурів і перемичок в КБ. Кабелі розглянутої підсистеми фактично пов'язують між собою окремі поверхи будівлі й просторово рознесені приміщення в межах однієї будівлі. Якщо СКС обслуговує один поверх, то підсистема внутрішніх магістралей може бути відсутньою.

**Горизонтальна підсистема** утворена горизонтальними кабелями між КП та інформаційними розетками (ІР), самими ІР, а також комутаційним устаткуванням у КП, до якого під'єднано горизонтальні кабелі. Горизонтальна підсистема складається також зі значної частини комутаційних шнурів і перемичок в КП. У побудові горизонтальної проводки допускається використання однієї точки переходу (ТП) на тракт, у якій відбувається зміна типу кабелю, який прокладають (наприклад, перехід на плоский кабель для прокладки під килимовим покриттям з еквівалентними передавальними характеристиками).

Поділ СКС на окремі підсистеми застосовують незалежно від призначення мережі: він буде однаковим, наприклад, для кабельної системи в офісній будівлі й у виробничому комплексі.

Узагальнено-типова СКС згідно з чинними рекомендаціями міжнародних нормативно-технічних документів містить у собі такі компоненти:

- лінійно-кабельне устаткування підсистеми зовнішніх магістралей;
- комутаційне устаткування зовнішніх магістралей;

- лінійно-кабельне устаткування підсистеми внутрішніх магістралей;
- комутаційне устаткування внутрішніх магістралей;
- лінійно-кабельне устаткування горизонтальної підсистеми;
- комутаційне устаткування горизонтальної підсистеми;
- точки переходу;
- інформаційні розетки.

Використання структурованої кабельної системи, замість хаотично прокладених кабелів, забезпечує підприємству гарантовану якість циркульованого трафіку.

### **12.5. Організація віддаленого доступу в мережах підприємств**

Віддалений доступ у мережах підприємств застосовують для взаємодії вузлів, не пов'язаних загальною локальною мережею. Завдання організації віддаленого доступу у даному випадку може бути сформульовано декількома варіантами:

- забезпечити доступ комп'ютерів окремих віддалених співробітників до ресурсів локальної мережі підприємства;
- надати клієнтам локальної мережі доступ до ресурсів глобальної мережі Інтернет;
- організувати зв'язок двох і більше локальних мереж, які територіально рознесені на велику відстань одна

від іншої, при об'єднанні у єдину корпоративну мережу.

Для кожного з перерахованих варіантів як зовнішні транспортні ресурсів використовують канали мереж операторів зв'язку (канали мереж доступу й транспортних мереж)

Відносно каналів зовнішніх телекомунікацій вихідний порт комп'ютера й точку виходу локальної мережі розглядають як джерела даних, тобто апаратуру класу DTE. Для сполучування апаратури класу DTE з середовищем передавання (каналами телекомунікацій) необхідно, як відомо, використовувати фізичні інтерфейсні пристрої – апаратуру класу DCE.

Пристрої класів DTE та DCE, які розташовані недалеко один від одного (15 – 20 м), з'єднують між собою провідниками, що формує кола обміну або сигнальні кола. Специфікації електричних сигналів у колах обміну є стандартними інтерфейсами, які відображають стандарти фізичного рівня. До цих стандартів належать стандарти ІТУ серії V.xx й стандарти серії RS-xxx Американської асоціації електронної промисловості (Electronic Industries Association, **EIA**). Стандарти цих серій у багатьох аспектах продубльовано.

Нижче наводимо загальну характеристику найбільш часто використовуваних фізичних інтерфейсів.

## *Фізичні інтерфейси апаратури класів DTE- DCE*

**Інтерфейс V.24/RS-232** є найбільш популярним низькошвидкісним інтерфейсом; підтримує як синхронний, так і асинхронний режими роботи; є послідовним інтерфейсом і забезпечує побітове передавання даних по одній сигнальній лінії на відстань до 15 м зі швидкістю до 10 Кбіт/с. Популярність цього інтерфейсу V.24/RS-232 зумовлена тим, що він використовується у персональному комп'ютері (підтримується СОМ-портом), де він працює в асинхронному режимі та забезпечує під'єднання не тільки модема, а й багатьох периферійних пристроїв ("миші", графобудівника та ін.). У інтерфейсі реалізовано біполярний потенційний лінійний код (+ V,-V) на лініях між DTE та DCE з досить високим рівнем сигналу (12 або 15 В) з метою надійного його розпізнавання на тлі шуму. Асинхронне передавання даних не передбачає необхідності спеціальних сигналів синхронізації, а синхронізувальна інформація міститься безпосередньо в самих кодах даних. У процесі синхронного передавання пристрій DCE передає на DTE сигнали синхронізації, без яких останній не може правильно інтерпретувати потенційний лінійний код.

**Інтерфейс RS-449** підтримує більш високу швидкість обміну даними, синхронний та асинхронний режими їх обміну та забезпечує більшу відстань між DTE та DCE (в окремих модифікаціях до 100 м). Для з'єднання використовують 37 - контактний роз'єм.

**Інтерфейс V.35** розроблено для під'єднання синхронних модемів. Він забезпечує обмін даними між DTE та DCE на швидкості до 168 Кбіт / с на відстані до 15 м.



**Інтерфейс HSSI (High Speed Serial Interface)** забезпечує під'єднання до пристроїв DCE, які працюють на високошвидкісні канали (45 Мбіт/с, 52 Мбіт/с). Даний інтерфейс працює в синхронному режимі.

### *Апаратура з'єднання DTE з фізичним середовищем зовнішнього каналу передавання*

**Модеми.** Пристрої для передавання даних у зовнішні мережі на далекі відстані по виділених чи комутованих лініях. Вибір типу модема залежить від типів абонентського закінчення лінії мережі доступу, ліній зв'язку (виділена, комутована) та транспортної технології.

На аналогових каналах для апаратури передавання даних фізичний і каналний протоколи не є жорстко визначеними. Відсутність фізичного протоколу призводить до того, що пропускна здатність каналу визначається пропускною здатністю модема, який застосовує користувач. Модем також налаштовує потрібний йому протокол фізичного рівня для каналу.

Сучасні модеми мають ряд можливостей, які розширюють сферу їх застосування. Так, *голосовий модем* здатний до перетворювання звукового сигналу у цифровий, який далі передається по лінії зв'язку. Аудіосигнал стискається, наприклад, шляхом адаптивної диференціальної імпульсно-кодової модуляції. На приймальній стороні виконуються зворотні перетворення. За допомогою голосового модему можуть бути реалізовані звукова пошта, автовідповідач та інші мовленнєві функції. Звукове

повідомлення може передаватися електронною поштою або в діалоговому режимі й відтворюватися голосовим модемом через внутрішній динамік або через мультимедійні засоби комп'ютера (звукову карту). Засоби оброблення звукових сигналів дають змогу модему автоматично визначати номер абонента, який здійснює виклик (ABN), розпізнавати сигнали тонального набору номера.

Модеми під час сеансу зв'язку можуть працювати в симетричному, дуплексному або напівдуплексному режимах. Для підвищення ефективної швидкості використовують різні методи стиснення інформації, які можуть бути реалізовані як апаратно, так і програмно.

Для широкосмугового доступу використовують *xDSL-модеми*, що дає змогу перетворити абонентську лінію звичайної телефонної мережі з аналогової на цифрову, а також *кабельні модеми*, призначені для роботи через мережі кабельного телебачення.

**DSU/CSU пристрої** використовують для роботи на цифрових лініях мереж з технологією TDM, які підтримують передавання цифрового потоку на різних швидкостях. Як DCE функціонують два компоненти: *пристрій оброблення даних* (Data Service Unit, **DSU**) і *пристрій обслуговування каналу* (Channel Service Unit, **CSU**) (див. рис. 12.6).

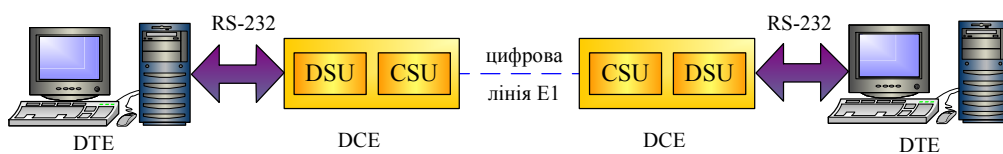


Рисунок 12.6 Під'єднання пристроїв DTE до цифрової лінії

**Термінальний адаптер ISDN** призначено для під'єднання апаратури класу DTE до каналів цифрових мереж ISDN (див. рис. 12.7). Для комп'ютерів –це мережева інтерфейсна карта або окремий пристрій. Термінальний адаптер ISDN дає змогу використовувати інформаційні канали як для передавання даних, так і для телефонного зв'язку. Модуляція-демодуляція в цьому пристрої не виконується, оскільки його інтерфейси з обох боків цифрові. Спеціальне програмне забезпечення може розширити спектр служб (передавання факсів, звуку) й забезпечити підтримку мережевих протоколів.



Рисунок 12.7. Під'єднання DTE до лінії ISDN  
ТА - термінальний адаптер

**Модемний пул** містить декілько модемів, які з боку, зверненого до DTE, об'єднані загальним портом з інтерфейсом локальної мережі (ЛОМ). Кожний модем пулу під'єднується до свого телекомунікаційного каналу. Пристрій уможливорює одночасний доступ кількох зовнішніх користувачів до ЛОМ в режимі дозвону (dial-in) або дає змогу абонентам ЛОМ користуватися індивідуальними виходами в зовнішню мережу (dial-out) (див. рис. 12.8).

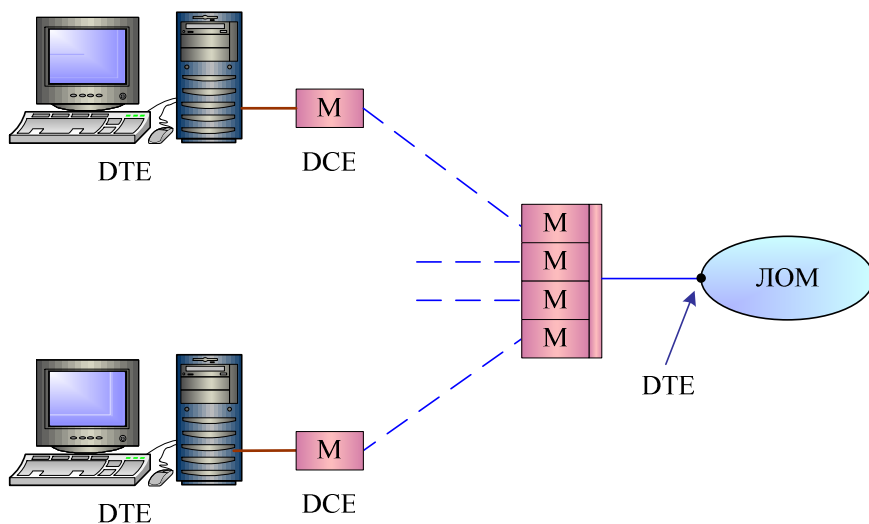


Рисунок 12.8. Використання модемного пулу

**LAN-модеми** – це комбінація в одному пристрої модема й маршрутизатора, яка дає змогу користуватися одним виходом у зовнішню мережу групі абонентів локальної мережі.

**Перетворювачі інтерфейсів** – пристрої, які реалізують перехід від одного середовища передавання до іншого (наприклад, від мідного кабелю до оптоволокна) без логічного перетворення сигналів.

**Оптичні модеми** – модеми для роботи на волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Для роботи IP-протоколу над фізичним рівнем модем повинен підтримувати один із протоколів канального рівня. Організуючи віддалений доступ, найбільш часто використовують **протокол двоточкового з'єднання** (Point-to-Point Protocol, **PPP**), що забезпечує також такі важливі функції, як призначення IP-адреси клієнтському комп'ютеру, а

також автентифікацію користувача. Протокол PPP реалізується засобами мережевих операційних систем.

### *Схема віддаленого доступу «комп'ютер-мережа»*

Схему віддаленого доступу «комп'ютер-мережа» наведено на рисунку 12.9. Дану схему використовують для організації доступу комп'ютерів співробітників, які працюють удома або перебувають у відрядженні, до ресурсів локальної мережі підприємства.



Рисунок 12.9. Схема віддаленого доступу «комп'ютер-мережа»

Комп'ютери клієнтів за допомогою модемів (М) через абонентські лінії під'єднуються до точок присутності телекомунікаційної мережі оператора (POP), у якості якої в даному випадку використано сегмент типу «хмара ТфЗК». Комп'ютери 1 і 2 під'єднано за допомогою виділених ліній (складові канали показані пунктиром), а 5 і 6 – за допомогою комутованих каналів.

З боку локальної мережі підприємства лінії телекомунікаційної мережі під'єднано до пулу модемів, які виконують зворотні операції відносно модемів клієнтських комп'ютерів. Кількість секцій у модемному пулі, які забезпечують зв'язки з виділеними лініями, має відповідати кількості клієнтів, які працюють за ними, а кількість секцій для комутованих зв'язків може бути меншою від кількості клієнтів.

Вихід модемного пулу з'єднано з комп'ютером, який виконує функції **сервера віддаленого доступу (Remote Access Server, RAS)**. **RAS** – це комп'ютерна програма, призначення якої полягає в тому, щоб керувати чергою запитів, які надходять від модемного пулу, а також виконувати функцій маршрутизації трафіку у процесі передавання в локальну мережу.

Якщо необхідно забезпечити керування трафіком у зворотному напрямку (від локальної мережі до клієнтських комп'ютерів), у серверний комп'ютер необхідно інсталювати ще одну програму – **комунікаційний сервер (Communication Server, CS)**.

## *Схема організації доступу до ресурсів глобальної мережі*

На рисунку 12.10 подано компоненти схеми організації доступу користувачів локальної мережі підприємства до ресурсів Інтернету.

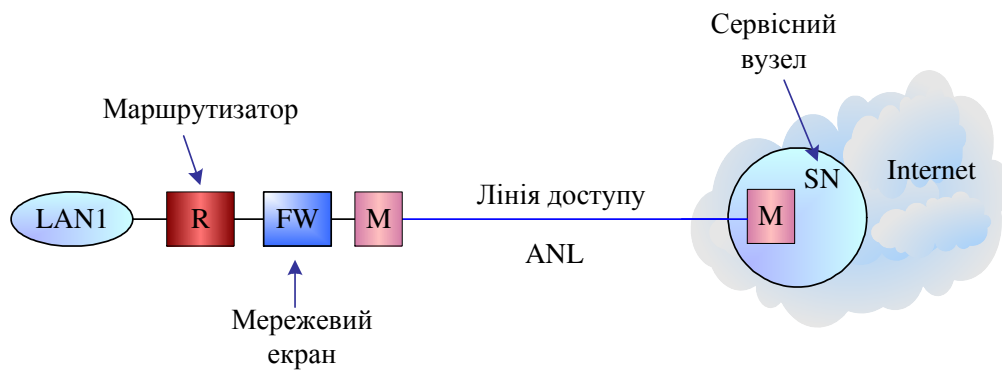


Рисунок 12.10. Схема організації доступу до ресурсів глобальної мережі

Джерелом даних DTE з боку локальної мережі для лінії доступу ANL до сервісного вузла SN інтернет-сервіс-провайдера (ISP) є маршрутизатор R. Він є обов'язковим прикордонним пристроєм на межі локальної та глобальної мереж, оскільки виконує функції розподілу IP-трафіку між ними, а також функції фільтрації пакетів за різними критеріями (конкретним протоколами верхніх рівнів, конкретними адресами призначення). Для посилення функцій фільтрації, забезпечення захисту мережі може бути додано ще один пристрій – **мережевий екран** (Fire Wall, **FW**).

Модем М вибирають відповідно до технологічних особливостей лінії мережі абонентського доступу до сервісного вузла ISP.

Для невеликої локальної мережі (до 75 вузлів) функції маршрутизатора й мережевого екрану може виконувати сервер віддаленого доступу з програмною мультипротоковою маршрутизацією **RRAS** (Routing and RAS), реалізований у середовищі Windows NT і всіх його більш пізніх мережевих версіях. При цьому в сервері задіяно два окремих мережевих інтерфейси: стандартний мережевий адаптер для під'єднання до середовища локальної мережі та модем на виділену лінію для виходу в глобальну мережу. Таким чином, сервер у цьому випадку виконує функції двонаправленого шлюзу. Крім того, в той же серверний комп'ютер може бути інстальовано програмний продукт **Proxy-server**, який дає змогу налаштувати функції фільтрації, а також кешувати найбільш популярні інформаційні ресурси.

#### ***Схема віддаленого доступу «мережа-мережа»***

Для зв'язку двох локальних мереж, наприклад, потоком Е1 по виділеній цифровій лінії, зазвичай, використовують *мости-маршрутизатори*, які ще називають *віддаленими мостами*.

**Віддалений міст** (Remote Bridge, **RB**) – це міст, призначений для передавання даних одного локального сегмента через глобальну мережу в інший локальний сегмент. Він будує таблицю MAC-адрес на основі трафіку, який через неї проходить, і на основі таблиці приймає рішення –



передавати кадри у віддалений сегмент чи ні. Якщо звичайні мости сьогодні майже не застосовують, то віддалені – досить часто. Їх не потрібно конфігурувати, і ця властивість стає дуже корисною у віддалених офісах, де немає кваліфікованого обслуговуючого персоналу.

На рисунку 12.11 наведено схему віддаленого доступу двох локальних мереж з використанням віддалених мостів.



Рисунок 12.11. Схема віддаленого доступу «мережа-мережа»

Взаємодію двох і більше віддалених локальних мереж можна організувати за допомогою телекомунікаційних сегментів типу «хмара», використовуючи транспортні ресурси мереж операторів зв'язку.

Прикладом організації такої взаємодії є побудова корпоративної мережі з територіально віддаленими мережами філій і центральною штаб-квартирою.

Якщо віддалення локальних мереж є значним, наприклад, коли вони розташовані на різних континентах, схема організації транспорту ускладнюється: долучаються мережі операторів декількох рівнів (див. рис. 12.12).

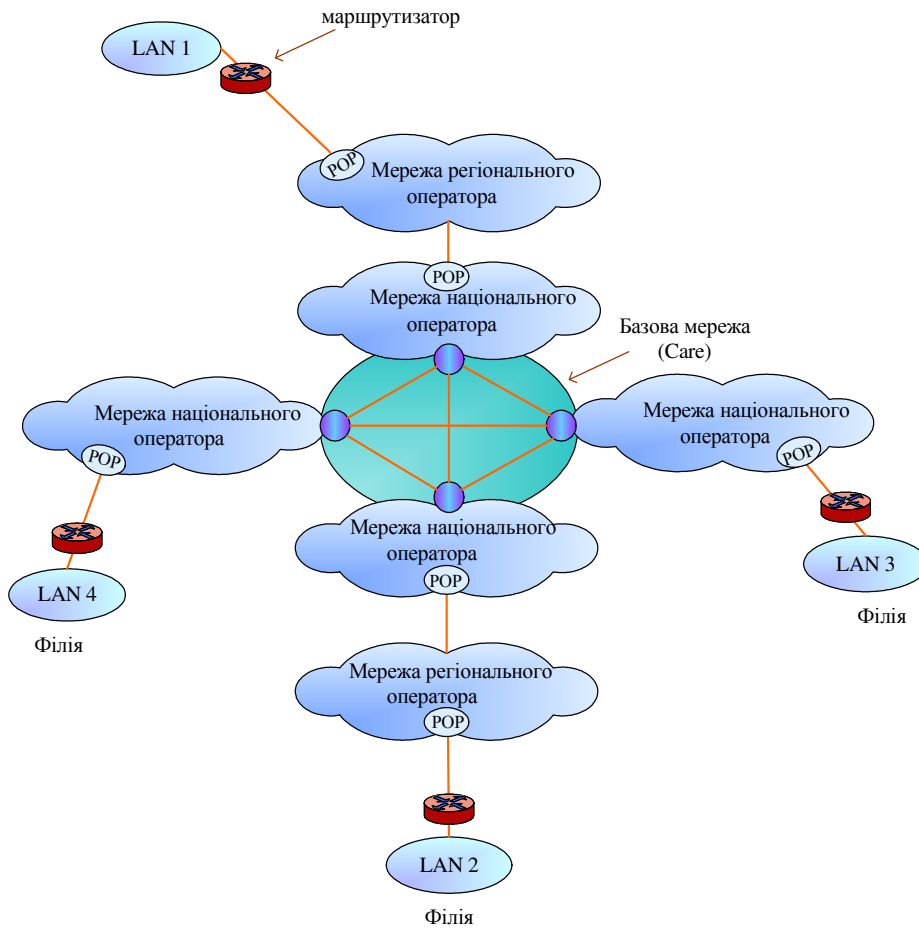


Рисунок 12.12. Об'єднання територіально віддалених локальних мереж через мережі операторів різних рівнів

Оптимізувати мережеву інфраструктуру корпорацій сьогодні досить ефективно можна, використовуючи Інтернет-технологію як універсальний та недорогий спосіб транспортування трафіку корпоративних мереж через публічні мережі. Це дає змогу підприємствам отримати значний вигрaш у використанні смуги пропускання в глобальних сегментах своїх мереж, зменшивши сумарні вимоги до смуги

пропускання. Однак, Інтернет-мережа спочатку створювалася як відкрита загальнодоступна система, а тому не забезпечує захист переданих даних, а також не запобігає несанкціонованому доступу до інформаційних ресурсів корпорацій.

Зазначену проблему вирішують, застосовуючи спеціальні технології, які отримали назву **VPN-технологій** (Virtual Private Networks, **VPN**). Ці технології перетворюють зв'язок через мережі загального користування у віртуально наявні та абсолютно захищені канали. У зв'язку з цим набув поширення термін «**віртуальна приватна мережа**», якій охоплює досить широке коло технологій. Це технології забезпечення захищеного та якісного зв'язку для контрольованої групи користувачів, котрі взаємодіють через Інтернет. Для цього, організовуючи взаємодію мереж філій корпорації та віддалених користувачів з мережею центрального офісу, необхідно лише під'єднати їх до мереж місцевих сервіс-провайдерів. Локальні мережі корпорації в такій ситуації стають природним продовженням Інтернету. Абонентська плата за послуги Інтернету є значно нижчою щомісячних витрат на орендовані у мережних операторів лінії. Крім того, під'єднання нових вузлів у зв'язку з розширенням підприємства є набагато простішим як організаційно, так і технічно.

Застосування VPN-технологій в Інтернеті пов'язують із поняттями «**інтрамережі**» (intranet – сукупність зв'язків усередині корпорації) та «**екстрамережі**» (extranet – взаємодія з підприємствами-партнерами в бізнесі або з постійними клієнтами) (рис. 12.13).

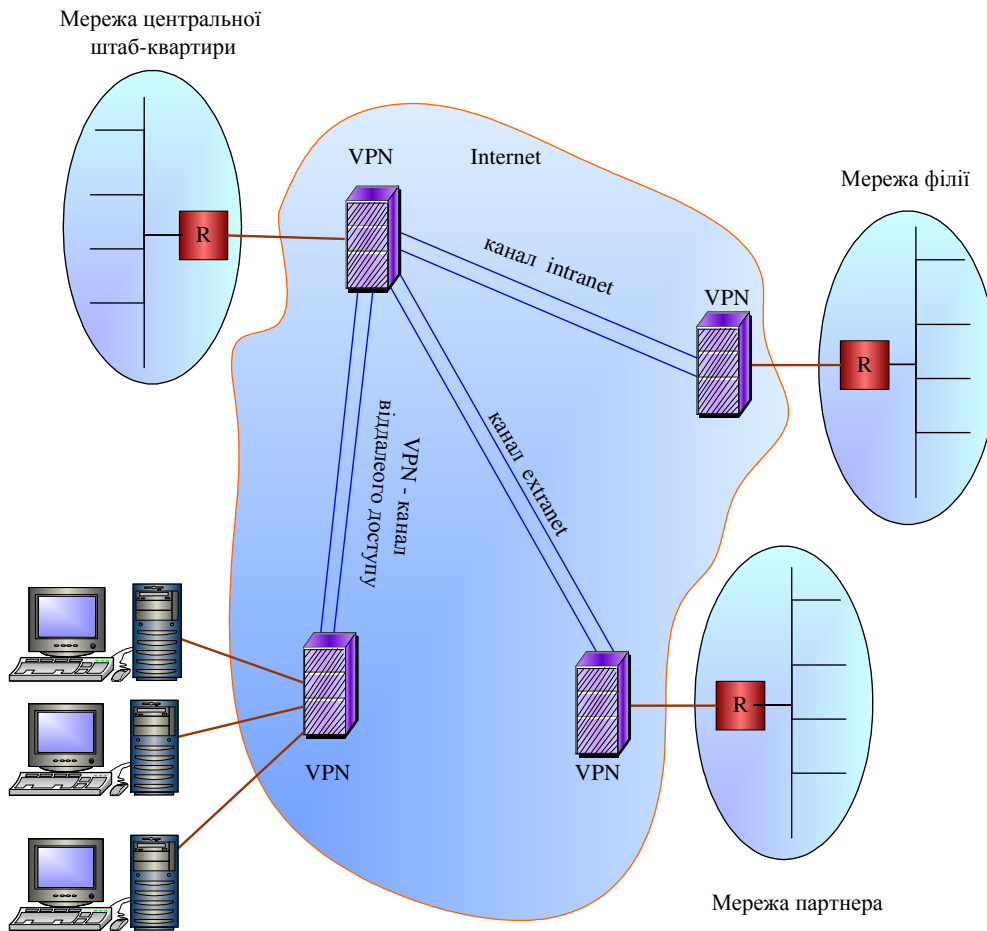


Рисунок 12.13. Корпоративна мережа на основі VPN-технології

Функції найважливішої частини технології VPN спрямовано на *безпеку передавання даних* відкритою публічною мережею. Безпека даних означає їхню *конфіденційність, цілісність і доступність* для легальних користувачів.

Технологічним інструментарієм для вирішенні цього завдання є:

- сучасні методи шифрування, які дають змогу створити криптостійкі системи захисту інформації;
- автентифікація користувачів – процедура підтвердження ідентичності особи, яка є легальним користувачем мережі, заснована на використанні паролів, фізичних ключів, електронних магнітних карт, а також власних біохарактеристик (відбитків пальців, райдужної оболонки очей);
- автентифікація даних, яка підтверджує цілісність даних і їх легальність на основі алгоритмів формування електронного підпису;
- авторизація – процедура надання кожному легальному користувачеві, який успішно пройшов автентифікацію, тих видів доступу й до тих ресурсів, які для нього визначає адміністратор мережі;
- тунелювання – розміщення пакета з даними користувача в «зовнішній оболонці» для транспортування у відкритій мережі, що дає змогу повністю зашифрувати пакет, включаючи його заголовок;
- аудит – процедура фіксації в системному журналі всіх подій, пов'язаних з доступом до захищених ресурсів корпоративної інформації. Записи аудиту використовують у разі виявлення дій зловмисника, щоб вилючати пошкоджені місця в системі захисту та запобігати повторним вломам.

Використання VPN-технологій для організації транспортування даних через публічну мережу заощаджує

підприємству 40% коштів на зв'язках типу «мережа-мережа» й до 80% – у разі під'єднання віддалених користувачів. Ці технології є найбільш перспективними технологіями, які використовують різні компанії в багатьох країнах світу. Їх перспективність доведено також у зв'язку з назрілою необхідністю переходу від Інтернету до *публічної мережі наступного покоління* (New Public Network, **NPN**), яка уможливить користувачам роботу в реальному масштабі часу та віртуальну присутність у будь-якій точці земної кулі.

#### **12.4. Еволюція сервісів Carrier Ethernet**

Очевидні переваги технології Ethernet, високий рівень масштабування за рахунок ієрархії швидкостей і широкого спектру протоколів взаємодії, висувають її на передній план еволюційного розвитку транспортних мережевих технологій у період переходу до NGN. Значну роль у цьому відіграють щораз вибагливіші потреби корпоративних клієнтів у недорогому, широкосмуговому й якісному транспортуванні інформаційних потоків. Як відомо, понад 90% трафіку корпоративних клієнтів складає саме трафік Ethernet.

Ідея розширення технології Ethernet до масштабів MAN і WAN породила поняття **Carrier Ethernet** (переносник Ethernet) і є досить простою у реалізації.

Технологія Carrier Ethernet дає змогу ефективно передавати кадрами Ethernet усі основні види трафіку (голос, відео, дані) й створювати в транспортних мережах *METRO транкові з'єднання будь-якої пропускної здатності* (до 80 Гбіт/с).

Сполучування корпоративних мереж Ethernet з транспортними мережами не є надскладним, оскільки використовується єдиний формат даних на основі кадрів Ethernet. Крім того, обладнання транспортних мереж забезпечує інтерфейси Ethernet різного рівня ієрархії й підтримку механізмів QoS, таких, як диференційоване обслуговування та MPLS. Наявність оптичних інтерфейсів (GE, 10GE) дає змогу організувати роботу на відносно великій відстані (понад 90 км).

Використання GE, 10GE для побудови транспортних мереж METRO є, до того ж, найбільш економічно доцільним рішенням, оскільки дає можливість відмовитися від спеціального каналоутворювального устаткування та застосовувати маршрутизувальні комутатори Ethernet магістрального рівня як обладнання опорних і транзитних вузлів.

Типова інфраструктура Carrier Ethernet має ієрархічну схему й містить рівень доступу, розподілення та ядра (див. розділ 3.3). Ядро мережі побудовано на високошвидкісних маршрутизувальних комутаторах, що забезпечує високу швидкість передавання трафіку. Рівень розподілення – на комутаторах меншої продуктивності, цей рівень забезпечує агрегацію потоків під'єднань рівня доступу, реалізацію сервісів та збір статистики. Залежно від масштабу мережі, ядро й рівень розподілення можуть об'єднуватися. Рівень доступу здійснює під'єднання корпоративних клієнтів, офісних будівель, домашніх мереж (SOHO) та інших клієнтів.

Наступним етапом розвитку технології Carrier Ethernet стали стандарти **IEEE 802.1ad** (провайдерський міст), **IEEE**

**802.1ah** (провайдерський магістральний міст), який можливо буде інтегровано у стандарт **IEEE 802.1Qay** (провайдерський магістральний міст з обхідними напрямками).

Дана технологія також використовує стандарт **IEEE 802.1Q** (віртуальних локальних мереж), технологію MPLS та їх комбінації. Вибір комбінації специфікацій у кожному конкретному випадку обумовлюється типом трафіку, який передається, та масштабом мережі.

Carrier Ethernet використовують для організації «мостів» між провайдерами або сегментами VLAN різних локальних мереж, а також сегментами MPLS.

### *Технологія VPLS*

Технологія **сервіса віртуальних ЛОМ** (Virtual Private LAN Service, **VPLS**) забезпечує формування VPN у процесі з'єднання двох віртуальних локальних мереж Ethernet (VLAN) через «хмару» MPLS (див. рис. 12.14). При цьому кадри Ethernet, які несуть інформацію про внутрішні VLAN, з однієї локальної мережі без яких-небудь змін транспортуються через мережу оператора в іншу локальну мережу. Такої прозорості можна досягти, інкапсулюючи кадри Ethernet та використовуючи технологію MPLS. Іншими словами, технологія MPLS забезпечує створення тунелів у мережі оператора, які є незалежними від трафіку локальних мереж. Недопущення перевантажень й забезпечення необхідної якості обслуговування покладають на засоби технології MPLS.



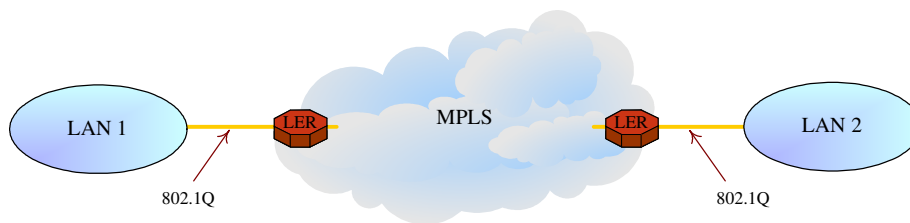


Рисунок 12.14. Зразок організації VPLS

Основна перевага технології VPLS – це її простота. Замовникам не потрібно під'єднуватися до IP-мереж і налаштовувати складні протоколи маршрутизації, вони лише використовують прості з'єднання Ethernet.

Віртуальну мережу (VPN), сформовану на основі стандартів Ethernet і MPLS, називають **VPN другого рівня**. Оскільки для забезпечення якості в VPLS у мережі MPLS формується VLAN, то дані, які надходять на LER, доповнюються заголовком стандарту IEEE 802.1Q (VLAN2). Таким чином, якщо в транспортованому трафіку вже використано VLAN (VLAN1), то утворюються дві вкладені VLAN.

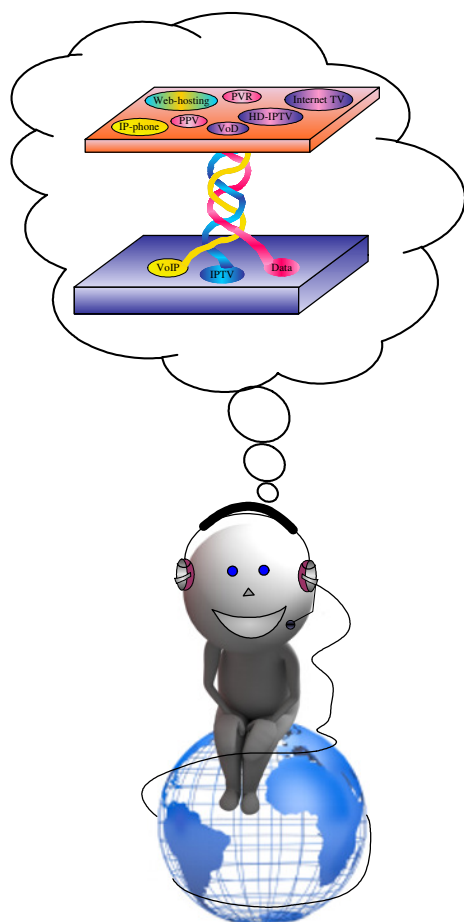
Незалежно від конфігурації мережі оператора, на виході з мережі кадри локальної мережі відновлюються до початкового типу, зокрема з наявністю мітки VLAN1. Це гарантує замовникові цілковиту незалежність від конфігурації мережі оператора, що є найважливішою функцією будь-якої послуги зі створення віртуальних приватних мереж (VPN).

У результаті розвитку технології VPLS виникла так звана технологія **Q-n-Q**, яка дає змогу використовувати простий і зручний механізм VPLS для створення великої кількості віртуальних з'єднань між користувачами різного рівня.

## Контрольні питання

1. У чому полягає основне призначення мереж підприємств? Яка їхня відмінна особливість?
2. Охарактеризуйте термінальне обладнання мереж підприємств.
3. Чому технологія Ethernet є провідною серед технологій локальних сегментів?
4. Перерахуйте «інтелектуальні» функції комутаторів Ethernet.
5. Що таке домен широкомовного трафіку?
6. Які переваги використання технології VLAN?
7. Охарактеризуйте способи організації VLAN.
8. Що розуміють під структурованою кабельною системою (СКС)?
9. Перерахуйте чинні стандарти СКС.
10. Яким принципам згідно зі стандартами повинна відповідати СКС?
11. Охарактеризуйте схему структуризації СКС.
12. Що називається застосуваннями СКС?
13. Що являють собою класи застосувань за стандартом ISO/IEC 11801?
14. Чим визначаються категорії кабелів і роз'ємів?
15. Охарактеризуйте основні підсистеми та обмеження в кабельній підсистемі, передбачені стандартами СКС.
16. Назвіть ситуації, в яких виникає необхідність організувати віддалений доступ.
17. Перерахуйте фізичні інтерфейси сполучування апаратури класів DTE-DCE.

18. Охарактеризуйте апаратуру сполучування DTE з фізичним середовищем зовнішнього каналу передавання.
19. Відтворіть основні схеми організації віддаленого доступу.
20. У чому полягає відмінність понять «інтрамережі» та «екстрамережі»?
21. Що розуміють під технологією Carrier Ethernet?



## Частина III

### Мережеві служби.

### Послуги мережі.

### Мережеві

### застосування

**Розділ 13.** Загальні поняття та визначення

**Розділ 14.** Мережеві служби

**Розділ 15.** Послуги мережі

**Розділ 16.** Конвергентні платформи надання послуг

**Розділ 17.** Відкритий доступ до послуг

**Розділ 18.** Мережеві застосування

## Розділ 13. Загальні поняття та визначення

### 13.1. Послуги, служби та програми

Англомовний термін «**Service**» у перекладній технічній літературі часто трактують синонімічно до понять «послуга», «служба», «обслуговування» та «сервіс». Однак, рекомендовано все ж таки розрізняти ці поняття.

**Послуга** – це надана мережею можливість задовольнити телекомунікаційні та/або інформаційні (або ті та інші одночасно) потреби користувача.

Послуга є продуктом мережі, який має вартість, що залежить від її типу й якості, і який споживає користувач мережі.

**Службою мережі** називають комплекс апаратних, програмних ресурсів мережі, а також організаційних засобів, задіяних для виробництва і надання конкретної послуги або виду послуг.

Таким чином, на відміну від послуги, служба є можливістю мережі (тобто мережевою компонентою), а не продуктом мережі.

Під термінами «**сервіс**» і «**обслуговування**» розуміють специфікацію (Specification) послуг, які надає мережа, а саме:

- спектр додаткових видів обслуговування;
- функціональну повноту (специфічних особливостей послуги);
- клас обслуговування (рівень комфортності послуг);
- якість обслуговування QoS (Quality of Service).

**Застосовання** (Application) – це програми користувачів прикладного рівня, які підтримує мережа.

Застосовання може бути *автономним* (наприклад, навчальний курс, скачаний з Інтернет). Таке застосовання користувач отримує аналогічно як і послугу, але у вигляді кінцевого програмного продукту, який можна потім багаторазово використовувати.

Окрім того в мережі можуть виконуватися й розподілені застосовання. Розподілене застосовання містить декілька частин, кожна з яких виконує певну закінчену роботу для розв'язання прикладної задачі (наприклад, система дистанційного навчання, система електронної комерції та ін). Розподілені застосовання в повному обсязі використовують можливості мережі для організації взаємодії своїх компонентів, а тому їх називають **мережевими застосованнями**.

Прикметно, що індустрія телекомунікацій історично розвивалася у напрямку розширення спектру послуг зв'язку, водночас індустрія інформаційних технологій з самого початку була спрямована надавати послуги у формі застосовань.

### **13.2. Категорії клієнтів та абонентів мережі**

**Користувачів** (Users) мережі поділяють на *клієнтів* та *абонентів*, що визначається порядком їх взаємодії з мережею.

Так, якщо клієнт звертається до мережі за одноразовим споживанням послуги та сплачує тільки за спожиту послугу, то абонент взаємодіє з мережею на контрактній основі з передплатою споживаних послуг.

Залежно від виду та наборів споживаних послуг усіх користувачів (клієнтів та абонентів) умовно поділяють на три категорії:

- користувачі на роботі;
- користувачі вдома;
- користувачі в дорозі.

У діловому секторі (в установах, офісах) з усіх видів послуг найбільш споживаними є послуги телефонії, доповнені секретарськими послугами (наприклад, накопичення інформації про дзвінки, повідомлення про номер абонента та ін.), послуги аудіо-і відеоконференц-зв'язку, голосової пошти, а також послуги, пов'язані з передаванням текстів, даних, факсимільних повідомлень.

Вимоги до послуг зв'язку в домашньому секторі висувують не в такому обсязі, як у діловому, однак і вони є досить чіткими і зумовлені різними факторами. Збільшується кількість приватних ділових заходів (взаємодія з банком, страховою компанією, придбання товарів), зростає вільний час, зростає потреба в безпеці. Найбільш споживаними в побуті є такі послуги, як: відео за запитом, послуги індустрії розваг (ігри, музичні шоу), освіти, телефонії, електронної пошти, дистанційне керування та контроль комунальних систем і домашньої апаратури, оповіщення про небезпеку, аварійні виклики. Останнім часом виник також інтерес до послуг мультимедіа (одночасного передавання зображення, звуку та даних).

Рухливі користувачі споживають в основному послуги телефонії, однак, важливе значення має й одержання контент-послуг (наприклад, про стан дорожнього руху, карт і плану міста для орієнтації під час руху, можливих місць паркування транспорту та ін.).

### **Контрольні питання**

1. У чому полягає призначення сервісу прикладного рівня, хто є його споживачем?
2. Поясніть терміни «послуга мережі», «служба мережі», «обслуговування мережею».
3. Що розуміють під «автономним застосуванням» і «мережевим застосуванням»?
4. Чим відрізняються такі категорії користувачів, як «клієнти» та «абоненти»?
5. Які ще категорії користувачів можна виділити?



## Розділ 14. Мережеві служби

### 14.1. Хронологія розвитку мережевого сервісу

Розглянемо хронологію розвитку мережевого сервісу, подану на рисунку 14.1



Рисунок 14.1. Хронологія розвитку мережевого сервісу

На ранньому періоді розвитку зв'язку (у рамках концепції ЄАМЗ) для надання конкретного виду послуг на базі первинної мережі будували окремі, спеціально для цього призначені вторинні мережі. Прикладами таких мереж є комутована телефонна мережа загального користування (ТфЗК), телеграфна мережа загального користування (ТлгЗК), загальнодержавна мережа передавання даних (мережа ПД), мережа факсимільного зв'язку, мережа передавання програм телевізійного мовлення та ін. На цьому етапі поняття служби ідентифікували з призначенням і типом мережі.

З появою так званих *телематичних служб* поняття служби набуває більш конкретного й самостійного значення.

**Телематичні служби** є прикладом розширення спектру послуг на основі наявних мереж. Такими службами є *телефакс* (використання каналів телефонної мережі для факсимільного

способу передавання повідомлення), *датафакс* (використання каналів мережі передавання даних факсимільним способом), *телекс* (поєднання можливостей конторської друкарської машинки з передаванням текстових повідомлень каналами мереж електрозв'язку), *відеотекс* (інформаційно-довідкова служба, що обслуговує запити користувачів на інформацію з банків даних), *телетекст* (доповнення TV–програм інформацією, що передається під час зворотного ходу променя кадрової розгортки телевізійного сигналу). Організація телематичних служб передбачала створення деяких конкретних технічних платформ надання послуг, які забезпечують передавання «чужого» (відносно до використовуваної мережі) трафіку.

На етапі цифрування мереж електрозв'язку виникла можливість надання різних послуг на основі єдиної інтегрованої мережі як загального телекомунікаційного середовища для передавання будь-яких інформаційних повідомлень, поданих у цифровому коді. Це зумовило інтеграцію й самих служб, що визначено в концепції цифрових мереж інтегрального обслуговування ISDN.

Поява інтегральної мережі ISDN спонукала до проведення значних робіт зі стандартизації та міжнародних угод. Міжнародні рекомендації в цій сфері розробляв Сектор зі стандартизації телекомунікацій ІТУ-Т. Зокрема, відповідно до положень Рекомендації І.112, служби в інтегрованій мережі розділено на дві групи, які не залежать від форм зв'язку. Це *служби передавання й телеслужби*.

**Служби передавання (Bearer Service)** забезпечують прозоре транспортування інформації тільки між інтерфейсами

точками мережі, в яких забезпечується під'єднання абонентів, і не несуть відповідальність за сумісність функцій зв'язку кінцевих пристроїв користувачів. Цю відповідальність у даному випадку цілком покладають на користувачів, які придбали термінальні пристрої.

**Телеслужби** (Teleservice) призначено для надання зв'язку «користувач-користувач» з підтримкою функцій зв'язку користувачьких терміналів, забезпечуючи їх сумісність.

Служби передавання, таким чином, реалізують функції трьох нижніх рівнів моделі OSI/ISO, а телеслужби, в загальному випадку, – всіх семи рівнів цієї моделі.

Пізніше ІТУ-Т вводить термін «**телекомунікаційний сервіс**», який не застосовували раніше до спеціалізованих мереж. Під цим терміном розуміють задоволення мережею специфічних вимог користувачів до зв'язку, поєднуючи як різні послуги, так і забезпечення різних видів зв'язку з наданням каналів, різних за швидкостями, за середовищем передавання (провідні, бездротові) і принципом надання користувачеві (на час передавання або оренди на тривалий час) та ін.

Для телекомунікаційного сервісу також визначено два типи: *опорний сервіс* (Bearer Service) та *телесервіс* (Teleservice), які є аналогічними до функцій служб передавання й телеслужб, відповідно розвиваючи та доповнюючи їх.

Інтеграція обчислювальної техніки в мережеву середовище, впровадження електронних комутаційних систем дало змогу розширити *функціональність* послуг, а саме: надавати користувачам послуги не тільки в *ординарній формі*

(із стандартним набором функцій), але й з *розширеним набором функцій*, що забезпечує підвищення їх якості та зручність зв'язку. Наприклад, скорочений набір номера для абонентів, яких викликають, повідомлення про надходження виклику з індикацією, переадресація виклику, оплачування послуги (або її частини) абонента, зазначення дати й часу налаштування з'єднання, виявлення абонентів, які здійснюють зловмисні виклики та ін.

Розширений набір функції послуг, які надаються, дійств назву **«додаткові види обслуговування» (ДВО)**. ДВО використовують тільки за відповідною заявою користувача й для різних груп абонентів вони можуть бути різними.

Розподіливши види обслуговування на основні та додаткові, можна організувати новий принцип надання послуг користувачам, при якому послуга основного виду може бути доповнена одним або кількома ДВО, залежності від запиту користувача.

Виокремлення механізму формування послуг у нову функціональну підсистему стало початком **інтелектуалізації** мереж. Реалізація концепції інтелектуальної мережі **IN** передбачала широке використання елементів штучного інтелекту, синтезаторів і розпізнавачів мови та ін. Слід зазначити, що технологію IN можна реалізувати на основі будь-якої мережі, але найбільш ефективною вона є для використанні технологічної інфраструктури цифрових мереж (зокрема, ISDN).

Концепція інтелектуальної мережі IN передбачає динамізм спектру послуг, коли доцільно вже класифікувати окремі складові послуг та застосовань, які дають змогу

компонувати будь-який вид послуги на запит користувача із зазначених складових як *незалежних* від виду обслуговування й один від одного *функціональних блоків* SIB (Service Independent Block ).

Широкопasmугова інтегрована мережа, яка підтримує всі класи сервісу дійстала назву «*мультисервісна мережа*». Вона розробляється в рамках концепції мереж наступного покоління (NGN).

**Мультисервісна мережа** (Multi-service Network) – це мережа з гнучкими можливостями для організації різних служб, які уможливають надання необмеженого набору послуг. Мережеві служби в мультисервісній мережі є системними розподіленими програмами і невід'ємними компонентами мережевої операційної системи. За цими розподіленими програмами закріплено назви як «**мережні служби**», так і «**мережеві сервіси**». Забезпечення користувачів спільним доступом до певного мережного ресурсу називають **наданням сервісу**. Мережеві сервіси, які реалізовані програмно, є об'єктами прикладного рівня моделі OSI/ISO. Мережева операційна система, зазвичай, підтримує декілька видів мережевих сервісів для користувачів, таких, наприклад, як: файловий сервіс, сервіс електронної пошти, сервіс друку, сервіс віддаленого доступу та ін.

#### **14.2. Специфікація служб за режимами надання послуг користувачам**

Існує специфікація мережевих служб, яка не залежить від загальної концепції побудови мережі зв'язку й функцій

кінцевих пристроїв, але яка конкретизує режим обслуговування користувачів. У зв'язку з цим виокремлюють три категорії служб: *діалогові*, *інтерактивні* та *дистрибутивні* (з розгалуженим режимом роботи або мовні) служби.

**Діалогові служби** (on-line service) забезпечують двобічний обмін інформацією в *реальному масштабі часу* (без проміжного накопичення) між користувачами або між користувачем і ЕОМ. Діалогові служби можна застосовувати для передавання мовленнєвих повідомлень, відео-повідомлень, даних.

**Інтерактивні служби** (off-line service) містять *служби з накопиченням, служби за запитом*.

**Служби з накопиченням** призначено для непрямого зв'язку між користувачами за допомогою проміжного зберігання інформаційних повідомлень. Проміжне зберігання здійснюється в центральних пристроях мережі, так званих електронних поштових скриньках, з яких повідомлення можуть бути забрані адресатами самотужки або автоматично переправлятися мережею відповідно заздалегідь визначених умов абонентів, наприклад, під час дії пільгових тарифів. Служби з накопиченням можна використовувати для передавання мовленнєвих, аудіо-, відео-повідомлень, тексту, даних. У зв'язку з цим виникли поняття «голосова пошта», «відеопошта» та ін.

**Служби за запитом** (service on demand) дають можливість користувачеві отримувати інформацію (контент) з різних центрів накопичення інформації в мережі. Прикладом отримання контенту є «скачування» аудіо-, відео- та мультимедійних файлів з подальшим їх відтворенням на

термінальному пристрої користувача, який ініціалізує запит. У даному випадку за запитом користувача фактично реалізується режим мовлення на одну адресу за схемою «точка – точка». Такий режим мовлення має назву **«режим негрупового розсилання»** (Unicast).

**Дистрибутивні служби** (distribution service) забезпечують розподілення повідомлень від одного джерела інформації до будь-якої кількості абонентів, які мають право на прийом. У цьому випадку реалізується режим мовлення. За допомогою дистрибутивних служб, наприклад, реалізують роботу засоби масової інформації (ЗМІ). Користувач може приймати потік повідомлень у будь-який момент часу, але він не може впливати ні на час його проходження, ні на його зміст. Такий режим мовлення називають **режимом групового розсилання** (Multicast), реалізований за схемою «точка – багато точок». Класичними прикладами надання таких послуг є звукове та телевізійне мовлення в мережі. Однак можливим є застосування цього режиму також для інших видів повідомлень, наприклад розсилання рекламних роликів, факсимільних повідомлень, даних.

Інтерактивні й дистрибутивні служби, залежно від вимог до сумісності, можуть пропонувати Адміністрації та оператори мережі як телеслужби та як служби передавання.

### **14.3. Аспекти якості обслуговування**

Аналіз вимог до оцінювання *якості функціонування мереж зв'язку* свідчить про наявність двох підходів до розгляду цієї проблеми.

Мережа є лише інструментом, який люди використовують для спілкування на відстані. Створення мережі не є самоціллю. Її будують для користувачів, а, отже, вона має відповідати їх побажанням, вимогам та очікуванням. Саме вимоги користувачів визначають топологію мережі, транспортні протоколи, апаратне та програмне забезпечення, а також вимоги до якості її функціонування. Проте, користувач сприймає мережу поверхнево, а розробник бачить зсередини. Тому для повноцінного аналізу вимог до якості функціонування мережі необхідно поєднати бачення, сприйняття користувачів та розробників.

Користувач бажає не мати затримок, потребує стійкості до помилок, безпеки, безкоштовного користування послугами тощо, іншими словами сподівається максимально використати всі переваги мережеских рішень за *найвищою якістю обслуговування*.

А розробник повинен розглядати ці вимоги професійно-технічно. Необхідно пам'ятати, що вимоги користувачів до мережі змінюватимуться в процесі експлуатації мережі. Але, незважаючи на це, одним із основних показників, на якому повинен зосередити свою увагу розробник, є характеристика *мережесового трафіку*.

### ***Характеристика мережесового трафіку***

Можна виокремити такі характеристики трафіку.

**Одиниця даних** - це можуть бути біти, байти, октети, повідомлення, блоки. Дані пакують у файли, пакети, кадри, комірки, дані можна також передавати без пакування.



**Швидкість передавання** вимірюють кількістю одиниць даних за одиницю часу. Наприклад, пакети в секунду, байти в секунду та ін. Швидкість також визначає час, необхідний для передавання одиниці даних мережею.

Реальний розмір переданих мережею даних складається з безпосередньо даних і необхідного інформаційного обрамлення (заголовків протоколів), що складають “накладні витрати” на передавання.

**Характер роботи застосовань** у мережі визначають такими показниками:

- вибухоподібність;
- терпимість до затримувань;
- необхідна пропускна здатність;
- чутливість до втрачання пакетів.

**Вибухоподібність** визначає темп посилення порцій трафіку в мережу. Чим нерегулярніше надходять порції інформації в мережу, тим вибухоподібність є вищою. Такий потік даних називають *неізохронним*. Якщо порції надходять регулярно (в одному темпі), показник вибухоподібності дорівнює нулю – потік є *ізохронним*.

Вибухоподібність оцінюють відношенням пікового значення трафіку до середнього за період спостереження.

**Терпимість до затримувань** характеризує реакцію застосовань на всі види затримок у мережі.

Можна умовно розділити трафік на три категорії, які відрізняють за вимогами до затримувань:

- *трафік реального часу* – аудіо та відео трафік. Вимога до затримувань не перевищує 0.1 с, разом з часом на оброблення на кінцевій станції. Крім того, затримування повинні мати невеликі коливання в часі, так званий «малий джитер» (ефект «тремтіння», зведений до нуля). Трафік даної категорії особливо чутливий до незначних недоліків передавання у процесі стиснення. Низькоякісне аудіо допускає затримування 0.1 ÷ 0.15 с. Відео – 30 мс;
- *трафік транзакцій* допускає затримування до 1 с. Робота користувача в режимі запит-відповідь, якщо затримування є довготривалим, знижує продуктивність праці, тому що користувач змушений переривати роботу, очікуючи відповіді. Різниця в значеннях затримування призводить до дискомфорту в роботі. У деяких випадках тривале затримування стає причиною переривання сесії та необхідності її відновлення:
- *трафік даних* працює з будь-яким затримуванням (навіть до декількох десятків секунд). Величина затримування в цьому випадку залежить від смуги пропускання, тому що програми, які передають великі файли намагаються захопити всю вільну смугу.

**Чутливість до втрачання пакетів.** За цією ознакою застосовання, звичайно, поділяють на дві групи:

- чутливі до втрачання застосовання. Практично всі застосовання, які передають алфавітно-цифрові дані (до яких належать текстові документи, коди програм, числові масиви тощо), мають високу чутливість до

втрачання окремих, навіть невеликих, фрагментів даних. Такі втрати часто стають причинами знецінення усієї отриманої інформації. Наприклад, відсутність хоча б одного байта в кодї програми унеможлиблює її працездатність. Усі традиційні мережеві застосовання (файловий сервіс, сервіс баз даних, електронна пошта та ін.) є застосованнями такого типу;

- стійкі до втрачань застосовання. До цієї групи належать багато застосовань, трафік яких подає інформацію про інерційні фізичні процеси. Стійкість до втрачань пояснено тим, що невелику кількість даних можна приблизно відновити на основі прийнятих. Так, втративши один пакет з кількома послідовними вимірами голосу, відсутні заміри під час відтворення голосу можна замінити апроксимацією на основі сусідніх значень. До такого типу належить велика кількість застосовань, які працюють з мультимедійним трафіком (аудіо та відео програми). Однак стійкість до втрачань має свої межі, тому відсоток втрачених пакетів не може перевищувати певний рівень, наприклад, 1%. Варто зазначити також, що не будь-який мультимедійний трафік є стійким до втрачань даних, зокрема дуже чутливими до них є стиснутий голос або відео.

Узагальнюючи вищевикладене, можна констатувати, що в мережі необхідно гарантувати пропускну здатність, час реакції мережі та інші параметри. Таку технологію було

розроблено, вона отримала назву **служба якості обслуговування** (Quality of Service, **QoS**).

QoS застосовує розподілення трафіку за категоріями й призначенням пріоритетів для кожної з них. Це дає змогу гарантувати трафіку з великим пріоритетом кращі умови передавання через мережу, незалежно від вимог до пропускної здатності трафіків менш важливих застосовань. Технологію QoS можна застосовувати також для визначення вартості послуг із урахуванням мережевої продуктивності.

### *Служба QoS*

Служба QoS забезпечує якості обслуговування для різних типів застосовань. Вона має розподілений характер, так як її елементи повинні бути наявними у всіх мережевих пристроях, які просувають пакети: комутаторах, маршрутизаторах, серверах доступу. А також у службі QoS необхідними є елементи централізованого керування, оскільки роботу окремих мережевих пристроїв, які підтримують QoS, потрібно координувати, щоб якість обслуговування була однаковою вздовж усього шляху, яким слідує пакет. Будь-які гарантії QoS є настільки гарними, наскільки їх забезпечує найбільш "слабкий" елемент у ланцюжку між відправником і одержувачем. Тому підтримка QoS тільки в одному мережевому пристрої, навіть у магістральному, може незначно поліпшити якість обслуговування або ж зовсім не впливати на параметри QoS.

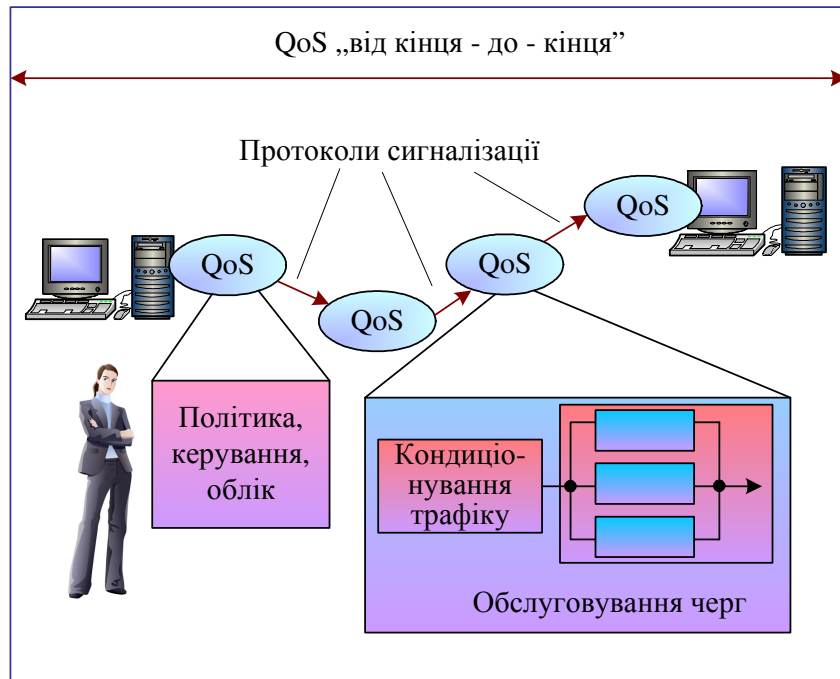


Рисунок 14.2. Базова архітектура служби QoS

На рисунку 14.2 наведено базову архітектуру служби QoS з елементами трьох основних типів:

- засобів QoS- вузла;
- протоколів сигналізації QoS;
- централізованих функцій політики, керування та обліку QoS.

Засоби QoS-вузла – основний виконавчий механізм служби QoS, тому що саме вони безпосередньо впливають на процес просування пакетів між вхідними й вихідними інтерфейсами комутаторів та маршрутизаторів, а отже, визначають вплив цього пристрою на характеристики якості

обслуговування мережі. Засоби QoS вузла можуть містити компоненти двох типів:

- механізми обслуговування черг;
- механізми кондиціонування трафіку.

*Механізми обслуговування черг* є необхідним елементом будь-якого пристрою, що працює за принципом комутації пакетів. Коли швидкість надходження трафіку стає вищою від швидкості його просування, виникають черги. Саме в такі періоди є необхідними механізми обслуговування черг: варіюючи вибіркою пакетів, вони впливають на час їх перебування в черзі, а значить, і на величину затримування, яка є одним із найважливіших параметрів якості обслуговування. За замовчуванням у мережевих пристроях черги обслуговуються за найпростішим алгоритмом FIFO (першим прийшов – першим обслугован), що є достатнім тільки для реалізації обслуговування "якщо це можливо". Підтримування повноцінного обслуговування QoS потребує більш складних механізмів, які обробляють кілька класів потоків, наприклад алгоритми пріоритетного або зваженого обслуговування.

*Механізми кондиціонування трафіку* вирішують завдання створення умов для якісного обслуговування трафіку інакше: не шляхом вибору оптимального алгоритму обслуговування черги, а за рахунок її скорочення. Скоротити чергу можна, впливаючи на вхідний трафік: наприклад, уповільнити надходження потоку в даний вузол, зменшити його нерівномірність тощо

Механізми кондиціонування трафіку можна реалізувати в кожному вузлі мережі або тільки в прикордонних пристроях. Останній варіант часто використовують провайдери, кондиціонуючи трафік своїх клієнтів.

*Протоколи сигналізації QoS* застосовують для того, щоб механізми QoS у окремих вузлах могли обмінюватися службовою інформацією для координації зусиль у забезпеченні параметрів якості обслуговування на всьому шляху проходження потоку, тобто "з кінця в кінець". Наприклад, за допомогою засобів сигналізації застосування може зарезервувати собі вздовж усього маршруту слідування до потрібного пункту середню пропускну здатність (для мереж IP цю функцію підтримує протокол RSVP).

Один з примітивних засобів сигналізації – маркування пакету ознакою з інформацією про необхідну для нього якість обслуговування. Переміщаючись від пристрою до пристрою, пакет переносить уздовж шляху проходження свої вимоги до якості обслуговування.

Ініціювати роботу протоколу сигналізації може не тільки кінцевий вузол, але й проміжний пристрій. Наприклад, межовий маршрутизатор в мережі сервіс-провайдера може виконати класифікацію трафіку і зарезервувати для даного потоку деяку пропускну здатність. У цьому випадку координація мережевих пристроїв відбуватиметься не на всьому шляху проходження трафіку, а тільки в межах мережі цього сервіс-провайдера, що, звичайно, знижує якість обслуговування трафіку.

Централізовані функції політики, керування та обліку QoS не є обов'язковими в архітектурі служби QoS, але їх

наявність є потрібною у великих мережах. Кожен користувач і кожне застосування потребують обслуговування з максимально високим рівнем якості (наприклад, пропускну здатністю). Отже, необхідними є засоби, за допомогою яких адміністратор міг би визначати раціональний рівень якості обслуговування для окремих користувачів та застосовань, або для їх груп. Функції політики дають змогу адміністратору створювати правила, за якими мережеві пристрої можуть формально, на основі набору ознак, розпізнавати окремі типи трафіку й застосовувати до них певні можливості QoS.

Правила можна конфігурувати та зберігатися окремо в кожному мережевому пристрої. Однак це вимагає від адміністратора великої мережі значних зусиль та стає причиною виникнення великої кількості помилок, що порушує узгоджену роботу мережевих пристроїв.

Для великої мережі централізація засобів QoS є закономірною та очевидною. У цьому випадку спільні правила, чинні для всіх пристроїв мережі, зберігають на *сервері політики* (чи декількох серверах, що дає змогу забезпечити надійність і продуктивність системи підтримки політики). Адміністратор конфігурує правила в одній точці, що зменшує витрати його праці й кількість помилок. Потім спеціальний протокол інформує про них усі мережеві пристрої, які підтримують якість обслуговування, а ті, у свою чергу, застосовують їх для кондиціонування трафіку та керування чергами відповідно до вказаних параметрів.



## Контрольні питання

1. Коротко охарактеризуйте хронологію розвитку мережевого сервісу.
2. Поясніть специфіку телематичних служб?
3. На якому етапі розвитку мереж почалася інтеграція служб?
4. Поясніть поняття «служби передавання» , «телеслужби», а також «опорний сервіс» та «телесервіс» у інтегрованій мережі.
5. Що таке «додаткові види обслуговування»?
6. Як називають інтегровану мережу, що підтримує всі класи сервісу?
7. Що розуміють під режимом обслуговування користувачів? На які категорії поділяють служби залежно від використовуваних для них режимів?
8. Перерахуйте основні характеристики мережевого трафіку й охарактеризуйте специфіку роботи застосовань у мережі.
9. Які функції та призначення служби якості обслуговування?
10. Перерахуйте основні компоненти архітектури QoS.
11. Що таке засоби QoS вузла?
12. У чому полягає відмінність механізмів обслуговування черг від механізмів кондиціонування трафіку?
13. Для чого потрібні протоколи сигналізації QoS ? Как відбувається їх ініціалізація?
14. Що таке «політика керування та обліку QoS»? Як вона може бути реалізована?

## Розділ 15. Послуги мережі

### 15.1. Телекомунікаційні та інформаційні послуги

Послуги традиційно поділяють на дві категорії: телекомунікаційні та інформаційні.

#### *Телекомунікаційні послуги*

**Телекомунікаційні послуги** призначено для задоволення запитів і потреб у транспортних ресурсах клієнтів, абонентів мережі, а також інших об'єктів (наприклад, локальних мереж, які взаємодіють на віддалі), об'єднаних спільним поняттям «користувачі мережі» (users). Оновним завданням цих послуг є якісне транспортування інформації, яку створюють користувачі мережі у вигляді унформаційних повідомлень. Мережа приймає інформацію, перетворену у сигнал, в пункті, де знаходиться мережевий інтерфейс, передає її через транзитні пункти, та видає в пункт призначення також через інтерфейс. Надаючи телекомунікаційні послуги, мережа не вносить жодних змін у змвст інформації, яку передає, видаючи її одержувачу в тому вигляді, в якому вона надійшла в мережу від відправника. У зв'язку з цим телекомунікаційні послуги ще називають **послугами транспорту**.

Надання транспортних ресурсів здійснюють мережеві оператори (оператори зв'язку).

## *Інформаційні послуги*

**Інформаційні послуги** – це, такі, що забезпечують користувачів можливістю отримати необхідну інформацію, створену в мережі без посередництва користувача. Користувач отримує інформацію з мережі у вигляді **контенту** (content) – деякого обсягу, що забезпечує сприйняття його смислового змісту. У цьому контексті інформаційні послуги ще називають **контент-послугами**.

Виробництво й надання інформаційної послуги завжди пов'язано з операціями оброблення інформації (перетворенням та впорядкованим її зберіганням у файлах, базах даних, Web-сторінках), а також пошуку її в мережі. Для цього застосовують різні інформаційні технології: програмування, створення файлів і баз даних, копіювання, архівування файлів та ін.

Створюють, накопичують і обробляють інформацію спеціальні інформаційні служби мережі. Підготовлену інформацію розміщують у Web-порталах на Web-серверах постачальників послуг.

### **15.2. Бізнес-моделі надання послуг**

**Бізнес-модель надання послуг** визначає учасників процесу надання та споживання послуг та їх співвідношення.

У той час, коли телекомунікації ще були тільки набором спеціалізованих мереж, призначених для передавання інформації конкретного виду, користувачі в основному користувалися транспортними послугами мережі для обміну

своїми повідомленнями. Мережеві оператори в основному займалися створенням і підтриманням працездатності телекомунікаційної мережі, тобто інфраструктурою зв'язку, та мінімально зосереджували уваги маркетингу. Це призвело до появи операторів монополістів. Якщо виникала конкуренція, то вона зводилася до того, що оператори змагалися у розвитку інфраструктур – географічному покритті, ефективності експлуатації та ін.

У бізнес-моделі надання традиційних послуг електрозв'язку наявними були лише два основних учасника: оператор і користувач. Цю модель прийнято називати **інфраструктурною бізнес-моделлю**. На її основі надають кінцеві послуги користувачам або у вигляді однієї послуги (наприклад, послуга телефонії) або комплексу (телефонія + доступ у Інтернет за тією ж абонентською лінією).

З появою цифрової комунікаційної техніки та волоконно-оптичних ліній зв'язку мережеві ресурси стають більш якісними й суттєво дешевшими. Розвиток технологій мобільного зв'язку дає змогу ліквідувати прихильність абонентського терміналу до стаціонарного гнізда телекомунікаційної мережі. І, нарешті, поява концепції інтелектуальної мережі IN забезпечує найважливіший ідеологічний прорив – відокремлення процесу формування послуги від пристроїв мережної комутації. Цю ідеологію реалізують також у архітектурі Інтернету.

Усе більш цінними для споживача ставали не послуги транспорту, а **сервіси мережі**, доступ до яких забезпечується завдяки споживанню послуг транспорту. У результаті в ланцюжку формування послуг між оператором і користувачем

виникла ланка **сервіс-провайдерів**, компаній, що мають маркетингову спрямованість і створюють послуги, необхідні кінцевим користувачам.

Тріада *оператор, сервіс-провайдер, користувач* утворюють **інфраструктурно-сервісну бізнес-модель** надання послуг. Ця модель вже сформовано під впливом підвищеного попиту на послуги. Сервіс-провайдери, які працюють на основі цієї моделі пропонують певний пакет послуг, який забезпечують за допомогою обладнання їх власного сервісного вузла, але на основі мережевої інфраструктури, яка належить операторові зв'язку.

Мультисервісність мереж, яка забезпечувалась процесами галузевої конвергенції в телекомунікаціях, сприяла подальшому розвитку сервісної бізнес-моделі надання послуг. В таку модель під'єднують нові суб'єкти, зацікавлені у розширенні та розвитку ринку послуг у цілому. Крім оператора, сервіс-провайдера та користувача можуть бути наявними такі додаткові суб'єкти ринку послуг, як *постачальники інформації, брокери, ритейлери* та ін.

**Постачальник інформації** надає інформацію постачальнику послуг – сервіс-провайдеру для розміщення на Web-серверах. **Брокер** надає інформацію про постачальників послуг та їх потенційних абонентів, сприяє користувачам у пошуку постачальників, які надають необхідні послуги. **Ритейлер** виступає як посередник між абонентом і постачальником з метою адаптації послуги до індивідуальних вимог абонента. Усі ці компанії мають на меті заповнити мережі трафіком, що стимулює подальший розвиток інфраструктур операторів зв'язку, в яких зниження

прибутковості від базових телекомунікаційних послуг змінюється зростанням доходів від участі в наданні інтегрованих послуг на основі різноманітного контенту.

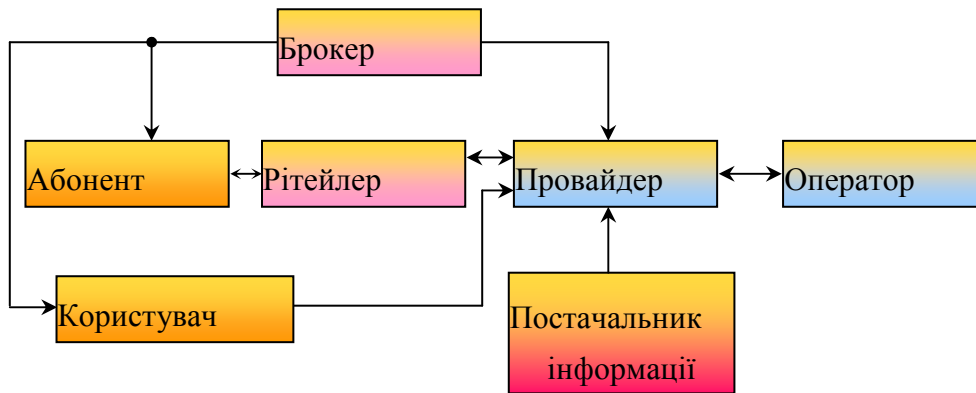


Рисунок 15.1. Сервісна бізнес-модель надання послуг

Розглянута модель називається **сервісною бізнес-моделлю** надання послуг (див. рис. 15.1). У ній послуги знаходяться на перехресті інтересів різних груп: технічних спеціалістів, маркетологів, інформаційних агентств, комерційного персоналу й користувачів.

### 15.3. Послуги ТСП/ІР-мереж

У формуванні та наданні послуг у інтермережі беруть участь протоколи всіх рівнів стеку ТСП/ІР, передусім прикладного рівня. Щоб зосередити увагу на цьому, вживаємо термін «ТСП/ІР-мережа», замість терміна «ІР-мережа», яким визначають сегмент мережевого рівня телекомунікаційної мережі.

Послугами TCP/IP-мереж називають послуги, які ґрунтуються на принципі пакетного передавання трафіку й використанні всього стека протоколів TCP/IP. Вони ініціюються за допомогою програм прикладного рівня стека TCP/IP та реалізуються в комунікаційних середовищах інтермережі локальних сегментів і глобальній мережі Інтернет.

Основними послугами TCP/IP-мереж є триада: *передавання даних, голосові послуги (Voice over IP, VoIP) і передавання відео пакетами (IPTV).*

### ***Послуги передавання даних***

У традиційних мережах передавання пакетів (X.25, Frame Relay, ATM) послуга передавання даних озглядалась як організування віртуального каналу або віртуального з'єднання між комп'ютерами користувачів.

Технології передавання даних у TCP/IP-мережах в основному асоціюють зі зверненням до Інтернет-ресурсів і ґрунтуються на архітектурі «клієнт-сервер». Процедуру надання послуги в цьому випадку визначає протокол обміну даними між клієнтом і сервером.

**Web-послуги.** Основна частина послуг передавання даних споживається у процесі роботи користувачів з Інтернетом, при зверненні до її ресурсів (сайтів). Ці послуги, як відомо, підтримує служба WWW (World Wide Web), яка використовує протокол HTTP стеку TCP/IP. Завдяки стрімкому розвитку Web-технологій, епоха фіксованих сайтів звільняє дорогу для динамічних сайтів, якими є розподілені бази даних. Інформаційна сторінка для користувача при цьому формується залежно від специфіки його запиту.

В багатьох випадках доступ до ресурсів Інтернет може здійснюватися через кілька проміжних серверів. Так, процедура доступу на сайт є як мінімум двокроковою. Запит з даними уніфікованого покажчика ресурсів потрапляє на один із серверів *служби доменних імен* (Domain Name System, DNS), які є розподіленою базою даних відповідності між уніфікованими покажчиками ресурсів та IP-адресами в Інтернеті. Якщо на сервері немає даних про запитований сайт, запит транслюють на наступний DNS-сервер і т.д.

**E-mail.** Послуга електронної пошти є багатокроковою, використовує поштовий сервер, обмін даними з яким відбувається за протоколом SMTP стеку TCP/IP. До процедури залучено систему авторизації користувачів і різні функції доступу до ресурсу.

**FTP** – послуга обміну файлами, доступ до якої можна отримати через однойменну службу Інтернету, яка забезпечує процедуру прямого завантаження й вивантаження файлів.

### ***Голосова послуга VoIP***

Принципи, на яких засновано передавання мовлення пакетами, детально простежено в п. 7.3. У даному контексті узагальнимо особливості, пов'язані з роботою протоколів стеку TCP/IP.

Спочатку, на прикладному рівні, мовленнєвий аналоговий сигнал надходить на кодек, де перетворюється в цифровий потік. Традиційно використовують стандартні кодеки ІКМ та АДІКМ-перетворень. Після перетворення цифровий потік розділяється на інформаційні блоки



транспортного протоколу реального масштабу часу (Real-Time Transport Protocol, **RTP**) стеку TCP/IP, які відправляються в сокет, так зване "гніздо" (вхід) операційної системи (див. рис. 15.2).

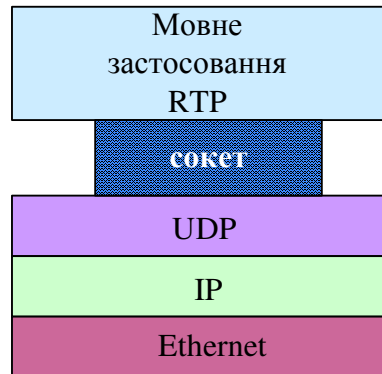


Рисунок 15.2. Формування пакетів VoIP

На іншому кінці сокету (в ядрі операційної системи) генеруються UDP-пакети, які потім поміщаються в IP-пакети. Останні передаються мережею. Якщо комп'ютер під'єднано до локальної мережі Ethernet, IP-пакети розбиваються на кадри Ethernet.

Щоб нівелювати вплив нерівномірних затримувань на передавання мовленнєвого сигналу пакетами, протоколом RTP передбачено розміщення в кожній датаграмі VoIP спеціальних тимчасових позначок, які дають змогу джерелу пов'язати позначку часу з першим символом кожного пакету. Позначки часу проставляються відносно моменту початку передавання потоку й використовуються на приймальному кінці для коректного відновлення мовленнєвого повідомлення, якщо надходження пакетів є нерівномірним.

Останньою стадією формування мовленнєвого сигналу є долучення спеціального потоку службових даних, який можна трактувати як систему абонентської сигналізації.

Сесію в мережі VoIP поділяють на три фази:

- сигнальний обмін у процесі налаштування з'єднання;
- інформаційний обмін (обмін повідомленнями користувачів);
- сигнальний обмін для завершення з'єднання.

Слід зазначити, що протокол RTP забезпечує тільки компенсацію нерівномірності затримувач пакетів за рахунок використання механізму тимчасових позначок. Інших елементів забезпечення якості послуг, які надаються в протоколі RTP, немає. Водночас для послуги VoIP є критичними такі параметри, як сумарне затримувач передавання, частота втрачання пакетів та ін. С цього приводу протокол RTP було доповнено *транспортним керуючим протоколом реального часу* (Real-Time Transport Control Protocol, **RTCP**), принцип роботи якого полягає в постійному обміні даними про стан каналу, передавача й приймача, що дає змогу керувати параметрами якості впродовж сесії VoIP.

### ***Послуга IPTV***

Послуги **IPTV** забезпечують можливість переглядати відеофільми, телевізійні канали, які передаються у мережі IP-пакетами. Оскільки відеофільм містить як зображення, так і звук, послугу IPTV ще називають послугою передавання *мультимедійних даних*.

Надання послуг IPTV у мережі можна організувати, використовуючи служби за запитом у режимі *негрупового розсилання* (Unicast) або дистрибутивної служби в режимі *групового розсилання* (Multicast).

Послуга IPTV, яку надають у режимі Unicast, має назву **відео за запитом** (Video on Demand, **VoD**). Відеоконтент розміщено на спеціалізованому відеосервері й за потребою користувач може завантажити його на свій комп'ютер або спеціальний термінал з наступним відтворенням. Таким чином послуга VoD надають не в реальному масштабі часу.

IPTV у режимі Multicast дає змогу переглядати програми телевізійного каналу в *реальному масштабі часу*.

У разі, коли певна кількість користувачів бажає дивитися один і той самий телевізійний канал, у мережі формується так звана **Multicast-група**. При цьому відпадає необхідність організовувати окремий канал передавання мультимедійних даних для кожного користувача. Потік даних передають до найближчого сервісного вузла, де дані дублюються, а потім передаються усім членам групи. Це дає змогу істотно розвантажити ресурси мережі.

Для забезпечення роботи Multicast-груп логічні вузли мережі повинні обмінюватися інформацією про склад груп і вказівками, кому який контент необхідно доправити. Ці процедури реалізує **протокол керування групами користувачів у Інтернеті** (Internet Group Membership Protocol, **IGMP**). Протокол IGMP забезпечує повне керування режимом групового розсилання, починаючи від створення Multicast-групи і завершуючи забезпеченням можливості як під'єднання до неї нових користувачів, так і від'єднання окремих користувачів від групи за їх бажанням.

Специфікою послуги IPTV є також і те, що перемикання каналів з дистанційного пульта, настільки звичного для користувачів традиційного телебачення, тут запускає досить складний механізм міграції користувачів між **Multicast-групами**, створюючи додаткове сигнальне навантаження в мережі. Через перевантаження на напрямках, затримування, спеціальне налаштування в мережі перемикання каналів у IPTV може істотно запізнюватися.

Мультимедійні дані в IPTV необхідно подавати у форматі одного зі стандартів сімейства **MPEG** (Moving Picture Experts Group) – спеціальної комісії при ISO. MPEG-стандарти описують основні алгоритми, які використовують для стиснення аудіовізуальної інформації, компонентами якої є відео, звук, графіка, текстові та графічні документи. Алгоритми MPEG забезпечують також стиснення кожного з них, забезпечуючи тим самим можливість передавати мультимедійні дані наявними мережами зв'язку.

У даний час існують три стандарти, які використовують у IPTV:

- **MPEG-1**, що забезпечує швидкість передавання 1856 Мбіт/с;
- **MPEG-2**, що забезпечує швидкості передавання 4 і 9 Мбіт/с для ліній ADSL або 19.2 Мбіт/с для телебачення високої чіткості;
- **MPEG-4**, що забезпечує змінну швидкість – від 5 до 10 Мбіт/с.

Останній стандарт вважають найбільш перспективним. Розглянемо його детальніше.

Формування потоку мультимедійних даних послуги IPTV у форматі MPEG-4 показано на малюнку 15.3.

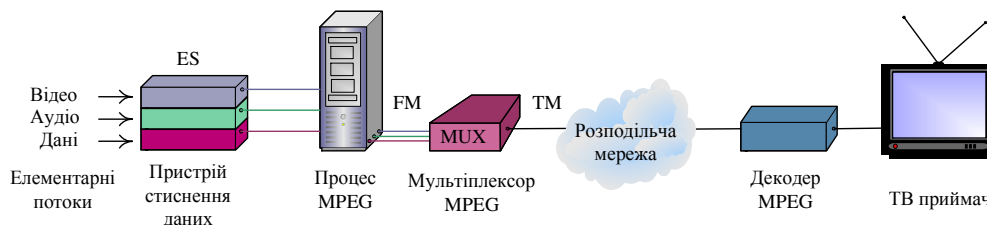


Рисунок 15.3. Формування потоку мультимедійних даних послуги IPTV у форматі MPEG-4

Узагальнено функціонування MPEG-4 можна описати таким чином.

Так звану мультимедійну «сцену» (Scene Description) розбивають на елементарні об'єкти (відео, графічні об'єкти, фон, рухомі об'єкти, фонові звуки, мова, синтезовану музику і та ін.). З'ясовують абсолютне положення об'єктів, їх взаємовідношення та поведінку кожного з них у межах сцени. Кожному з об'єктів присвоюють ярлик із властивостями й інформацією про синхронізацію.

Об'єкти подаються у вигляді *елементарних потоків ES* (Elementary Stream). Кожен з елементарних потоків – це певний тип цифрового сигналу зі своїми правилами кодування та форматом MPEG. Для кожного елементарного потоку визначаються також параметри декодера, необхідні для його подальшого декодування із заданою якістю.

Потім усі елементарні потоки за допомогою процесора MPEG перетворюються у вторинні потоки FM (FlexMux) відповідно до заданої якості на канал QoS та здійснюється завадостійке кодування. Прикладом QoS може бути час затримування або достовірність передавання, тобто деякі потоки (наприклад, відео) вимагають сталості часу затримування, водночас інші (дані) вимагають високої достовірності. Потоки FM не залежать від середовища передавання, через яке здійснюється постачання мультимедіа користувачеві. Проте їх структуру визначено технологією доставки (клієнт-сервер, мовлення, файловий доступ). Далі потоки FM мультиплекуються мультиплексором MPEG у транспортний потік пакетизований TM (TransMux) відповідно до наявних і запитуваних мережевих ресурсів. Структуру цього потоку повністю визначає використовуваний канал зв'язку.

Декодування прийнятого потоку MPEG-4 здійснюється в зворотному порядку. На приймальному кінці в абонента телевізійний сигнал відновлюється за допомогою телевізійної приставки **STB** (Set-Top-Box). STB відіграє активну роль у відтворенні мультимедійної сцени, в процес якої може втручатися й сам користувач.

Set Top Box (дослівно – «коробка, яку встановлюють нагорі») – це багатофункційна домашня приставка-адаптер для приймання програм цифрового та кабельного ТБ за допомогою звичайних телевізорів, що забезпечує інтерактивну взаємодію глядач-телеканал і можливість роботи в мережі Інтернет через будь-яку широкосмугову мережу доступу. Залежно від закладеної функціональності приставка може додатково мати

можливості сучасних мультимедійних цифрових платформ інтерактивного телебачення й підтримувати широкий спектр послуг: відео за запитом, електронний програмний гід, інтелектуальний відеомагнітофон, інтерактивні ігри, електронну пошту, а також покупки з дому, банківські операції з дому, телефонні послуги та багато іншого. Таким чином, постачаючи аудіо, відео та дані не тільки в будинок, але й у зворотному напрямку та всередині локальної будинкової мережі, STB стає своєрідним домашнім шлюзом у різні телекомунікаційні мережі.

У висновку зазначимо, що модель мережі, в якій надають послуги IPTV, містить специфічний для даної послуги об'єкт – головну станцію IPTV, де здійснюється прийом відеосигналів, перетворення їх у мультимедійні дані й формування відповідного контенту. Узагальнену структуру головної станції IPTV наведено на рисунку 15.4.

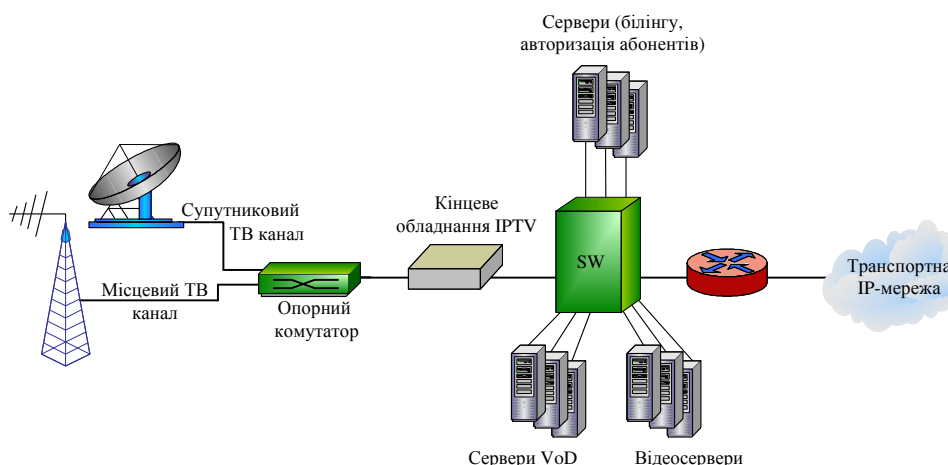


Рисунок 15.4. Структура головної станції IPTV

## 15.4. Конвергентні послуги

Конвергентні послуги – це послуги доступні при використанні будь-якого методу доступу до мережі та з будь-якого кінцевого пристрою користувача.

Звернемо увагу ще раз до поняття «конвергенція».

**Конвергенція** – процес взаємопроникнення та об'єднання різних телекомунікаційних мереж, технологій та послуг. Таким чином, процес конвергенції послуг неможливо відокремити від конвергенції мереж і технологій.

На рівні **конвергенції мереж** відбувається злиття транспортних мереж та мереж доступу, мереж фіксованого та мобільного зв'язку, наприклад, у єдину магістральну мережу IP/MPLS, що підтримує широкий спектр методів доступу: традиційної телефонії, DSL, виділених каналів, METRO Ethernet, безпроводових мереж (WLAN) та мереж радіодоступу (RAN) у мережах операторів мобільного зв'язку.

Конвергенція транспортної мережі та мереж доступу є найбільш опрацьованим етапом процесу злиття мереж, які функціонують на основі різних технологій. Вона складається з конвергенції магістралей фіксованих і мобільних мереж, зокрема для передавання значних обсягів мовленнєвого трафіку з тієї ж магістралі IP, якою доправляють широкосмугові дані, послуги GPRS і UMTS.

У **конвергенції технологій** провідною є концепція **конвергенції фіксованого та мобільного зв'язку** (Fixed Mobile Convergence, **FMC**), що, з одного боку, підвищує доходи операторів, з іншого – задовольняє щораз вищі вимоги замовників, які орієнтовані на мобільні та IP-технології. Під



час передавання трафіку мереж 2.5G й 3G через IP-мережі конвергенція технологій забезпечує глибину проникнення аж до мережі доступу оператора мобільного зв'язку.

Концепція FMC є масштабованою та передбачає розподілену функціональність (відокремлення функцій). Це означає, що виконання різних функцій беруть на себе вузькоспеціалізовані фізично розділені мережеві елементи: сервер застосовань надає послуги; елементи оброблення викликів відповідають за сигналізацію; системи баз даних зберігають дані користувача; медіа-сервери відтворюють оголошення; шлюзи з'єднують різні мережі доступу. Функції зазначених мережевих елементів і інтерфейсів між ними описує стандарт IMS (див. розділ 16).

Перспективною сферою для FMC є також корпоративний ринок. Пропозиція послуг FMC для бізнес-клієнтів може стати відправною точкою для підвищення рівня доходів операторів мобільного зв'язку та розширення абонентської бази за рахунок працівників підприємств, яким надають послуги FMC.

Основними факторами, які сприяють впровадженню FMC, є:

- доступність на ринку інтелектуальних терміналів (наприклад, дворежимних телефонів – стільникових/802.11);
- високі темпи впровадження технології WLAN (безпроводові домашні мережі, безпроводові локальні мережі підприємств, точки доступу в аеропортах, готелях а ін.);

- популяризація VoIP.

На рівні **конвергенції послуг** виконуються в основному функції **управління сесіями**.

Під **сесією**, зазвичай, розуміють *сеанс зв'язку, активне з'єднання між користувачами, користувачем і комп'ютером, або комп'ютерів між собою*.

Організація сесії передбачає послідовність низки операцій, таких як: налаштування й завершення сесії; керування черговістю й режимом передавання даних (симплекс, напівдуплекс, дуплекс); синхронізацію; керування активністю сесії; складання звітів про надзвичайні ситуації та ін.

Керуючи сесією, уможливають розгортання конвергентних послуг, таких як мобільний доступ до даних, проведення аудіо й відеоконференцій, передавання голосу та миттєвий обмін повідомленнями. При цьому забезпечується контроль за активністю й станом кожної сесії, за ступенем доступності послуги на будь-якому абонентському терміналі та через будь-який метод доступу. Крім того, для будь-якої послуги виділяють відповідні мережеві ресурсів без негативного впливу на активні сесії, а також адекватну тарифікацію.

Отже, конвергенція послуг забезпечує споживачам зручність користування послугами, виконуючи в сесіях непомітно для абонентів перетворення даних і голосу у процесі передавання їх між наземним та безпроводовими широкосмуговими доменами. При цьому мережа динамічно адаптує свої політики щодо виділення ресурсів та забезпечення якості обслуговування, враховуючи мобільність

терміналу та те, в якому середовищі передавання термінал знаходиться в даний момент. На практиці це може виглядати так: людина здійснює виклик, використовуючи VoIP-телефонію. При цьому спочатку він знаходиться в мережі оператора фіксованого зв'язку, потім потрапляє в зону 3G зв'язку, і, нарешті, приходить в офіс, де його телефон з'єднується з корпоративною Wi-Fi мережею. Розмова не переривається, однак у різний час проходить через різні мережі. Аналогічно під конвергенцією послуг можна розуміти присвоєння абоненту єдиного номера, який є доступним йому як за стільниковим, так і за стаціонарним телефоном.

Аналізуючи конвергенцію послуг, не можна не звертати увагу на конвергенцію застосовань.

**Конвергенція застосовань** – це процес постачання застосовань через безліч різних середовищ передавання у форматі, що враховує різницю швидкостей доступу, які ці середовища забезпечують.

Конвергенція застосовань передбачає власне послуги, які на ринку рекламують як кінцеві продукти. Одним із прикладів конвергентних застосовань є одночасне доставлення відеопотоку на термінал 3G і персональний комп'ютер через мережу поширення контенту з одного й того ж сервісного центру.

Більш узагальнено, конвергенція додатків – це надання споживачам послуг голосу, даних і відео через усі доступні типи мереж інноваційними методами.

Реалізація кожного з розглянутих аспектів конвергенції забезпечує певні переваги. Мережева конвергенція створює можливості для економії експлуатаційних витрат і капітальних

витрат, конвергенція застосовань – для пропонування нових пакетів послуг та вдосконалення маркетингу.

Нарешті, існує **конвергенція на рівні пристроїв**. Так, мобільний телефон middle-класу підтримує тільки послуги на основі GSM-мережі, водночас як бізнес-смартфон може працювати в 2–3 стандартах і, відповідно, використовувати більше можливостей для комунікацій.

Конвергенція послуг та застосовань передбачає використання **інтелектуальних термінальних пристроїв** (дворежимні телефони – стільникові/802.11, смартфони, ноутбуки, кишенькові ПК та ін.), а також **конвергентної платформи надання послуг** (див. розділ 16).

Основними показниками функціональності конвергентної платформи надання послуг є:

- обізнаність про активні сесії та здатність керувати ними незалежно від місця розташування учасників сесії та методу їх доступу;
- забезпечення безперервності послуги у разі перетинання межі між фіксованими та мобільними мережами, не зважаючи на специфіку її реалізації для кожного з трафіків: голосового, даних і відео.

Узагальнюючи, слід зазначити, що велика популярність конвергентних послуг дає підстави прогнозувати їх пріоритетність у мережах зв'язку вже в найближчому майбутньому.

Оператори вже зараз повинні займатися підготовкою до конвергенції: будувати магістраль і граничну мережа IP/MPLS

операторського класу, розвивати мережу широкосмугового доступу, стимулювати розвиток WLAN у домашніх мережах і мережах підприємств, поширення публічних точок доступу WLAN – усе для логічного доповнення мережі та фіксованої мережі зв'язку загального користування. Створення такої основи дасть змогу операторам успішно та в найкоротші терміни виконати стратегію конвергенції.

### 15.5. Концепції Triple Play, Quad Play

На практиці здійснити принцип конвергенції в повному обсязі виявилося не так просто, оскільки телекомунікаційні технології є дуже відмінними для того, щоб їх взаємопроникнення було простим і безболісним.

Коректність реалізації конвергенції мереж і технологій можна перевірити на рівні послуг. Від того, наскільки нові послуги будуть популярними, залежить ефективність роботи й конкурентоздатність операторів зв'язку та інших учасників ринку послуг зв'язку.

Незважаючи на все розмаїття сучасних послуг зв'язку їх, як правило, можна звести до комбінації так званих *базових послуг*, або тріади: *дані, голос, відео*. Прикладами комбінованих послуг є: IPTV, VoD (Video on Demand), GoD (Game on Demand), AoD (Application on Demand), MoD (Music on Demand), IVR (Interactive Voice Rresponse), VM (Voice Mail), VoIP, Unified Messaging і багато інших.

Перераховані послуги часто називають послугами *Triple Play* або *3Play*, у перекладі – «три в одному». По суті всі вони надаються окремо але можуть використовувати одну й ту ж саму лінію кабельної мережі доступу.

Вимоги послуг Triple Play до характеристик мережі в основному висувають до двох показників:

- швидкості передавання (смуга пропускання) напрямку до користувача («вниз») і в напрямку від користувача («вгору»);
- QoS (диференційований, пріоритетний або без гарантії якості).

Для надання більшої частини мультимедійних послуг, як відомо, смуга пропускання в бік абонента становить близько 2–3 Мбіт/с. Причому для відео й аудіо послуг обов'язковою є підтримка заданого QoS.

Отримання послуг Triple Play здійснюється за допомогою комп'ютера користувача або звичайного телевізора з приставкою-адаптером Set Top Box (STB).

**Концепція Triple Play**, описана в Рекомендації Y. 1541 ITU-T, заснована на традиції конвергенції, передбачає використання для надання послуг «тріади» *єдину інфраструктуру мультисервісної мережі*, що забезпечує поєднання різних послуг як на рівні транспортної мережі, так і на рівні мережі доступу. Крім того, послуги «тріади» *не повинні залежати від типу мережі абонентського доступу* (домашня Ethernet, абонентські лінії ADSL або оптичні системи FTTH та PON). При цьому принципи функціонування та правила надання послуг також повинні бути однаковими.

Відмінною особливістю концепції Triple Play є також підхід, який, можливо, домінуватиме в майбутнього розвитку послуг. Його суть полягає в тому, що вперше було

запропоновано процедури *композиції* та *декомпозиції* послуг. При цьому «тріаду» (дані, голос, відео) продовжують розглядати як базові послуги, а будь-яка послуга, яку можна реалізувати в мережі, проходить процедуру декомпозиції, тобто поділу на три базові послуги. Таким чином, рівень послуг поділяється на дві підрівні. На верхньому підрівні знаходяться всі наявні та перспективні, але поки ще не реалізовані послуги зв'язку, а на нижньому – тільки три базові послуги (див.рис.15.5).

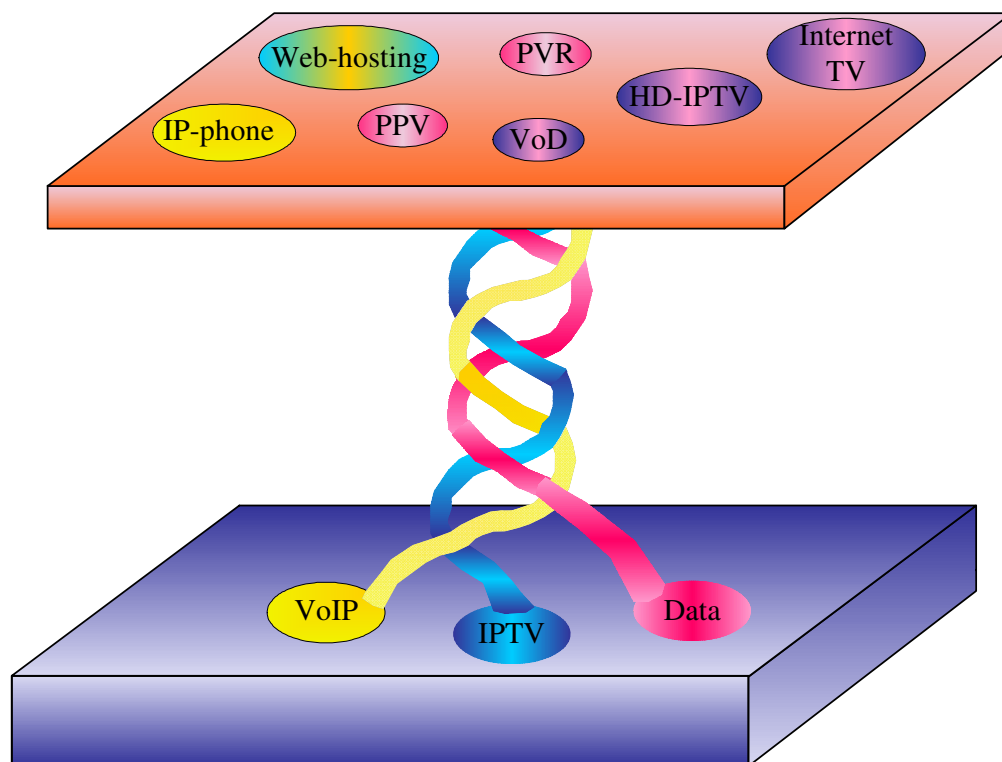


Рисунок 15.5.Підрівні послуг

Операторові досить реалізувати в своїй мережі механізми надання лише трьох базових послуг. Найбільш ефективно це досягається завдяки переходу до мереж NGN.

Три базових компоненти послуги, передані мережею, за певними правилами об'єднуються на приймальному кінці, що можна трактувати як процедуру композиції послуги. У результаті користувач отримує послугу в тому вигляді, який йому є необхідним. Для цього у нього має бути термінальний пристрій, обладнаний *спеціальним універсальним програмним забезпеченням*. До того часу, поки не буде створено таке програмне забезпечення, послуга Triple Play не сприйматиметься як єдина послуга, а тільки, як і раніше, як «три в одному».

Тоді, коли базових послуг не вистачає для композиції будь-якої нової послуги, послуга Triple Play сама долучається до набору базових послуг. При цьому, звичайно, мережу необхідно модернізувати таким чином, щоб вона могла надавати не три, а вже чотири послуги. Необхідно також розвинути алгоритми декомпозиції та композиції. Далі процес надання послуг розвивається за тією ж схемою. Прикладом такого підходу може бути поява концепції 4Play.

Концепція Quad Play може бути реалізована лише на інтегрованій платформі, наприклад, IMS (див. розділ 16). На рівні доступу для реалізації концепції Quad Play також потрібними є зміни, що забезпечують швидкості передавання даних до абонента не менше 24 Мбіт/с. Жодна технологія стільникових мереж зв'язку поки що не дає змогу досягти такої швидкості. Крім того, сучасні мобільні телефони не забезпечують достатній рівень комфортності отримання



послуг Quad Play у зв'язку з малим екраном та іншими обмеженнями.

Отже, фактор мобільності додає низку проблем у реалізації широкосмугових концепцій, рішення яких покладено на мережі NGN та інноваційні технології.

### **15.6. Інфокомунікаційні послуги**

Кінцевий результат процесу конвергенції на всіх рівнях (мереж, технологій, послуг та програм), так званої повної конвергенції, – це можливість виробництва й надання **інфокомунікаційних послуг**. Інфокомунікаційні послуги називають ще послугами **Глобального Інформаційного Суспільства (ГІС)**. Технічною та технологічною основою ГІЗ має стати **Глобальна Інформаційна Інфраструктура (ГІІ)**, яка має на меті забезпечити кожного користувача різними послугами зв'язку й рівноправним доступом до інформаційних ресурсів планети за конкурентноздатною ціною та з безперервністю послуг при перетині кордонів різних сегментів глобальної мережі.

На сьогоднішній день розвиток інформаційно-комунікаційних послуг спостерігається, в основному, в межах глобальної мережі Інтернет, доступ до послуг якої відбувається, як і раніше, через традиційні мережі зв'язку. До того ж нерідко, зважаючи на обмежені можливості транспортної інфраструктури, послуги Інтернету не відповідають вимогам, які висувають до послуг ГІС.

Розвиток комунікаційних послуг потребує вирішення низки завдань ефективного керування інформаційними ресурсами з одночасним розширенням функціональності транспортних мереж та мереж доступу.

## *Відмінні особливості інфокомунікаційних послуг*

Основними технологічними особливостями, які вирізняють інфокомунікаційні послуги, є такі:

- доступність для користувачів незалежно від способів доступу до мережі та гарантована якість обслуговування;
- використання додаткової адресації в межах конкретної інфокомунікаційної послуги при ідентифікації абонентів;
- залучення верхніх рівнів моделі ISO/OSI для реалізації інфокомунікаційної послуги;
- розподілення функціональності інфокомунікаційних послуг між устаткуванням сервісного вузла провайдера й термінальним обладнанням користувача, оскільки більшість комунікаційних послуг є мережевими застосованнями;
- більшість інфокомунікаційних послуг передбачає наявність клієнтської й серверної частин. Клієнтську частину реалізують у обладнанні користувача, а серверну – на сервісному сайті провайдера;
- наявність можливостей з керування інфокомунікаційними послугами з боку користувачів, тому що для них прикметним є різноманіття прикладних протоколів;
- несиметричність вхідного та вихідного інформаційних потоків і вимога високих швидкостей для передавання мультимедійних даних;

- для надання інфокомунікаційних послуг часто необхідними є складні багатоточкові схеми з'єднань;
- забезпечення користувачеві комплексної можливості отримання послуг за допомогою єдиного уніфікованого інтерфейсу.

Ґрунтуючись на вищевикладеному, наведемо визначення інфокомунікаційної послуги.

**Інфокомунікаційних послуга** – це послуга, здатна задовольнити телекомунікаційні, інформаційні (або ті й інші одночасно) потреби користувача при будь-якому (проводовому, безпроводовому, стаціонарному або мобільному) доступі до мережі та з можливістю вибору різних режимів зв'язку, інтегрованих у формі єдиного терміналу.

#### ***Вимоги до платформи надання інфокомунікаційних послуг***

Розглянуті вище особливості інфокомунікаційних послуг висувають досить значні вимоги до платформи їх надання, що власне й передбачає перехід до мереж наступного покоління (NGN). Ці вимоги можна сформулювати так:

- мультисервісність, під якою розуміють незалежність технологій надання послуг від транспортних технологій;
- широкосмуговість, тобто можливість гнучкої та динамічної зміни швидкості передавання інформації в

широкому діапазоні залежно від поточних потреб користувача;

- мультимедійність, під якою розуміють здатність мережі передавати багатокomпонентну інформацію (мовлення, дані, відео, аудіо) з необхідною синхронізація цих компонентів у реальному часі та використанням різних схем з'єднань;
- інтелектуальність, тобто можливість керування послугою, викликом і з'єднанням як з боку користувача, так і сервіс-провайдера;
- інваріантність доступу – можливість організації доступу до послуг незалежно від технології, яку застосовують;
- багатооператорність – можливість участі декількох операторів у процесі надання послуги та розподілення їх відповідальності з урахуванням сфери діяльності.

Крім того, формуючи вимоги до перспективних мереж зв'язку, необхідно враховувати особливості діяльності на ринку телекомунікацій у нових умовах як сервіс-провайдерів, так і мережевих операторів.

Сучасні підходи в діяльності сервіс-провайдерів передбачають доступ усіх провайдерів, навіть тих, які не мають власної інфраструктури, до ресурсів мереж загального користування. При цьому до основними вимогами, які висувають до сервіс-провайдерів щодо нового типу мереж, є:

- забезпечення можливості роботи устаткування в "мультиоператорському" середовищі, тобто

збільшення кількості інтерфейсів для під'єднання до мереж відразу декількох операторів зв'язку, і на рівні доступу також;

- забезпечення взаємодії сервіс-вузлів для спільного надання послуг;
- можливість застосування "масштабованих" технічних рішень при мінімальній стартовій вартості обладнання.

Потреба операторів мереж зв'язку отримувати нові прибутки також змушує їх замислитися над створенням мережі, яка б дала змогу:

- якнайшвидше та якнайдешевше створювати нові послуги для того, щоб постійно залучати нових абонентів;
- зменшувати витрати на обслуговування;
- бути незалежними від постачальників обладнання;
- бути конкурентоспроможними.

Можна констатувати, що мережа наступного покоління NGN буде здатна задовольнити потреби сервіс-провайдерів та мережних операторів. У цьому контексті підсумкові переваги NGN є такими:

- отримання однієї універсальної мережі для надання різних послуг;
- підвищення середньої дохідності від абонентів за рахунок надання додаткових мультимедійних послуг;

- можливість оператора найбільш оптимально виділяти смугу пропускання для інтеграції різних видів трафіку при наданні різних послуг в NGN і забезпеченні їх якості;
- NGN краще пристосована до модернізації та розширення, є легкою для керування та експлуатації.

Безперечні переваги матимуть і користувачі:

- абстрагування від технологій реалізації послуг (принцип “чорної скрині”);
- гнучке отримання необхідного набору, обсягу та якості послуг;
- мобільність отримання послуг.

Крім того, NGN буде підтримувати будь-яке термінальне устаткування, зокрема аналогові телефонні апарати, факсимільні апарати, обладнання ЦМІС (цифрова мережа з інтеграцією служб), стільникові телефони різних стандартів, термінали телефонії за IP-протоколом (SIP і H.323), кабельні модеми та ін.

### **Контрольні питання**

1. Дайте визначення «телекомунікаційних послуг» та «інформаційних послуг». Що таке «контент»?
2. Що розуміють під бізнес-моделлю надання послуг? Які бізнес-моделі можна виокремити?
3. Які послуги визначено основними для TSP/IP-мереж?

4. У чому полягає особливість послуги передавання даних у TCP/IP мережах?
5. Що таке послуга VoIP? Охарактеризуйте процес формування пакетів VoIP.
6. Як організується сесія в мережі VoIP?
7. Якими є функції протоколу RTP у процесі надання послуги VoIP?
8. Охарактеризуйте службу IPTV, за допомогою яких режимів її можна реалізувати?
9. Для реалізації яких процедур використовують протокол IGMP?
10. Що таке стандарти сімейства MPEG? Де їх використовують?
11. Поясніть, як формується потік мультимедійних даних послуги IPTV у форматі MPEG-4.
12. Яким чином реалізується декодування прийнятого потоку MPEG-4?
13. У чому полягає специфіка моделі мережі, у якій надаються послуги IPTV?
14. Що таке конвергентні послуги? Які функції виконуються на рівні конвергенції послуг?
15. У чому полягає процес конвергенції застосовань і процес конвергенції на рівні пристроїв?
16. Перерахуйте основні показники функціональності конвергентної платформи надання послуг.
17. У чому полягає суть концепцій Triple Play і Quad Play? Назвіть їхні переваги і недоліки.
18. Перерахуйте особливості інформаційно-комунікаційних послуг та вимоги до платформ їх надання.

## Розділ 16. Конвергентні платформи надання послуг

### 16.1. Загальна характеристика технологій створення конвергентних платформ

Створення конвергентної платформи надання послуг, як уже зазначено в розділі 15 (п. 15.4), передбачає реалізацію концепції **ФМС** (конвергенції фіксованого та мобільного зв'язку), в якій основна роль належить операторам зв'язку. Якщо оператор володіє як фіксованою, так і мобільною мережами, план реалізації конвергентної платформи надання послуг може бути таким:

- створення конвергентного ядра IP/MPLS, що забезпечує транзит даних, голосу, відео та інформації сигналізації;
- організація мультисервісних мереж доступу для корпоративного ринку (для бізнес-клієнтів) і споживчого ринку (для приватних абонентів).

Існують три основні технології реалізації концепції **ФМС** – *Mobile IP*, *UMA*, і *IMS*. Розглянемо кожну з них детальніше.

**Mobile IP** – мобільний IP дає змогу опрозорити для прикладного процедури зміни IP-адрес на транспортному рівні. Технологію орієнтовано на підтримку мобільного доступу до даних у мережах WLAN, 3G, GPRS, зокрема роумінг та збереження сесії, якщо абоненти переміщуються. Процедуру збереження сесії у разі переміщення абонента між стільниками й підмережами називають «handover».



**UMA** (Unlicensed Mobile Access) – універсальний мобільний доступ, забезпечує надання послуг стільникового зв'язку через широкосмугову мережу IP. Дане рішення фактично емулює роботу GSM і GPRS через широкосмугову мережу IP (як повідомлення, так і сигналізацію). При цьому широкосмугова мережа IP функціонально виконує роль підсистеми базових станцій GSM, що через контролер взаємодіє з традиційним мобільним комутатором (Mobile Switching Centre, MSC) та устаткуванням сервісного вузла GPRS за звичайними інтерфейсами надання послуг комутації каналів і пакетних послуг відповідно. Такий підхід дає змогу UMA підтримувати безшовне передавання викликів між зоною стільникового покриття та широкосмуговою зоною IP за допомогою процедури handover між контролерами базових станцій.

**IMS** (IP-Multimedia Subsystem) – IP-підсистема мультимедійної зв'язку, є універсальною IP-орієнтованою, пакетною системою зв'язку, що забезпечує можливість формування й надання мультимедійних послуг, яка підтримує всі технології доступу, зокрема мобільний стільниковий зв'язок.

Технологія **IMS** здійснює особливу роль: вона є *сполучною ланкою* між фіксованими та мобільними платформами, забезпечуючи загальну базову функціональність, яку використовують усі застосовання IMS. Загальна функціональність передбачає автентифікацію та ідентифікацію користувачів, безпеку, облік, взаємодію з підсистемою забезпечення якості обслуговування, створення послуг, роумінг.

## 16.2. Концепція IMS

Концепція **IMS** (IP-підсистеми мультимедійного зв'язку) відкриває шлях до побудови універсальної глобальної мережевої інфраструктури. Концепція розроблена Міжнародним партнерством Європейського інституту зі стандартизації телекомунікацій (European Telecommunications Standardization Institute, **ETSI**) спільно з міжнародними й національними організаціями зі стандартизації. Результатом їхньої роботи став **проект партнерства 3G** (Third Generation Partnership Project, **3GPP**), основною особливістю якого є розробка архітектури, яка не залежить від технологій доступу, заснована на протоколі IP і здатна взаємодіяти з наявними мережами передавання мовлення та даних як стаціонарних, так і мобільних.

Хоча IMS спочатку розроблено для побудови мобільних мереж 3-го покоління на основі протоколу IP, надалі її версії було доповнено специфікаціями протоколів і інтерфейсів, необхідних для конвергенції стаціонарних і мобільних мереж на платформі IP, забезпечення QoS, безпеки, експлуатаційного керування та ін.

Причиною виникнення концепції IMS саме в середовищі розробників стандартів для мобільних мереж є те, що, як відомо, оператори стаціонарних мереж активно підтримують перехід від традиційних телефонних мереж до мереж наступного покоління NGN, а ідея побудови NGN виявилася привабливою також для мобільних операторів.

Однак слід зазначити, що основний технологічний принцип NGN – розділення транспортних процесів та процесів

керування викликами й сеансами на основі елементів платформи Softswitch – не було підтримано своєчасною розробкою відповідного набору стандартів. Це призвело до того, що мережеві елементи NGN, які поставляють різні виробники, часто виявляються несумісними між собою.

У мережах мобільних операторів, де одним із основних джерел доходів є роумінг, така несумісність є більш значним недоліком, ніж у стаціонарних мережах. Саме це й стимулювало активність міжнародних організацій (в першу чергу ETSI і 3GPP), які розпочали розробку нових принципів побудови й стандартів мобільних мереж 3G, ґрунтуючись на рівневій архітектурі NGN.

Таким чином, концепція IMS виникла в результаті долучення до архітектури мереж 3G зони керування мультимедійними викликами й сеансами на основі протоколу SIP.

Серед основних властивостей архітектури IMS можна виокремити такі, як:

- багаторівневність – розподілення рівнів транспорту, керування й застосовань;
- незалежність від середовища доступу – можливість конвергенції фіксованих і мобільних мереж;
- підтримування мультимедійного персонального обміну інформацією в реальному часі та аналогічного обміну інформацією між людьми та комп'ютерами (наприклад, ігри);

- повна інтеграція мультимедійних застосовань реального й нереального часу (наприклад, потокові програми та чати);
- можливість взаємодії різних видів послуг;
- можливість підтримування декількох служб у одному сеансі або організації декількох одночасних синхронізованих сеансів.

### *Архітектура IMS*

Принцип, на якому ґрунтується концепція IMS, полягає в тому, що постачання будь-якої послуги не співвідноситься з комунікаційною інфраструктурою (за винятком обмежень за пропускною здатністю). Втіленням цього принципу є багаторівневий підхід, який застосовують для побудови IMS. Він дає змогу реалізувати незалежний від технології доступу відкритий механізм доставки послуг, який уможлиблює залучення в мережі застосовань сторонніх постачальників послуг.

У складі IMS виділяють три рівні: *транспортний рівень*, *рівень керування* та *рівень послуг* (див. рис. 16.1).

**Транспортний рівень** відповідає за під'єднання абонентів до інфраструктури IMS за допомогою призначеного для користувача устаткування (User Equipment, UE). Функції даного обладнання може виконувати будь-який термінал IMS (наприклад, телефон (смартфон) 3G, ПК з підтримкою Wi-Fi або ж широкосмугового доступу). Також можливим є під'єднання через шлюзи не-IMS терміналів (наприклад, термінали TфЗК).

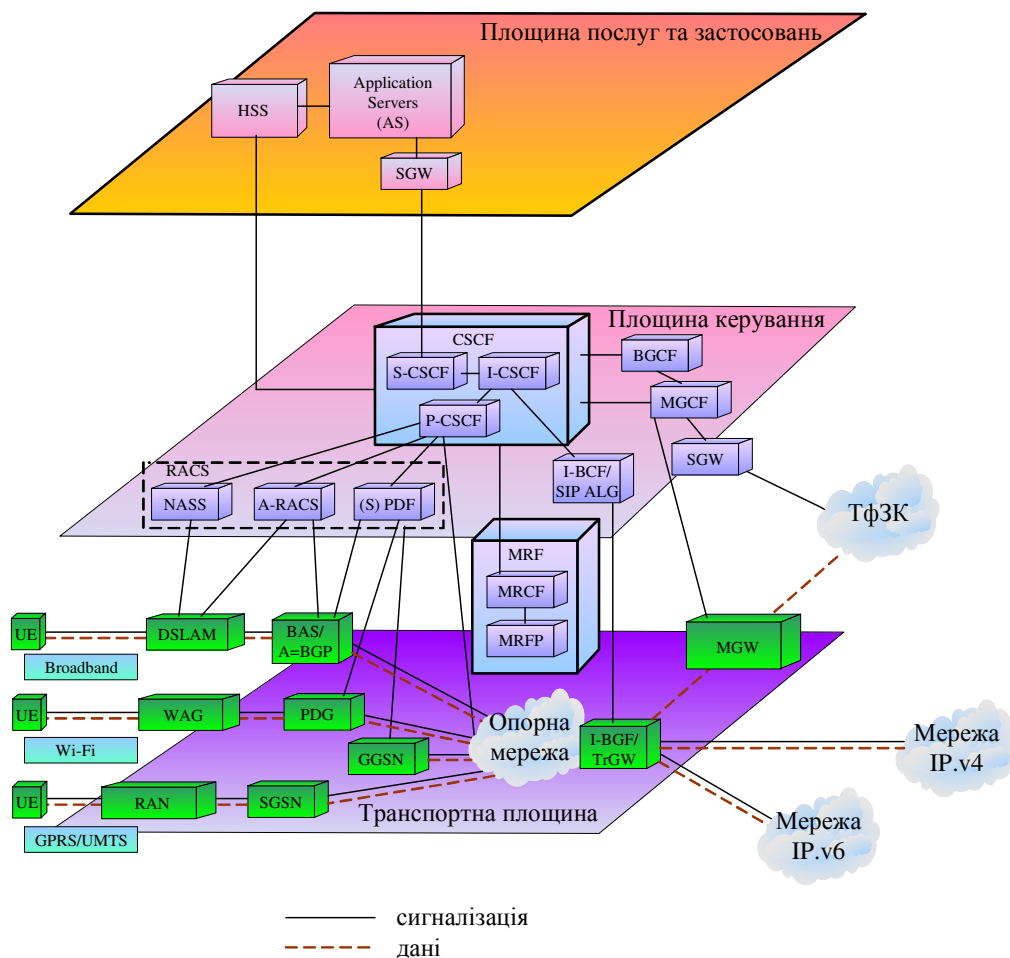


Рисунок 16.1. Архітектура IMS

Основним устаткуванням транспортної площини є:

- **MRF** (Media Resource Function) – медіа-сервер, складений з процесора мультимедійних ресурсів MRFP (Media Resource Function Processor) і контролера MRFC;

- **MRFC** забезпечує реалізацію таких послуг, як конференц-зв'язок, оповіщення або перекодування переданого сигналу;
- **MRFP** – процесор MRFP, розподіляє медіа-ресурси мережі відповідно до команд від MRFC; його основними функціями є обслуговування потоків мультимедійних даних для служб оповіщення, об'єднання вхідних мультимедіапотоків, оброблення потоків мультимедійних даних (наприклад, транскодування);
- **MGW** (Media GateWay) – транспортний шлюз, забезпечує пряме й зворотне перетворення потоків RTP у потоки мереж із комутацією каналів (ТфЗК);
- **I-BGF** (Interconnect Border Gateway Function) – міжмережевий прикордонний шлюз, забезпечує взаємодію між мережами, які працюють за протоколах IPv4 та IPv6, відповідає за функції безпеки (трансляцію адрес, функції firewall, інструменти QoS);
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node) – шлюзовий вузол GPRS або вузол маршрутизації, шлюз між мережею (її частиною – GPRS) та IMS; GGSN містить усю необхідну інформацію про мережі, куди абоненти GPRS можуть отримувати доступ, а також параметри з'єднання; основною функцією GGSN є маршрутизація даних, що йдуть до абонента і від нього через SGSN;
- **SGSN** (Serving GPRS Support Node) – вузол обслуговування абонентів GPRS, основний

компонент GPRS-системи для реалізації всіх функцій пакетного оброблення інформації;

- **RAN** – Radio Access Network – устаткування радіодоступу, забезпечує взаємодію IMS і стільникових систем зв'язку;
- **PDG** (Packet Data Gateway) – пакетний шлюз; даний мережевий елемент забезпечує доступ призначеного для користувача устаткування мережі бездротового абонентського доступу (WireLess Access Network, WLAN) до IMS; відповідає за трансляцію віддаленої IP-адреси, реєстрацію для користувача устаткування в IMS, забезпечує виконання функцій безпеки;
- **WAG** (Wireless Access Gateway) – шлюз безпроводового доступу, забезпечує з'єднання мереж WLAN і IMS;
- **A-BGF/BAS** (Access Border Gateway Function/Broadband Access Switch) забезпечує доступ широкосмугового користувальницького устаткування до IMS; виконує функції, аналогічні до I-BGF;
- **DSLAM** (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) – цифровий абонентський шлюз доступу; забезпечує з'єднання абонентів, які використовують широкосмуговий стаціонарний доступ (наприклад, xDSL, мережі кабельного ТВ) до IMS.

**Рівень керування** – це сукупність функцій IMS, які здійснюють усі дії щодо керування сесіями.

Основні елементи:

- **CSCF** (Call Session Control Function) – елемент з функціями керування викликами та сесіями; функція CSCF є основною на площині керування IMS-платформи. Модуль CSCF, використовуючи протокол SIP, виконує функції, що забезпечують доставку великої кількості послуг реального часу за допомогою транспорту IP. Функція CSCF використовує динамічну інформацію для ефективного керування мережевими ресурсами (межові пристрої, шлюзи та сервери застосовань) залежно від профілю користувачів і застосовань. Модуль CSCF, у свою чергу, містить три основні функції: Serving CSCF (S-CSCF), що обробляє всі SIP-повідомлення, якими обмінюються кінцеві пристрої; Proxy CSCF (P-CSCF), через яку в систему IMS надходить увесь користувацький трафік; Interrogating CSCF (I-CSCF), яка звертається з запитом до CSCF. (I-CSCF звертається до сервера HSS, щоб знайти S-CSCF для конкретного абонента, і таким чином забезпечує з'єднання з конкретною мережею).
- **S-CSCF** (Serving CSCF) забезпечує керування сеансами доставки мультимедійних повідомлень транспорту IP, зокрема реєстрацію терміналів, двобічну взаємодію з сервером HSS (отримання від нього даних користувача), аналіз повідомлення, маршрутизацію, керування мережевими ресурсами (шлюзами, серверами, прикордонними пристроями) залежно від застосовань і профілю користувача.



- **P-CSCF** (Proxy CSCF) створює першу контактну точку на сигнальному рівні всередині ядра IMS для терміналів IMS даної мережі. Функція P-CSCF приймає запит від або до терміналу та маршрутизує його до елементів ядра IMS. Обслуговуваний термінал користувача закріплюється за функцією P-CSCF при реєстрації в мережі на весь час реєстрації. Модуль P-CSCF реалізує функції, пов'язані з автентифікацією користувача, формує облікові записи й передає їх у сервер нарахування плати. Одним із елементів модуля P-CSCF є Policy Decision Function (PDF) – функція вибору політики, що оперує з характеристиками інформаційного трафіку (наприклад, необхідна пропускна здатність) та визначає можливість організації сеансу або його заборони, необхідність зміни параметрів сеансу та ін.
- **I-CSCF** (Interrogating CSCF) створює першу контактну точку на сигнальному рівні всередині ядра IMS для всіх зовнішніх з'єднань із абонентами цієї мережі або візитними абонентами, які тимчасово перебувають у мережі. Основне завдання модуля I-CSCF – ідентифікація привілеїв зовнішнього абонента з доступу до послуг, вибір відповідного сервера застосовань і забезпечення доступу до нього.
- **BGCF** (Breakout Gateway Control Function) – функція керування шлюзами, координує пересилання викликів між доменом комутації каналів (ТфЗК або GSM) і мережею IMS. Даний модуль здійснює маршрутизацію на основі телефонних номерів і

вибирає шлюз у домені комутації каналів (КК), через який мережа IMS (де розташовано сервер BGCF) взаємодіятиме з ТфЗК або GSM. Тут також проводиться генерація відповідних облікових записів для нарахування плати абонентам мереж КК.

- **MGCF** (Media GatewaysControl Function) – функція керування шлюзами (Media Gateways), керує з'єднаннями в транспортних шлюзах IMS.
- **SGW** (Signaling Gateway) – сигнальний шлюз, забезпечує перетворення сигналізації ТфЗК у вид, зрозумілий MGCF.
- **RACS** (The Resource and Access Control) – підсистема керування ресурсами й доступом, забезпечує функції керування доступом (на основі наявних у розпорядженні ресурсів, місцевої політики та авторизації на основі профілів користувачів) і входу в мережу за допомогою керування шлюзом (gate control), а також керування перетворенням мережевих адрес і портів та присвоєння пріоритету.
- **PDF** (Policy Decision Function) – функція вибору політики, що оперує з характеристиками інформаційного трафіку (наприклад, необхідна пропускна здатність), визначає можливість організації сеансу або його заборони, необхідність зміни параметрів сеансу та ін.
- **NASS** (Network Attachment Subsystem) – підсистема під'єднання мережі. Її основними завданнями є динамічне призначення IP-адрес (використовуючи DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol),

автентифікація на рівні IP, авторизація доступу до мережі, керування місцезнаходженням на рівні IP.

**Рівень застосовань** – верхній рівень архітектури IMS. Він містить набір серверів застосовань, які не є елементами IMS. Застосованнями є як мультимедійні IP-застосовання, так і застосовання, реалізовані в мобільних мережах. Основною перевагою рівня застосовань IMS є висока гнучкість у створенні нових та інтеграції з традиційними застосованнями. Наприклад, традиційні властивості телефонного дзвінка можуть бути інтегровані з викликом Інтернет. Для цього архітектура IMS дає змогу запустити велику кількість послуг і керувати транзакціями між ними.

Рівень застосовань у IMS подано таким набором серверів:

- **SCIM** (Service Capability Interaction Manager) забезпечує керування взаємодією площини застосовань і ядра IMS.
- **SIP AS** (SIP Application Server) – сервер застосовань, який виконує послуги, основані на протоколі SIP; усі нові послуги в IMS знаходитимуться на цьому сервері.
- **OSA-SCS** (Open Service Access – Service Capability Server) – сервер, який забезпечує послуги можливості доступу до мережеских функцій за допомогою стандартного програмного інтерфейсу застосовань OSA (див.: розділ 5 частини III).

- **IM-SSF** (IP Multimedia – Service Switching Function) – сервер комутації послуги, поєднує підсистеми IMS з послугами в системі пристосованих до користувача застосовань для удосконалення логіки мобільної мережі (Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic, CAMEL) (ідеться про послуги, розроблені для глобальної системи мобільного зв'язку GSM, а за допомогою функції IM-SSF (функція комутації послуг) використання даних послуг є можливим і в IMS).
- **TAS** (Telephony Application Server) – сервер телефонних застосовань, приймає й обробляє повідомлення протоколу SIP, а також визначає, яким чином треба ініціювати вихідний дзвінок. Сервісна логіка TAS забезпечує базові сервіси оброблення викликів, серед яких аналіз цифр, маршрутизацію, встановлення, очікування й переспрямування викликів, конференц-зв'язок та ін. TAS також забезпечує сервісну логіку для звернення до медіа сервера, якщо виникає необхідність відтворити повідомлення й сигнал проходження виклику. Якщо виклик ініційовано або терміновано в ТфЗК, сервер TAS відповідає за сигналізацію SIP до функції MGCF для видачі команди медіашлюзам до перетворення бітів мовленнєвого потоку TDM (ТфЗК) у потік IP RTP і спрямування його на IP-адресу відповідного IP-телефону. В одному повідомленні IMS можуть міститися дані про декілька TAS, що надають певні послуги різних типів абонентських пристроїв.

Наприклад, один сервер TAS надає послуги IP Centrex (плани нумерації, загальні довідники, автоматичне розподілення викликів та ін.), інший сервер підтримує АТС і надає послуги VPN. Взаємодія кількох серверів застосовань здійснюється за допомогою сигналізації SIP-I для завершення викликів між абонентськими пристроями різних класів.

- **HSS** (Home Subscriber Server) – сервер домашніх абонентів, діє як відкрита база даних про кожного користувача та про послуги, до яких звертається абонент: які послуги передплачені, чи активізовано ці послуги, які параметри керування були налаштовані. Даний сервер є аналогічним до елементу мереж GSM – серверу HLR (Home Location Register), що є базою даних користувача. Сервер HSS забезпечує відкритий доступ у режимі читання/запису до індивідуальних даних користувача, пов'язаних з послугами. Доступ здійснюється з різних точок закінчення, таких як телефон, додатки Web та SMS, телевізійні приставки типу set-top box та ін. У HSS реалізується також функція SLF (Subscription Locator Function), яка визначає положення бази даних, що містить дані конкретного абонента, у відповідь на запит від модуля I-CSCF або від сервера застосовань. До складу сервера HSS входять також модулі HLR і AuC (Authentication Center) для роботи з мережами 2G.

### 16.3. Стандартизація IMS

Уперше концепцію IMS було подано в документі **Release 5 3GPP** 2002 року. У ньому було сформульовано основну мету даної концепції – підтримувати мультимедійні послуги в мобільних мережах на основі протоколу IP, та специфіковано механізми взаємодії мобільних мереж 3G на основі архітектури IMS з безпроводовими мережами 2G.

Стандартизація архітектури IMS є предметом зосередженої уваги широкого кола міжнародних організацій завдяки *ключовій ролі IMS у еволюції мереж у напрямку до NGN*. Концепція IMS є, передусім, результатом робіт трьох міжнародних організацій зі стандартизації – 3GPP, 3GPP2 та ETSI.

Партнерство для створення проекту 3-го покоління 3GPP розпочато наприкінці 1998 р. за ініціативою Європейського інституту стандартизації телекомунікацій **ETSI** з метою розробки технічних специфікацій і стандартів для мобільних мереж зв'язку 3-го покоління (мереж Універсальної мобільного телекомунікаційної системи – UMTS), які основані на мережах GSM, які розвиваються.

Партнерство 3GPP2 (3 Generation Partnership Project 2) виникло 1998 року також за ініціативою ETSI і ITU для розробки стандартів мереж 3G (мережі CDMA-2000) у рамках проекту IMT-2000, створеного під егідою ITU. Основним вкладом організації 3GPP2 у розвиток стандартів для мобільних мереж 3G стало поширення концепції IMS на мережі CDMA2000 (IP-транспорт, SIP-сигналізація).

Обидва партнерства розробляють стандарти мереж 3G, орієнтуючись на широке застосування IP-орієнтованих протоколів, стандартизованих Комітетом IETF, і використовуючи основні ідеї архітектури NGN.

2003 року в документі Release 6 3GPP деякі положення концепції IMS було уточнено, додано питання взаємодії з бездротовими локальними мережами та захисту інформації (використання ключів, абонентських сертифікатів).

У Release 6 і Release 7 визначено ідеологію здійснення IP-комунікацій за допомогою SIP. Відповідно до неї SIP починається безпосередньо з мобільного терміналу.

Специфікація Release 7 долучає дві основні функції, які є ключовими у стаціонарних мережах:

- Network Attachment, яка забезпечує механізм автентифікації абонентів і є необхідною в стаціонарних мережах, оскільки в них відсутні SIM-картки ідентифікації користувача;
- Resource Admission резервує мережеві ресурси в стаціонарних мережах для забезпечення сеансів зв'язку.

Інтерес до архітектури IMS з боку ETSI привів до створення 2003 року нової робочої групи, яка об'єднала відому групу TIPHON (Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks) і Технічний комітет SPAN (Services and Protocols for Advanced Networks), який відповідає за стандартизацію стаціонарних мереж.

Нова група, яка отримала назву **TISPAN** (Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking), відповідає за стандартизацію конвергувальних і перспективних мереж. Її роботи, спрямовані на розширення концепції IMS на наземних лініях, зокрема VoIP і NGN, а також на все, що пов'язано з самою архітектурою IMS.

#### **16.4. Перспективи впровадження UMA та IMS**

Єдиної думки про те, як і коли слід переходити на конвергентні платформи надання послуг, не існує. Найбільші витрати з впровадження конвергентних послуг несе, безумовно, мережевий оператор. Вибір технології для побудови конвергентної платформи надання послуг визначатиметься моделлю ведення бізнесу оператора та його вимогами. Якщо оператор мобільного зв'язку прагне лише збільшити покриття за рахунок широкопasmової мережі, перевага буде надана UMA. У даній моделі керування викликами навіть у широкопasmовій частині, як і раніше, лежить на центрі комутації мережі мобільного зв'язку, а набір послуг обмежено наявними послугами 2G/2.5G – мобільним голосом та передаванням даних. Перевагами UMA є повне підтримування функції хендовер (handover) і мінімальні зміни в наявних системах експлуатаційної підтримки.

Архітектура IMS ідеально підтримує модель партнерства у процесі виходу на ринок з послугами FMC, оскільки основана на протоколі SIP. Вона створює умови для розширення спектру послуг, підтримує нові мультимедійні



послуги IMS. Підтримка функції хендовер в цій архітектурі також є присутньою, що продемонструвала компанія Cisco Systems для приватних абонентів.

Важливою перевагою IMS є також різноманітність підтримуваних інтерфейсів, що дає змогу адаптувати операторські послуги для різних терміналів незалежно від типу мережі.

Зазначимо, що перші програми IMS у мобільному зв'язку буде сфокусовано на послугах, не пов'язаних з двостороннім (дуплексним) спілкуванням. Це обумовлено тим, що традиційна мережа радіодоступу поки що має значні обмеження у доставці VoIP. При переході на VoIP слід звернутися за допомогою до сервіс-провайдерів, адже вони, крім іншого, здатні запропонувати й керовані послуги – кероване передавання голосу по IP і керовану безпеку.

Очевидно, що сервіс-провайдери повинні вносити інвестиції в мережеву інфраструктуру IMS, так як від IMS вони отримують все необхідне для надання конвергентних мультимедійних послуг.

Таким чином, можна припустити, що за умови збереження теперішніх темпів розвитку операторами конвергентних платформ, а також розвитку мобільних мереж третього покоління вже в недалекому майбутньому конвергентні послуги стануть настільки ж звичною частиною нашого життя, як телефон, Інтернет і телевізор. Завдяки цьому оператори зможуть значно знизити собівартість впровадження нових сервісів, а абоненти отримають різноманітні послуги, для доступу до яких буде достатнім один багатofункціональний пристрій.

## Контрольні питання

1. Опишіть план реалізації конвергентної платформи надання послуг.
2. У чому полягає суть концепції FMC, і які основні технології застосовують для її реалізації?
3. У чому полягає особливість концепції IMS?
4. Охарактеризуйте основні властивості архітектури IMS.
5. Перерахуйте основне обладнання транспортної площини архітектури IMS.
6. Перерахуйте основні елементи рівня керування та його функції.
7. Охарактеризуйте набір серверів рівня застосовань у IMS.
8. Чому стандартизація архітектури IMS є предметом уваги широкого кола міжнародних організацій? Які організації беруть участь у стандартизації IMS?
9. Охарактеризуйте перспективи переходу на конвергентні платформи надання послуг? У чому складність такого переходу?

## Розділ 17. Відкритий доступ до послуг

Складність практичної реалізації конвергентних платформ надання послуг полягає в тому, що наявні мережі фіксованого зв'язку, мобільного зв'язку та Інтернет спочатку будували за різними стандартами, тому *програмне забезпечення однієї мережі на іншу не можна перенести*. Це означає, що для забезпечення однакового набору послуг неможливо створити універсальні для цих мереж застосовання, що, природно, гальмує розвиток ринку послуг.

У зв'язку з цим постає завдання *досягти універсальності, звертаючись до застосовань і нових послуг на сервісному рівні мереж*. Вирішенню цього завдання присвячено розробки *інтерфейсів прикладного програмування, заснованих на відкритих стандартах, і архітектури відкритого доступу до послуг*.

### 17.1. Відкриті стандарти інтерфейсів прикладного програмування

**Прикладний програмний інтерфейс** (Applied Programming Interface, **API**), який ще називають *інтерфейсом прикладного програмування*, – це набір стандартних програмних переривань, викликів процедур і форматів даних, які використовує застосовання для запиту та отримання від телекомунікаційного протоколу певних сервісів.

API визначає рівень абстракції вихідного тексту прикладної програми, що дає змогу переносити його на функціональні елементи мережі з різними процесорами й

технологічними особливостями для безпосереднього виконання. Таким чином, API стають незалежними від протоколів і технологій, які застосовуються усередині мережі.

API стандартизуються для того, щоб будь-який сторонній програміст-розробник міг створювати застосовання, витрачаючи мінімум зусиль і часу. Таким чином, будь-які нові програми та послуги можна розробляти, застосовуючи звичні інструментарії для програмування без урахування специфіки роботи мережі, детального знання сигналізації SS-7, протоколу ініціювання сесій SIP та ін. Достатнім є лише чітко дотримуватися інтерфейсів API.

Нижче наводимо основні використовувані відкриті стандарти API.

**API-Parlay** – API платформи для розробки, інтеграції та розгортання застосовань на основі технології Java. Розробку стандартів API-Parlay здійснює **Parlay Group** – консорціум розробників програмного забезпечення інформаційно-комунікаційних послуг. Відмінною особливістю цієї платформи є поєднання її функціональних можливостей з масштабованістю сучасних мереж, що дає змогу забезпечити підтримку різноманітних типів переданих даних, застосовань і клієнтських середовищ та спростити та пришвидшити розробку послуг та програм, використовуючи розподілені та розширювані компоненти на основі технології Java.

**API-JAIN** – API розвинутої інтелектуальної мережі IN на базі Java (Java Advanced Intelligent Network, **JAIN**). JAIN дає змогу здійснювати інтеграцію протоколів IP-мереж і IN, забезпечуючи новий рівень абстракції, оскільки має відповідні Java-інтерфейси для створення послуг у мережах ТфЗК, IP або

ATM. Окрім того, JAIN забезпечує перенесення послуг, конвергенцію мереж і захищений доступ як до телефонних послуг, так і до послуг мереж передавання даних.

**API-CORBA** – API архітектури брокера запитів до об'єктів (Common Object Request Broker Architecture, CORBA). CORBA є відкритою, незалежною від постачальників архітектурою, яку використовують прикладні обчислювальні системи для забезпечення спільної роботи в комп'ютерних мережах.

**API** побудовано з використанням розширюваної мови розмітки XML – мови NXML. NXML застосовується як стандартний спосіб обміну інформацією в середовищах, де не використовують загальні платформи. Побудова API для механізмів дистанційного виклику процедури на базі XML дає простий та розширюваний спосіб обміну даними з пристроєм. Цю технологію найчастіше використовують для створення web-сервісів та для забезпечення їх взаємодії з клієнтським процесом.

## **17.2. Концепція відкритого доступу до послуг (OSA)**

Наявність відкритих стандартів прикладних програмних інтерфейсів API хоча й сприяє швидкому створенню та впровадженню нових застосовань, але не зовсім вирішує завдання оперативного введення в експлуатацію нових комунікаційних послуг, тому що *звернення різних мережевих платформ до застосовань не є універсальним*.

Виникає необхідність долучити проміжну ланку – міст між розробниками застосовань і мережевими операторами.

Ідея створення такого «мосту» породила концепцію, що отримала відповідно до рекомендацій ETSI назву **відкритого доступу до послуг** (Open System Access, **OSA**).

Ідея концепції OSA полягає в тому, *щоб забезпечити мережеві елементи, які працюють за різними протоколами, можливістю взаємодіяти з застосованнями та послугами через стандартні інтерфейси API за допомогою сервера доступу до послуг*. Даний сервер призначено для втілення ідеї «мосту», тобто шлюзу.

Концепція OSA передбачає також реалізацію єдиних засобів і способів керування як уже наявними мережами, так розроблюваними конвергентними платформами у процесі надання комунікаційних послуг. Відповідно до концепції OSA елементи керування мережею є незалежними від протоколів і технологій, які застосовують усередині самої мережі, настільки, наскільки це є можливим і необхідним. Зважаючи на те, цей рівень є прикладним, дані елементи керування, закономірно, повинні дотримуватися інтерфейсів API.

Сервери застосовань можуть перебувати поза зоною мережевого оператора, як, наприклад, це передбачено в технології побудови розподілених інформаційних систем CORBA. Дозволяючи серверам застосовань керувати мережею ззовні, можна, проте, гарантувати безпеку мережі, що можна досягти автентифікацією застосовань, використовуючи міжмережеві екрани. При переході до мереж NGN програмний комутатор Softswitch також буде взмозі керувати серверами застосовань саме через API-Parlay.

Створюючи конвергентні платформи на основі OSA, передбачають такі принципово важливі аспекти:

- відкрите середовище для створення послуг;
- відкрита платформа керування послугами.

Слід зазначити, що концепція OSA використовує багато положень концепції інтелектуальної мережі IN, зокрема, принцип програмного формування компонентів основної послуги та додаткових видів обслуговування, програмну модель виклику та поняття "тригера" як точки виявлення запиту на додаткову послугу (див. п. 8.3).

**Відкрите середовище для створення послуг**, в рамках концепції OSA, в усьому базується на стандартних API та передбачає розробку нових програмних блоків послуг і конструювання послуги, використовуючи спеціальні інструментальні засоби програмування. Закладені в ці засоби принципи модульності дають змоги сервіс-провайдеру самостійно комбінувати й налаштовувати програмні компоненти в своїй мережі.

OSA дає можливість операторам і сервіс-провайдерам інтегрувати в мережі застосовання від різних сторонніх виробників, а також розробляти свої власні програми.

Інтерфейси API розміщують на **серверах застосовань**, забезпечуючи доступ до інфокомунікаційних послуг. Використання API та протоколу ініціації сесії SIP дає змогу легко долучати нові послуги. На сервері застосовань можна розміщувати також моделі традиційної інтелектуальної мережі IN та необхідні для неї протоколи сигналізації SS-7. І, нарешті, сервер застосовань і абонент, якому надають послугу, можуть знаходитися в мережах, що належать різним операторам.

**Відкрита платформа керування послугами** містить такі елементи, як *медіасервер* і *транспортні шлюзи*.

**Медіасервери** призначено для реалізації послуг, забезпечуючи спеціалізовані ресурси, такі, наприклад, як засоби конференц-зв'язку, інтерактивну мовленнєву систему, факсимільне передавання та ін. Медіасервер і сервери застосовань є незалежними пристроями, але можуть розгортатися як на окремих фізичних платформах, так і на одній платформі. Сервер застосовань може використовувати ресурси, розташовані на медіасервері, наприклад, для забезпечення послуг, які вимагають доступу до мультимедійної інформації користувача. Якщо сервер застосовань використовується в поєднанні з медіасервером, то логіка послуг у сервері застосовань має доступ до всіх подій у процесі обслуговування виклику засобами протоколу SIP.

**Транспортні шлюзи** – це сервери, налаштовані в режимі шлюзу, тобто комунікаційного устаткування (на відміну від серверів застосовань і медіасерверів, які налаштовані в режимі хосту). Транспортні шлюзи завжди розташовуються на межі мережі, а медіасервери можуть розташовуватися як на межі, так і в ядрі мережі. Крім своїх основних функцій – сполучування сегментів мереж різних операторів– транспортні шлюзи можуть виконувати обробку інформації користувачів спільно з медіасервером.

Таким чином, операторам зв'язку надано всі механізми, що дають змогу швидко та гнучко розгортати, а також змінювати послуги залежно від індивідуальних потреб користувачів.



### 17.3. Архітектура OSA/Parlay

Упродовж декількох років різні організації пропонували кілька варіантів реалізації концепції OSA, допоки 1998 року не було засновано консорціум **Parlay Group**, до якого ввійшли провідні світові розробники програмних продуктів, телекомунікаційних рішень, а також оператори зв'язку.

Окрім створення відкритих специфікацій **API**, група Parlay розробила архітектуру, яка стала однією з визнаних практичних реалізацій концепції відкритого доступу до послуг. Вона отримала назву «**архітектура OSA/Parlay**».

Основу архітектури складають три типи компонентів: *застосовання*, *шлюз доступу до послуг* та *функціональні мережеві елементи* (див. рис. 17.1).

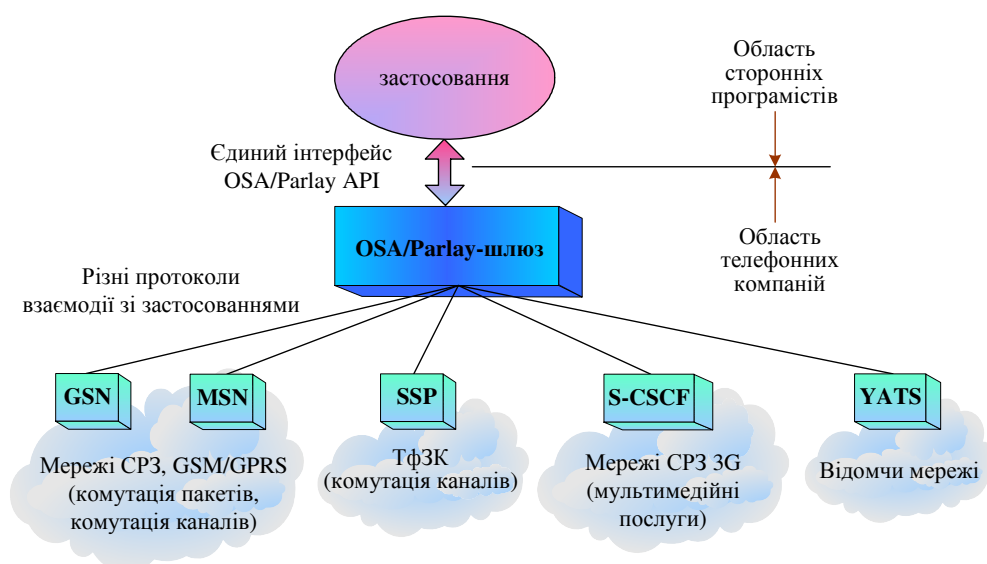


Рисунок 17.1. Архітектура OSA/Parlay  
CP3 – система рухомого зв'язку

Архітектура OSA визначає набір **функціональних мережевих елементів**, взаємодію яких із застосуваннями можна реалізувати через API за допомогою **OSA/Parlay-шлюзу**.

Як показано на рисунку 17.1, різні мережі зв'язку мають різні функціональні мережеві елементи, зокрема:

- у мережах мобільного зв'язку виокремлюють **SGSN** (Serving GPRS Support Node) – сервісний опорний вузол GPRS і **MSC** (Mobile Switching Center) – центр комутації мобільного зв'язку;
- у телефонній мережі загального користування – **SSP** (Service Switching Point), який є вузлом комутації послуг (IN);
- у мобільних мережах 3G – **S-CSCF** (Serving Call Session Control Function), тобто функціональний елемент керування сесією виклику послуг;
- у відомчих мережах зв'язку – установчі АТС (Private Branch Exchange, **PBX**).

Кожен із перерахованих функціональних елементів виходить на OSA/Parlay-шлюз за своїм власним протоколу, а завдання шлюзу за концепцією OSA полягає в тому, щоб звести всі протоколи до єдиних інтерфейсів API.

## Контрольні питання

1. Яким чином, звертаючись до застосовань і нових послуг мереж на сервісному рівні, можна досягти їх універсальності?
2. Що розуміють під інтерфейсом прикладного програмування API?
3. З якою метою стандартизують прикладні програмні інтерфейси?
4. Перерахуйте та охарактеризуйте основні використовувані відкриті стандарти API.
5. У чому полягає суть концепції відкритого доступу до послуг OSA?
6. Що розуміють під «відкритим середовищем для створення послуг» та «відкритою платформою керування послугами»?
7. Перерахуйте та охарактеризуйте основні елементи відкритої платформи керування послугами.
8. Що таке архітектура OSA/Parlay?
9. Чим обумовлено відмінності функціональних мережевих елементів архітектури OSA/Parlay?
10. Яке завдання виконує OSA/Parlay-шлюз?

## Розділ 18. Мережеві застосування

Усі протоколи, мережеві функції, загалом архітектура зв'язку, які були описані в частині I й частині II, повинні служити єдиній цілі – підтримці мережевих застосувань, що розосереджені на величезній кількості прикінцевих систем мережі. Ці застосування займають верхні рівні у протокольних моделях. В моделі OSI/ISO вони підтримуються безпосередньо представницьким рівнем, а в стеку TCP/IP – працюють на базі протоколів TCP і UDP.

У цьому розділі розглядаємо деякі програми та технології прикладного рівня, які є найбільш суттєвими в мережевому масштабі.

### 18.1. IP-телефонія

**IP-телефонія** – це найбільш розповсюджена форма надання послуги VoIP. Вона завдає серйозну конкуренцію традиційній телефонії. IP-телефонія забезпечує передавання не тільки голосу, а й факсу (а також пов'язані з цим сервіси) частково або повністю через пакетні мережі на основі протоколу IP. Поняття «IP-телефонія» вживають також у тих випадках, коли голос і факс передають разом з іншими видами інформації, зокрема з текстом і зображенням. Крім «IP-телефонії» як синонім використовують також термін «**Інтернет-телефонія**», коли послуги IP-телефонії в повному обсязі здійснюються через Інтернет.

Найпростіший спосіб передавання мовлення пакетами через Інтернет потребує два комп'ютери, обладнані

мікрофонами, динаміками, звуковими картами з підтримкою цифрування звуку та не дуже складним програмним забезпеченням, яке уможливило двосторонній діалог через Інтернет у реальному масштабі часу. При цьому абонентам звичайно треба знати IP-адресу комп'ютера співрозмовника. Найбільшою перевагою IP-телефонії в такому варіанті є низька вартість послуги, порівнянно з традиційною телефонією, які обмежується лише невеликою платою за трафік Інтернет.

Деякий час IP-телефонія існувала саме у такий спосіб. Однак, низка якість мовлення потребувала домовлятися про час розмови, вибирати момент для більш якісного передавання мовлення, коли трафік Інтернету між конкретними пунктами не мав значних перевантажень та затримувань. Крім того, через відсутність стандартів на обох комп'ютерах, потрібно було налаштовувати таке програмне забезпечення, щоб спосіб кодування голосу й пакування був однаковим. Взаємодію між комп'ютером і телефоном, під'єднаним до звичайної телефонної мережі, не було передбачено.

### ***Стандарти IP-телефонії***

З появою стандартів IP-телефонії, перш за все стандартів групи H.323 ситуація суттєво змінилась. Розробники цих стандартів ґрунтувалися на тому, що два типи мереж – ТфЗК та IP-мережі – співіснувати досить тривалий час, а отже, важливим було регламентувати їх взаємодію, враховуючи наявні в традиційних телефонних мережах процедури налаштування з'єднання, а також домовлятися про спосіб передавання виклику й самого голосу IP- мережею.

У стандартах H.323 визначено дві групи протоколів – *протоколи транспортної площині* (transport plane), яку називають також *площиною користувача* (user plane), та *протоколи площини керування викликами* (call control plane) (див. рис. 18.1).

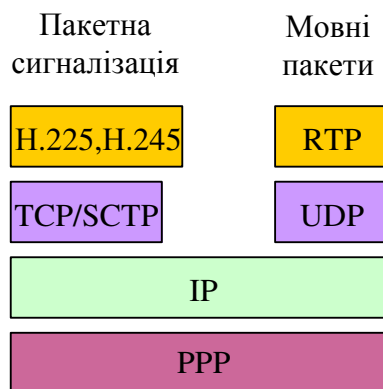


Рисунок 18.1. Протоколи IP-телефонії

**Протоколи транспортної площині** (RTP, UDP, IP, PPP) займаються безпосередньою передаванням голосу мережею з комутацією пакетів.

**Протоколи площини керування викликами** переносять мережею запити на з'єднання. До них належать такі протоколи: протокол керування з'єднанням H. 225 і протокол керуванням логічним каналом H.245, які працюють сумісно з протоколом TCP, IP й PPP. Протокол керування взаємодією площини застосувань та ядра (Service Capability Interaction Manager, **SCTP**) реалізує такі службові функції, як авторизацію доступу абонента до мережі та облік часу з'єднання.

На рисунку 18.2 наведено узагальнену схему взаємодії ТфЗК та ІР-мережі на базі стандартів Н.323.

Основними елементами мережі Н.323 є **ІР-телефони**, які під'єднано безпосередньо до мережі ІР, і **шлюзи (gateway)**, які зв'язують традиційну телефонну мережу з ІР-мережею та забезпечують трансляцію пакетованого цифрованого й стиснутого голосу в цифрову або аналогову форму, придатну для передавання ТфЗК. Крім того, функціями шлюзу Н.323 є трансляція протоколів сигналізації телефонних мереж, таких, як R2, Q.931 або СС-7, у протоколи сигналізації стеку Н.323. Шлюз дає змогу абонентам, які мають звичайний телефонний апарат, спілкуватися з користувачами ІР-телефонів або ж використовувати ІР-мережу як транзитну.



Рисунок 18.2. Схема міжоператорської взаємодії в ІР-телефонії

Основним завданням керування викликами є вибір шляху в мережі з комутацією пакетів, що також можна вирішити, застосовуючи шлюзи.

Для більш загальних потреб замість шлюзу може бути використано спеціальний елемент мережі – **брамник** (gatekeeper). Брамник виконує реєстрацію та авторизацію абонентів, у разі потреби – трансляцію адрес (наприклад, імен DNS у телефонні номери), а також займається маршрутизацією викликів до IP-телефону, а якщо необхідно – то й до іншого брамника. Звичайно, один брамник обслуговує так звану зону, тобто частину мережі, якою адміністративно керує одна організація.

Всі функції брамника в архітектурі H.323 можуть виконувати також *термінальні пристрої* – телефони та шлюзи, але таке рішення погано масштабувати, а потік викликів складно контролювати й тарифікувати.

Разсмотрена схема реалізації загальнодоступних послуг IP-телефонії набула популярності в усьому. Для її реалізації оператору зв'язку не треба створювати власну дорогу транспортну інфраструктуру та мати безпосередній доступ до абонентів. Проте стратегічні перспективи такого підходу залишають бажати кращого через невисокий ступінь масштабованості та вузький спектр послуг.

Масштабованість обмежується кількома чинниками. По-перше, сервіс-провайдеру доводиться налаштовувати численні одноразові зв'язки зі своїми бізнес-суперниками. По-друге, протоколи обох площин необхідно реалізовувати в усіх елементах мережі IP-телефонії: і у брамника, і в шлюзах, і в терміналах, що ускладнює та підвищує вартість усіх цих



пристроїв. І, нарешті, користувачам надають тільки основні послуги з обробки викликів, оскільки не відбувається взаємодія з протоколами міжстанційної сигналізації СС-7 та з послугами інтелектуальної мережі ІN. Ці недоліки спричиняють стандарти Н.323, у яких чітко не зазначено те, які протоколи сигналізації повинен підтримувати шлюз з боку телефонної мережі. Перелік додаткових послуг з обробки викликів визначено в специфікації Н.450. Таким чином, це передусім є вадою реалізації шлюзів даного покоління, у яких підтримка СС-7 і ІN, як правило, була відсутня.

Крім того, діалог з сервером інтерактивної голосової відповіді для автентифікації абонента та призначення номера абонента, якого викликає міжнародної ІР-телефонії, не є комфортним. Для цього сервіс-провайдеру потрібно мати прямий доступ до абонента, якого викликають, або домовленість з місцевими операторами про переадресацію таких викликів на відповідний шлюз за допомогою засобів інтелектуальної мережі, які, поки можуть підтримувати не всі місцеві оператори. Таким чином, для виходу ІР-телефонії на більш високий рівень національного або міжнародного оператора необхідними є інші стандарти та устаткування, щоб мережі, побудовані на основі протоколу ІР, могли рівноправно співіснувати з традиційними телефонними мережами. Більшість із необхідних стандартів втілено в новому поколінні обладнання, яке є основою *інфокомунікаційного* етапу розвитку ІР-телефонії.

## *IP-телефонія в мережах наступного покоління*

Збільшену схему повномасштабної мережі IP-телефонії наведено на рисунку 18.3. Така мережа може підтримувати власних абонентів та бути транзитною мережею для традиційних телефонних мереж, які надаватимуть повний спектр послуг, серед котрих – послуги інтелектуальної мережі IN.

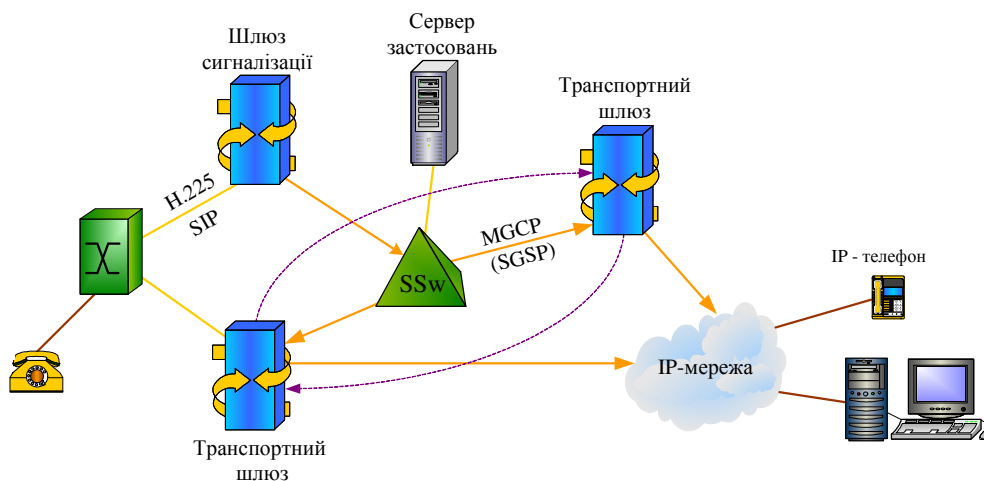


Рисунок 18.3. Схема IP-телефонії інфокомунікаційного етапу

Ця мережа вирізняється декількома особливостями. У вузлах IP-телефонії нового покоління відбулося чітке розділення функцій на три групи – *транспортну, керування викликами та групу прикладних сервісів*.

**Транспортну групу** сформовано шляхом відділення від шлюзу функціональної частини, яка виконує операцію комутації між вхідними й вихідними портами (фізичними або віртуальними). Цей елемент називають *транспортним*

*шлюзом*. Він є своєрідним аналогом комутаційного поля телефонної станції.

Наступну групу – **керування викликами** – складають протоколи сигналізації IP-телефонії: H.225. із стандарту H.323 і протокол ініціалізації сесії – SIP. До цієї групи також належать протоколи керування транспортними шлюзами, які ініціюють дії з комутації портів. Всі перераховані базові функції з обробки викликів реалізуює один пристрій – програмний комутатор Softswitch.

Третя група функцій утворює **рівень сервісів**, які реалізують у вигляді звичайних мережевих застосовань *універсальні сервери застосовань*. Прикладами таких сервісів є ініціація телефонного виклику натисканням певної кнопки сторінки Web, передавання виклику абонентові, під'єднаного до Інтернету телефонною мережею, а також послуги інтелектуальної мережі. У мережах IP-телефонії попереднього етапу рівень сервісів практично був відсутнім, а призначені користувачеві послуги надавав тільки *сервер інтерактивної мовленнєвої системи* (Interactiv Voice Response, **IVR**), а інші прикладні програмні системи цього рівня реалізовували внутрішні для сервіс-провайдера функції – автентифікацію, білінг та ін. Зараз він підтримує весь спектр додаткових послуг, які можуть надавати для абонентів розвинені телефонні комутатори міського типу, також за допомогою інтелектуальної мережі: *переадресацію дзвінків у урахуванням різних умов, телеголосування, безкоштовний дзвінок, дзвінок за спеціальним тарифом, скорочений набір* та ін.

Взаємодія між рівнями здійснюється через стандартні інтерфейси, що створює передумови для побудови телефонних

вузлів IP-телефонії на основі продуктів різних виробників із застосуванням загальноприйнятих способів оброблення викликів.

Масштабованість комутації та незалежність транспортного рівня від рівня керування викликами в новому поколінні вузлів IP-телефонії досягається завдяки застосуванню концепції програмного комутатора Softswitch. Вона виділяє в архітектурі розподіленого вузла IP-телефонії деякий загальний елемент. Даний елемент керування відповідає за обробку повідомлень протоколів сигналізації, на підставі яких відбуваються з'єднання, наприклад протоколу H.225 стеку H.323, протоколу налаштування з'єднань SIP або ж протоколу сигналізації SS-7.

За допомогою спеціального протоколу Softswitch керує транспортними шлюзами, які в решті-решт і здійснюють комутацію голосових каналів. Для керування шлюзами можна використовувати декілька близьких за логікою роботи протоколів – *простий протокол керування шлюзами* (Simple Gateway Control Protocol, **SGCP**), *протокол керування середовищем транспортних шлюзів* (Media Gateway Control Protocol, **MGCP**) або протокол **MEGACO/H.248** (за назвою робочої групи MEGACO). Власне, стандартом, прийнятим як IETF, так і ITU-T, є протокол MEGACO/H.248, а й попередники цього стандарту – протоколи SGCP і MGCP – успішно реалізуються в продуктах різних виробників.

За допомогою одного з названих протоколів програмний комутатор з'ясовує деталі поточного стану з'єднань і портів шлюзу, передає йому вказівки про те, яку пару портів (фізичних або логічних) потрібно з'єднати, а також видає йому

деякі інші приписи. Таким чином, реалізація шлюзу може бути досить простою, а весь інтелект керування з'єднаннями переміщено на рівень Softswitch, який у моделі розподіленої комутації керує одночасно декількома шлюзами.

У протоколах SGCP, MGCP і MEGACO/H.248 елемент керування називають *агентом виклику* (call agent), однак програмний комутатор – це більше, ніж тільки агент керування викликами. Зазвичай, у продукт з маркою Softswitch виробники вміщують елементи рівня керування викликами декількох стандартів, щоб такий програмний комутатор міг взаємодіяти з іншими зонами телефонної мережі за найбільш популярних протоколах сигналізації. Так, програмний комутатор може містити брамник H.323, сервери стандарту SIP (проху-сервер, сервер переадресації та сервер визначення місця розташування користувачів), а також шлюзи телефонної сигналізації для перетворення протоколів телефонних мереж, таких, як E1 CAS, ISDN Q.931 і CC-7 у протоколи сигналізації IP-телефонії ті ж SIP та H.225 стандарта H.323. Широка підтримка протоколів сигналізації дає змогу програмному комутатору знаходити спільну мову практично з будь-якими типами телефонних мереж – як з традиційними (з комутацією каналів), так і з пакетними.

Сигналізацію CC-7 також можна передавати IP-мережею. Для цієї мети IETF створено спеціальний протокол транспортного рівня – *протокол керування потоковим передаванням* (Streaming Control Transmission Protocol, **SCTP**), який використовують замість TCP для передавання інформації реального часу, чутливою до втрачання пакетів (саме сигнальна інформація і є даними такого типу).

Програмні комутатори – «серце» сучасного вузла IP-телефонії. Вони здійснюють за одиницю часу значну кількість з'єднань: стільки ж, скільки телефонні комутатори міського та міжміського типів. Високого ступеню масштабованості досягають завдяки розподільчій моделі комутації, елементи якої взаємодіють стандартним чином, що забезпечує модульну побудова вузла комутації. Багато виробників пропонують програмні комутатори «частинами»: так, шлюз сигналізації СС-7 часто виготовляють як окремий програмний продукт, оскільки він не завжди є необхідним сервіс-провайдеру; окремо можуть поставлятися також сервери SIP.

Процедури налаштування з'єднань за протоколом SIP є простішими та компактнішими в порівнянні з аналогічними процедурами протоколів H.323, а ступінь інтеграції SIP з прикладними протоколами та службами Інтернет (перш за все з протоколом HTTP і службами DNS і WWW) є досить високою.

### ***Нові послуги IP-телефонії***

У мережі IP у проміжних пристроях інформація не зберігається інформація про кожне з'єднанні абонентів – комп'ютерів користувачів з серверами. Це одна з принципових її відмінностей від телефонної мережі. Комутатори телефонної мережі, навпаки, відстежують і запам'ятовують стан кожного виклику, що є однією з причин більш високої вартості передавання ними транзитного трафіку в порівнянні з IP-маршрутизаторами. Саме це використовують оператори IP-телефонії, пропонуючи міжнародні дзвінки за низькими цінами («IP-телефонія за картками»).

ITU неодноразово наголошує на тому, що здешевлення дзвінків і конкурентний тиск на сектор традиційної міжнародної телефонії є короткостроковою перевагою IP-телефонії. А в стратегічній перспективі основним напрямом стане розгортання нових послуг, зокрема інтегрованих з послугами передавання й маніпулювання даними, якими є:

- **Click to Talk** – ініціація телефонної розмови при перегляді сторінки Web;
- **Internet Call Waiting** – повідомлення абонента, який під'єднується за допомогою телефонної мережі до Інтернету, про вхідний дзвінок і, можливо, організація паралельної з сеансом Інтернет розмови за допомогою пакетного передавання;
- **Unified Messaging** – організація єдиної поштової служби для будь-яких повідомлень: електронної пошти Інтернет, факсів, голосу – з можливістю трансформації виду подання інформації.

Різноманітність послуг, їх налаштування відповідно до потреб конкретного користувача, простота програмування нової пропозиції, легкість інтеграції голосових послуг із послугами маніпулювання даними є перевагами IP-телефонії, її стратегічний потенціалом. Частина з них, описану стандартами SIP та H.245 як додаткові, може надавати безпосередньо програмний комутатор, а складніші реалізуються за допомогою *серверів застосовань IP-телефонії*.

Softswitch може ініціювати нову послугу в рамках архітектури OSA/Parlay, звертаючись за допомогою стандартного API до потрібного застосовання. Сервер застосовань може знаходитися або в тій же локальній мережі, що й програмний комутатор, або в іншій IP-мережі.

### ***Інтеграція систем адресації E.164 і DNS на основі ENUM***

Одним із обмежень сучасної IP-телефонії є неможливість встановлення з'єднання, коли ініціював дзвінок абонент використовує звичайний телефонний апарат, підключений до традиційної телефонної мережі, а абонент - ПК або IP-телефон, з'єднаний з Інтернет або приватної IP-мережею. Складність подібного з'єднання пов'язана із застосуванням в загальнодоступних телефонних мережах і Інтернет різних схем адресації - системи телефонних номерів на основі стандарту E.164 і системи імен DNS.

Для подолання прірви між цими видами загальнодоступних послуг необхідний метод трансляції однієї схеми в іншу. Пропозиції робочої групи IETF з **плану нумерації E.164** (E.164 Numbering, **ENUM**), які надані у RFC 2916, вирішують цю задачу.

Підхід ENUM полягає в призначенні всім абонентам телефонії, підключеним до Інтернету або приватної IP-мережі, ідентифікаторів ще одного типу - телефонних номерів за стандартом E.164. Однак на кінцевих вузлах і навіть мережах, у яких виклик термінується, ці телефонні номери не використовуються. Вони потрібні тільки для ідентифікації



абонента, що викликається стороною-ініціатором, що застосовує звичайний телефон, і маршрутизації виклику в межах традиційної телефонної мережі. Потім телефонні номери перетворюються в імена Інтернет за допомогою служби системи доменних імен DNS. Технічні моменти у схемі ENUM з організації відображення телефонних номерів на DNS-імена визначені в RFC 2916.

Природно, загальна схема ідентифікації абонентів може бути створена інакше, наприклад, шляхом введення нового класу адрес IPv6, добре, що там є відповідні резерви. Але пропозиція ENUM можна впроваджувати вже сьогодні, і в цьому його привабливість.

### ***Централізовані розрахункові центри***

Вихід IP-телефонія на національний та міжнародний рівні, забезпечує **відкритий протокол взаєморозрахунків** (Open Settlement Protocol, **OSP**) і підтримка його провідними виробниками, а також вихід на ринок IP-телефонії спеціалізованих *провайдерів* - так званих *провайдерів розрахункових центрів*. За допомогою протоколу OSP численні провайдери послуг IP-телефонії можуть довірити розрахунки за передачу трафіку третій стороні - **розрахунковому центру**.

Схема використання протоколу OSP полягає в наступному. Якщо виклик не може бути термінований усередині мережі деякого провайдера, то він передається програмним комутатором по протоколу OSP в розрахунковий центр. Отримавши запит, сервер OSP аутентифікує провайдера по своїй базі даних клієнтів і при позитивному результаті

повертає запит до сторони відповідь, де вказується до трьох варіантів маршрутів до провайдерів IP-телефонії, які можуть термінувати даний виклик. Маршрути вибираються з урахуванням вартості послуги термінування. Після одержання відповіді шлюз вихідного провайдера з'єднується з шлюзом одного з вказаних сервером OSP провайдерів, в результаті чого встановлюється зв'язок між абонентами. Після закінчення сеансу зв'язку обидва шлюзу посилюють повідомлення сервера OSP, на підставі яких він проводить розрахунок вартості послуги і передає ці дані серверам провайдерів.

Розрахункові центри особливо потрібні для IP-телефонії, тому що в цьому сегменті ринку діє багато невеликих маловідомих компаній. У більш сталому світі традиційної телефонії аутентифікація операторів часто взагалі не потрібно. Якщо виклик прийшов по певному виділеному каналу, значить, він виходить від давнього партнера із стійкою репутацією.

Поява стандартного протоколу OSP створює основу для масштабного вирішення даної проблеми, сприяючи появі крупних розрахункових центрів IP-телефонії.

## **18.2. Глобальна система персонального зв'язку Skype**

*Skype – це система VoIP, призначена для здійснення голосових, аудіо або відео сеансів зв'язку між комп'ютерами. На сьогодні це одна з найбільш масових комунікаційних програм у світі.*

**Застосовання Skype** розробила корпорація Skype Technologies S.A. (Люксембург). Усього три роки знадобилося для того, щоб можливості Skype оцінили мільйони користувачів, проте справді лавиноподібний попит на цей сервіс почався після того, як він «навчився» здійснювати не тільки з'єднання комп'ютер – комп'ютер, а й комп'ютер – телефон (стаціонарний, мобільний чи супутниковий – несуттєво), забезпечуючи прийнятну якість зв'язку та порівняно низьку вартість.

Основний принцип функціонування Skype полягає в тому, що програми та інформаційні ресурси (музика, відеофільми, фотографії), до яких звертаються Skype-клієнти, знаходяться в самих клієнтів, а не на серверах у сервіс-провайдерів. Таким чином, Skype-клієнт не посилає свої виклики на центральний сервер, а здійснює пошук, звертаючись безпосередньо до інших Skype-клієнтів. Обмін голосовими або мультимедіа повідомленнями також відбувається без сервіс-провайдерів. Налаштовані за таким принципом з'єднання створюють самостійну мережу в якій не оплачують послуги сервіс-провайдерів, яка може бути як завгодно великою. До неї без обмежень можуть під'єднуватися нові користувачі, а ті, що вже входять до неї, можуть вільно її залишати.

Технологію організації подібної системи зв'язку називають *технологію пірінгових мереж* (розглядатимемо далі). У ній усі призначені для користувача комп'ютери виступають у ролі однорангових вузлів, тобто є клієнтами й серверами одночасно.

Таким чином, Skype є проектом міжнародної мережі, яка побудована на абсолютно відмінних від традиційних мереж принципах.

Використання програмного забезпечення та мережі Skype є безоплатним. Існують лише номінальні ціни за дзвінки, що здійснюються з мережі Skype-застосовань у ТфЗК. Оплата береться за використання VoIP-шлюзів, які з'єднують ці мережі. Користувачам продають пакет, який містить VoIP-адаптер та має можливість використання VoIP-шлюзу. VoIP-адаптер під'єднують до кабельного модему або домашньої мережі Ethernet (див. рис. 18.4).

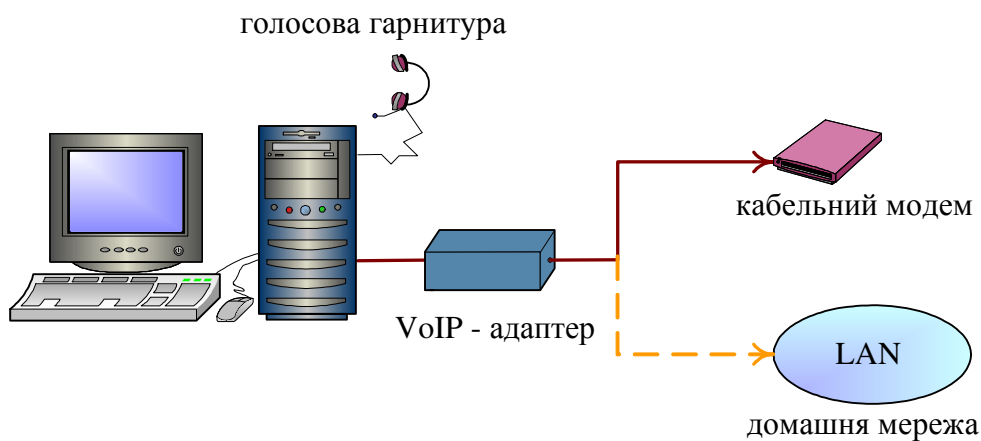


Рисунок 18.4. Під'єднання комп'ютера користувача з системою Skype

### *Технологія пірінгових мереж P2P*

Назва «пірінгові мережі» походить від англійської «peer-to-peer», що у перекладі означає **рівнорангові мережі**.

У рівнорангових мережах усі вузли за значимістю однакові (повна відсутність ієрархії): кожен вузол є одночасно клієнтом і сервером. Їх відмінною особливістю також є абсолютна розподіленість – немає єдиного керування.

Алгоритм, за яким однорангові вузли взаємодіють один з одним отримав назву «**технологія P2P**» (скорочення від peer-to-peer). Розглянемо один з варіантів технології P2P, заснований на **методі хорди**.

Нехай система містить  $n$  користувачів. Кожен має **службове ім'я**, подане рядком символів ASCII, що може бути відомо іншим користувачам.

Наявний у кожного вузла IP-адреси кодується  $m$ -бітним номером за допомогою хеш-функції. Для обчислення хеш-функції в методі хорди використовують алгоритм SHA, який застосовують у криптографії. Таким чином, IP-адресу подають деякою функцією з аргументом у вигляді рядка змінної довжини та значенням – 160-бітовим числом високого ступеня випадковості, яке називають **ідентифікатором вузла**.

Загальна кількість можливих ідентифікаторів вузлів становить 2160. Усі вони розташовуються у зростаючому порядку, утворюючи велике коло чисел, деякі з яких відповідають реально наявним вузлам.

На рисунку 18.5 показано коло ідентифікаторів для  $m = 5$ . Реальним вузлам відповідають ідентифікатори 1, 4, 7, 12, 15, 20 і 27. Усі інші ідентифікатори поки не задіяно.

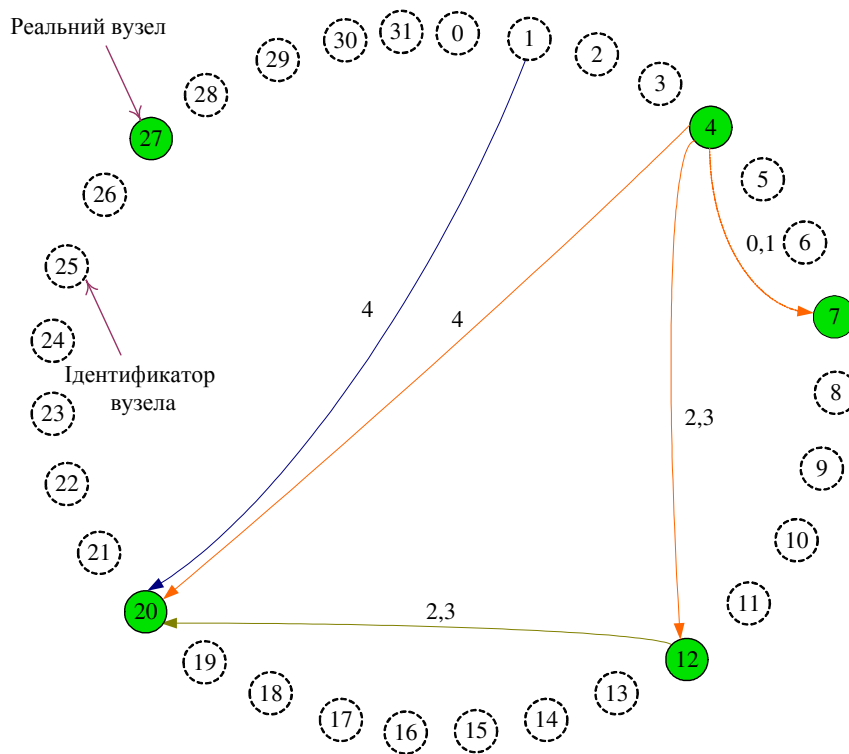


Рисунок 18.5. Ідентифікатори вузлів

Будемо називати **послідовником** деякого вузла  $k$  у колі перший реальний вузол, наступний після нього, а функцією  $s(k)$  визначення послідовника розглядатиме його ідентифікатор. Наприклад,  $s(8) = 12$ ,  $s(19) = 20$  і т.д.

Назви *name* інформаційних ресурсів (аудіо записів, фотографій тощо), якими можуть обмінюватися користувачі в мережі також відпрацьовуються за допомогою алгоритму SHA хеш-функцією *hash*, і перетворюються в 160-бітові числа, які називають ключами *key*. Таким чином, щоб отримати ключ *key* з назви запису *name*, необхідно обчислити  $key = hash(name)$ . Таке обчислення є локальною процедурою – викликом функції *hash*.

Якщо користувач, якому відомо кілька назв *name* хоче зробити їх доступними для інших користувачів, він повинен скласти для кожного з них кортеж (*name*, моя IP-адреса) та виконати функцію *s (hash (name))*, щоб зберегти їх у загальноприйнятій формі. Якщо існує кілька записів (на різних вузлах) для однієї й тієї ж назви, всі їхні кортежі будуть зберігатися на одному й тому ж вузлі.

Якщо хтось із користувачів захоче знайти назву *name*, він повинен обчислити значення хеш-функції, отримати ключ *key*, а потім за допомогою функції *s (key)* визначити IP-адресу вузла, що зберігає кортежі індексів. Для того, щоб можна було знайти IP-адресу вузла, що відповідає якому-небудь ключу, кожен вузол повинен підтримувати певні службові структури даних. Однією з них є IP-адреса послідовника.

Процедура пошуку є такою. Вузол, який надсилає запит, посилає послідовникові пакет, що містить його IP-адресу й ключ, який він шукає. Цей пакет пересилається по колу доти, поки не буде знайдено шуканий вузол. На ньому перевіряють відповідність наявної інформації ключу, а якщо результат позитивний, після перевірки пакет повертається безпосередньо вузлу, чия IP-адреса містився в запиті.

Такий пошук є малоефективним. Його можна удосконалити, якщо кожен вузол буде знаходити IP-адресу не тільки послідовника, але й попередника. Тоді запит можна надсилати одночасно в двох напрямках – за годинниковою стрілкою та проти, залежно від того, який із шляхів є більш коротким.

Значно пришвидшити пошук дає змогу підтримувана кожним вузлом спеціальна таблиця, яку в методі хорд

називають **таблицею покажчиків**. У ній є  $m$  записів, пронумерованих від 0 до  $m-1$ . Кожен запис містить два поля: початок  $start$  та IP-адресу послідовника –  $s(start)$ , як показано на рисунку 18.6.

Поле Start	IP-адрес послідовника
2	4
3	4
5	7
9	12
17	20

Таблиця покажчиків  
вузла 1

Поле Start	IP-адрес послідовника
5	7
6	7
6	12
12	12
20	20

Таблиця покажчиків для  
вузла 4

Поле Start	IP-адрес послідовника
13	15
15	15
16	20
20	20
28	1

Таблиця покажчиків для  
вузла 12

Рисунок 18.6. Приклади таблиць покажчиків  
Значення полів запису  $i$  на вузлі  $k$  визначають так:

$$Start = k + 2i \text{ (modulo } 2m),$$

$$IP\text{-адреса } s(start(i)).$$

З використанням таблиці покажчиків процес пошуку ключа на вузлі  $k$  виглядає так. Якщо ключ потрапляє в діапазон між  $k$  та  $s(k)$ , значить, він точно знаходиться на вузлі  $s(k)$ , і пошук припиняється. У протележному випадку таблицю покажчиків переглядають, щоб знайти запис, значення поля  $start$  якого є найближчим попередником ключа. Запит надсилається безпосередньо за IP-адресою з таблиці покажчиків. Вузол з цією адресою переймає ініціативу пошуку. Оскільки шуканий ключ знаходиться десь поруч, але ідентифікатор має менше значення, великою є ймовірність того, що остаточну відповідь буде отримано швидко, після кількох запитів.



Розглянемо приклад пошуку ключа  $key = 3$  на вузлі 1. Вузол з ідентифікатором 1 знає, що 3 знаходиться між ним і його послідовником – вузлом 4. Він робить висновок, що ключ знаходиться на вузлі 4, і пошук припиняється. Результатами є IP-адреса вузла 4.

Інший приклад. Нехай вузлу 1 необхідно знайти ключ  $key = 14$ . Число 14 не знаходиться між 1 і 4, тому потрібно звернутися до таблиці покажчиків. Найближчим попередником 14 є 9, тому запит надсилають на IP-адресу, що зберігається в запису зі значенням  $start = 9$ . Це вузол 12. Останній бачить, що 14 знаходиться між ним і послідовником 15, тому результатом пошуку є IP-адреса вузла 15.

Вузли можуть з'являтися в мережі та зникати з неї в будь-який час. У зв'язку з цим необхідною є автоматизована процедура вибудовування кола ідентифікаторів і таблиць покажчиків. Коли новий вузол  $w$  має намір увійти в мережу, він мусить визначити своє місце в колі ідентифікаторів. Для цього він повинен увійти в контакт з будь-яким вузлом, що вже знаходиться в мережі, та попросити його знайти IP-адресу послідовника  $s(w)$ . Потім новий вузол з'ясує, хто буде його попередником. Після цього вузол, який увійшов, вважають зареєстрованим у рівноранговій мережі.

### ***Голосові послуги системи Skype***

У середині мережі Skype абоненти можуть говорити безкоштовно, а дзвінки в «зовнішній світ» є платними та розглядаються як голосові послуги системи, основними серед яких є такі:

- **SkypeIn**, що дає змогу отримати окремих телефонний номер у одній з країн світу та приймати на нього дзвінки від користувачів традиційних телефонних мереж (мобільних або стаціонарних). Після надходження такого виклику він перекидається безпосередньо на комп'ютер або стільниковий телефон користувача (ненульовий рахунок SkypeOut). Фактично це є переадресацією за бажанням клієнта, яка працює за заздалегідь заданими умовами (сервіс повністю скопійовано з аналогічної послуги стільникових операторів зв'язку). Спектр вибору номера є досить широкий. Наприклад, можна отримати номер у Австралії, Німеччині, Великобританії, США або навіть Японії, Гонконгу та ін. Кожен абонент Skype має право завести до десяти SkypeIn-номерів на один обліковий запис, причому як в одній, так і в багатьох країнах ;
- **SkypeOut** дає змогу здійснити вихідні дзвінки на стаціонарні та мобільні телефони в більшості країн світу. Оплата є похвилинною та диференційованою. Дзвінки на безкоштовні номери (101, 102, 103) для клієнта SkypeOut є безкоштовними;
- **Skype Zones** – рішення для мобільних користувачів, завдяки сервісу Skype Zones вони можуть телефонувати по всьому світу з використанням 20 000 точок безпроводового широкопasmового доступу до мережі Інтернет (хотспотів). Постійно оновлювана карта таких точок доступу є на інтернет-сайті Skype. Перебуваючи в будь-якій країні світу,

використовуючи невелику програму, яка працює на основі безпроводової технології, клієнт отримує доступ до тих хотспотів, які підтримують Skype. Сидячи в кафе або в залі очікування аеропорту, можна розмовляти через Skype зі своїми друзями та близькими, а якщо є відеокамера або ноутбук, можна влаштувати відеоконференцію;

- **Skype Voicemail** – послуга голосової пошти в системі Skype.

Перераховані послуги, як правило, не надають у кредит, а для їх використання необхідно вносити авансовий платіж.

Додатково до VoIP Skype підтримує *обмін миттєвими повідомленнями, пошук і пересилання файлів і відеотелефонію через Web-камеру*. Крім того, Skype використовує шифрування, на відміну від традиційної телефонії та інших систем VoIP. Інформацію шифрують за допомогою 128-бітових і вище криптографічних кодів, що робить практично неможливим пасивне перехоплення Skype-розмов та можливість розшифрувати і почути їх зміст.

### ***Користувацький інтерфейс Skype-клієнта***

Програми, за допомогою яких користувачі можуть розмовляти через Інтернет, існували й до Skype (наприклад, NetMeeting). Однак у Skype є кілька суттєвих переваг над попередникам:

- програма є простою для використання: налаштування не вимагає спеціальних комп'ютерних знань;
- Skype забезпечує прийнятну якість звуку на порівняно невеликих швидкостях під'єднання 56 – 64 кбіт/с. Такі швидкості можна забезпечити за допомогою звичайного модему;
- базові функції Skype є безкоштовними: тривалість розмов з іншими абонентами, які налаштували аналогічну програму, не обмежується, а оплата стягується тільки за трафік;
- порівняно нескладною є організація відеозв'язку, простим під'єднання відеокамери (достатнім є, щоб її впізнала операційна система); кількість об'єднаних абонентів обмежується лише пропускною здатністю каналу;
- доступною є система обліку абонентів: щоб знайти співрозмовника, достатньо лише ввести його ім'я;
- прийнятними є ціни на додаткові можливості програми, доступні за окрему плату. Вони, як у випадку з вихідними дзвінками з комп'ютера на телефон (SkypeOut), так і у випадку прийому вхідних дзвінків на віртуальний номер (SkypeIn) послуги, є значно нижчими від аналогічних сервісів телефонних операторів.

У Skype для зв'язку використовують TCP-порт 80, який традиційно застосовують браузері, а тому рідко блокується мережевими екранами й маршрутизаторами з функціями перетворення мережевих адрес (NAT-роутерами).

Існуючий у клієнтських адаптерах системи Skype алгоритм стиснення даних дає змогу в більшості випадках досягати більш високої якості, ніж у звичайному телефонному зв'язку. Однак низькоякісні мікрофони, ще досить широко розповсюджені на комп'ютерному ринку, на жаль, досить часто нівелюють цю перевагу.

Для налаштування з'єднання між комп'ютерами використовують шифрування за протоколом AES-256, для передавання ключа якого, у свою чергу, застосовують 1024-розрядний ключ RSA. Відкриті ключі користувачів сертифікує центральний сервер Skype при вході в систему з 1536 - або 2048-розрядними сертифікатами RSA.

Так як VoIP-протокол Skype є оригінальним, його може використовувати тільки ПО від Skype, доступ програм сторонніх розробників якщо не повністю закрито, то дуже обмежений.

На відміну від «класичних» VoIP-систем, потоки даних між абонентами передаються не через центральні комутатори телефонної служби, а проходять безпосередньо через Інтернет від одного комп'ютера до іншого (peer-to-peer) або через спеціальні вузли. Ці вузли, що здійснюють координацію, адресацію й маршрутизацію потоків, а також трансляцію запитів користувачів до сервера аутентифікації, називають **супервузлами** (super-nodes).

### ***Термінальне устаткування Skype***

Великою популярністю користуються прості *голосові гарнітури*, що складаються з мікрофона та навушників, які зараз є основним засобом організації голосового зв'язку

комп'ютер – комп'ютер, але можна використовувати й *IP-телефони*, під'єднані до комп'ютера через USB-порт.

Велика популярність Skype привела до появи великої кількості різних спеціальних **Skype-телефонів**, які мають на меті максимально спростити роботу з програмою для користувачів. Skype-телефони бувають трьох основних видів:

- багатофункціональні моделі з вбудованою пам'яттю (64 - 128 Мб), які можна під'єднувати абсолютно до будь-якого комп'ютера, що має доступ до Інтернету. Вони самостійно під'єднуються до сервісу Skype, для взаємодії з системою їм не потрібна інсталяція Skype-клієнта на той комп'ютер, який вони використовують, а ось список контактів може або відображатися на дисплеї, або ні – все залежить від конкретної моделі;
- Skype-слухавки з дисплеєм, де відображається інформація про тривалість розмови, рівень заряду батареї та визначений для користувача рахунок; для їх функціонування потрібно інсталиувати Skype-клієнт;
- Skype-слухавки без дисплея, що мають близько півтора десятка кнопок і відрізняються зручним ергономічним дизайном пристрою.

Зовнішньо всі трубки схожі на звичайний стільниковий телефон, тільки вони є більш легкими і мають обмежені функції. Їхнє основне завдання, крім передавання звуку, полягає в придушенні відлуння та фільтрації шуму в каналі.

Ще один тип пристроїв, на яких варто зосередити увагу, – це різні гібридні термінали типу *WiFi/Skype* і *DECT/Skype*. Вони можуть під'єднуватися не тільки до USB-порту комп'ютера, а й до звичайної телефонної провідної лінії зв'язку (порт RJ-11). Коли комп'ютер (*DECT/Skype*) або точка доступу (у разі *WiFi/Skype*) вимкнено, то телефон використовує для дзвінків провідну лінію, тобто працює як звичайний телефон (правда, в такому випадку до нього потрібно підвести живлення від електричної мережі ); відповідно коли вони активні, – то VoIP. При цьому гібридний термінал може обробляти виклики теж з цих двох джерел – як з провідної лінії, так і від користувачів, долучених у контакт-лист Skype. У такому випадку на дисплеї будуть відображатися тип дзвінка та координати абонента.

Слід згадати й екзотичні пристрої. Наприклад, *USB Telbox* – кілька типів різноманітних адаптерів для під'єднання будь-яких звичайних телефонів (зокрема й безпроводових) до комп'ютера з програмою Skype через USB-порт. Пристрій дає змогу за допомогою звичайного телефону здійснювати дзвінки як через Skype, так і звичайною телефонною лінією. Такий адаптер не підтримує автоматичне перемикання між Skype та звичайною телефонною мережею, а набір телефонного номера для дзвінка сторонньому абоненту найчастіше здійснюють за допомогою комп'ютера.

Існують також пристрої типу *USB Skype Diverter* – фактично це шлюз, який, з одного боку, під'єднують до комп'ютера з програмою Skype через USB-порт, а з іншого – до міської телефонної мережі через звичайний телефонний шнур. Його завдання привести всі вхідні дзвінки по Skype

(без участі платній SkypeOut) на будь-який номер телефону (міський або мобільний).

Є можливість використовувати Skype для голосових дзвінків за допомогою смартфонів (кишенькового ПК Pocket PC) з модулем Wi-Fi та процесором з тактовою частотою від 312 МГц є шанс самостійно перетворити його на VoIP-телефон. Якість зв'язку в цьому випадку зазвичай залежить від пропускної здатності каналу, який зв'язує користувача з хотспотів провайдера, - для якісного звуку, як правило, вистачає 128 кбіт/с.

### **18.3. Мережеве керування**

Мережеве керування - одна з найбільш масштабних прикладів роботи мережевих застосовань. Основні завдання мережевого керування розглядалися в п.8.4. Тут ми зупинимося на особливостях реалізації функцій прикладного рівня, що забезпечують функціонування системи керування мережею.

Система мережевого керування складається з апаратного та програмного забезпечення, яке встановлюється серед існуючих компонентів мережі. Більше того, велика частина апаратного і програмного забезпечення, необхідного для мережевого керування, вже входить до складу існуючого мережевого обладнання та обладнання користувачів.

Програмне забезпечення, яке використовується для виконання завдань мережевого керування, розташовується здебільшого на хостах і спеціалізованих процесорах (інтерфейсних процесорах, контролерах). Система мережевого



керування «бачить» всю мережу як єдину архітектуру, всі точки якої мають адреси і мітки, а всі елементи і канали зв'язку - певні атрибути. Активні (здіяні в роботі) елементи мережі регулярно доставляють в центр керування мережею інформацію про свій стан.

Отже, основними компонентами системи мережевого керування є:

- керуюча станція, або диспетчер;
- агент;
- база керувальної інформації;
- протокол мережевого керування.

**Керуюча станція** може бути автономним пристроєм або функцією, вбудованою в багатоцільову систему. У будь-якому випадку керуюча станція виконує роль інтерфейсу між людиною-диспетчером мережі й системою мережевого керування.

Керуюча станція повинна мати такі засоби:

- набір програм для аналізу даних та усунення несправностей;
- інтерфейс, за допомогою якого диспетчер мережі може спостерігати за станом мережі й формувати команди керівного впливу;
- базу даних, що складається з баз даних усіх керованих об'єктів мережі.

**Агент** – це інший активний елемент системи мережевого керування. Програмне забезпечення агента налаштовують на всіх основних елементах мережі (хостах, маршрутизаторах, комутаторах та ін.), щоб ними можна було керувати з керувальної станції. Агент відповідає на інформаційні запити та команди керування, які надходять із керуючої станції, і може передавати на неї важливу, але не запитувану інформацію, в так званому асинхронному режимі.

**База керувальної інформації** (Management Information Base, **МІВ**) – це сукупність усіх об'єктів. Пояснимо це більш конкретно. Принцип роботи засобів керування мережевими ресурсами засновано на поданні всіх ресурсів як об'єктів. Кожен об'єкт є функцією, що відображає один із аспектів керованого агента. Сукупність таких об'єктів і становить МІВ. Керуюча станція виконує функцію контролю, отримуючи значення об'єктів МІВ. Таким чином, МІВ можна розглядати як сукупність точок доступу керуючої станції до агента. Усі об'єкти мають загальний для систем певного класу (наприклад, маршрутизаторів) стандарт, який повинен підтримуватися різними виробниками, та ідентифікатор об'єкта.

Логічно МІВ можна зобразити у вигляді абстрактного дерева, листям якого є окремі ідентифікатори об'єктів. Ідентифікатори об'єктів унікальним чином ідентифікують об'єкти МІВ цього дерева. Ідентифікатори об'єктів схожі на телефонні номери тим, що їх організовано ієрархічно та їх окремі частини призначаються різними організаціями. Наприклад, міжнародні телефонні номери складаються з коду країни (призначається міжнародною організацією) і телефонного номера в тому вигляді, в якому він визначений в

даній країні. Телефонні номери в країні далі поділяють на код області, номер центральної телефонної станції й номер станції, пов'язаної з нею. Аналогічно, ідентифікатори об'єктів вищого рівня МІВ призначає Міжнародна електротехнічна комісія ISO (ISO IEC). Ідентифікатори об'єктів нижчого рівня призначають організаціями, які до них належать, і т.д.

На рисунку 18.7 зображено кореневий елемент і декілька найбільших гілок дерева МІВ.

Структуру МІВ визначає документ, названий **структурою інформації керування** (Structure of Management Information, **SMI**).

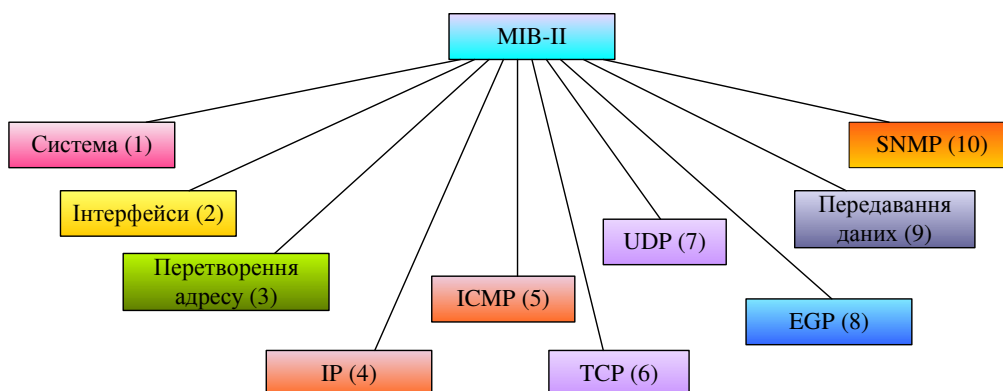


Рисунок 18.7. Дерево МІВ

SMI визначає такі типи інформації:

- *Network addresses* – мережеві адреси. Деяка адреса з конкретного сімейства протоколів. На сьогодні єдиним прикладом мережевих адрес є 32-бітові адреси IP;

- *Counters* – лічильники. Невід'ємні цілі числа, які поступово збільшуються доти, поки не досягнуть максимального значення, після чого вони скидаються до нуля. Прикладом лічильника є загальне число байтів, прийнятих інтерфейсом;
- *Gauges* – вимірювальний прилад, міра, розмір. Невід'ємні цілі числа, які можуть збільшуватися або зменшуватися, але замикаються при максимальному значенні. Прикладом вимірювального приладу є довжина черги, що складається з вихідних пакетів (у пакетах);
- *Ticks* – тики. Соті частки секунди, що минули після якоїсь події. Прикладом *tick* є час, що минув після входження інтерфейсу в свій поточний стан.

**Протокол мережевого керування** дає можливість керуючої станції та агентам зв'язуватися між собою. Для керування мережами TCP/IP застосовують так званий **простий протокол мережного керування** (Simple Network Management Protocol, **SNMP**).

### ***SNMP***

Сьогодні SNMP є найбільш популярним протоколом керування різними комерційними, університетськими й дослідницькими об'єднаними мережами. Діяльність зі стандартизації, пов'язана з SNMP, залежить від розробки та випуску сучасних прикладних програми керування, оснований на SNMP. SNMP відносно простий протокол, проте набір його

характеристик є досить потужним для вирішення складних проблем, які виникають у процесі керування гетерогенними (неоднорідними за складом обладнання) мережами.

SNMP є протоколом прикладного рівня, призначеним для полегшення обміну інформацією керування між мережевими пристроями. Користуючись інформацією SNMP (такою, як показник кількості пакетів у секунду та коефіцієнтом мережових помилок), мережеві адміністратори можуть більш просто керувати продуктивністю мережі, виявляти та вирішувати мережеві проблеми.

**Модель керування.** Агентами в SNMP є програмні модулі, які працюють у керованих пристроях. Агенти збирають інформацію про стан керованих пристроїв, у яких вони працюють, і роблять цю інформацію доступною за допомогою протоколу SNMP для робочої станції, яку в термінології цього протоколу називають **системою керування мережами** (network management system, **NMS**). Роботою протоколу передбачається можливість наявності в керованій мережі однієї або більше NMS.

На рисунку 18.8. показано взаємодію агентів NMS.

Керований пристрій може бути вузлом мережі будь-якого типу: це хости, службові пристрої зв'язку, принтери, маршрутизатори, мости, концентратори. Так як деякі з цих пристроїв можуть мати обмежені можливості для керування за допомогою програмного забезпечення (наприклад, вони можуть мати центральні процесори з відносно малою швидкістю або обмеженим обсягом пам'яті), програмне забезпечення для керування розробляється таким чином, щоб мінімізувати свій вплив на керований пристрій.

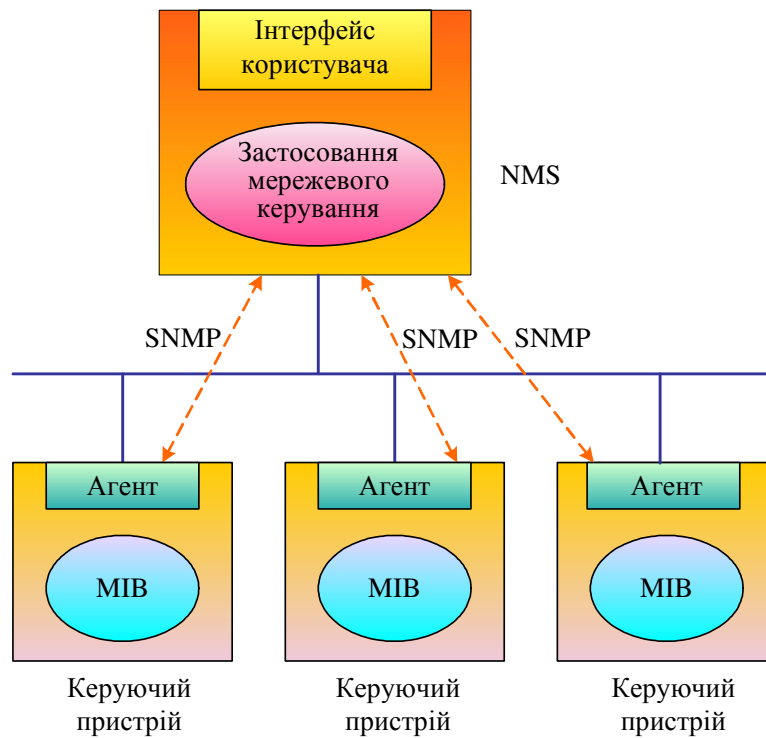


Рисунок 18.8. Модель взаємодії агентів і NMS

У цьому випадку основне завдання керування лягає на NMS. Тому NMS зазвичай є комп'ютерами рівня АРМ проектувальника, які мають швидкодійні центральні процесори, мегапксельні кольорові монітори, значний обсяг пам'яті та достатній обсяг диска.

Повідомлення керованих пристроїв, регульовані протоколом SNMP, підтримують значення ряду змінних і повідомляють їх на вимогу в NMS. Наприклад, керований пристрій може відслідковувати такі параметри:

- кількість та стан своїх віртуальних ланцюгів;

- кількість певних видів отриманих повідомлень про несправності;
- кількість байтів і пакетів, які входять і виходять з цього пристрою;
- максимальна довжина черги на виході (для маршрутизаторів та інших пристроїв поєднання мереж);
- відправлені та прийняті широкомовні повідомлення;
- мережеві інтерфейси, які відмовили та знову з'явилися.

**Типи команд.** Якщо NMS хоче проконтролювати будь-який із керованих пристроїв, вона робить це шляхом надсилання йому повідомлення із зазначенням про зміну значення однієї з його змінних. У цілому керовані пристрої відповідають на чотири типи команд:

- *Reads* для контролювання керованих пристроїв NMS зчитують змінні, підтримувані цими пристроями;
- *Writes* для контролювання керованих пристроїв NMS записують змінні, накопичені в керованих пристроях;
- *Traversal operations* NMS використовують операції простежування, щоб визначити, які змінні підтримує керований пристрій, а потім зібрати інформацію в таблиці змінних (такі, як таблиця маршрутизації IP);
- *Traps* керовані пристрої використовують пастки для асинхронних повідомлень у NMS про деякі події.

**Відмінності у поданні інформації.** Обмін інформацією в керованій мережі відбувається складно через відмінності в поданні даних різними керованими пристроями. Іншими словами, комп'ютери можуть подавати інформацію по-різному. Для того, щоб забезпечити інформаційну сумісність між різними системами застосовують так звану **систему позначень для опису абстрактного синтаксису** (Abstract Syntax Notation, **ASN**).

SNMP використовує для цієї мети підмножину абстрактного синтаксису ASN.1, створеного для OSI/ISO. ASN.1 визначає як формати пакетів, так і об'єкти МІВ. При цьому об'єкти можуть бути скалярними величинами (визначаючи окрему реалізацію) або табулярними величинами (визначаючи кілька взаємопов'язаних реалізацій).

**Операції.** SNMP є простим протоколом запиту/відповіді. Вузли можуть відправляти безліч запитів, не отримуючи відповіді. Визначено наступні чотири операції SNMP:

- *Get* – дістань. Витягує яку-небудь реалізацію об'єкта з агента;
- *Get-next* – дістань наступний. Операція простежування, яка витягує наступну реалізацію об'єкта з таблиці або переліку, що знаходяться в якомусь агента;
- *Set* – дістань наступний, налаштуй. Налаштовує реалізацію об'єкта в межах якого-небудь агента;
- *Trap* – пастка. Використовує агент для асинхронного інформування NMS про якусь подію.



**Формат повідомлень.** Повідомлення SNMP складаються з 2 частин: імені спільноти (community name) та даних (data). Назва спільноти призначає середовище доступу для набору NMS, які використовують це ім'я. Можна сказати, що NMS, які належать одній спільноті, знаходяться під одним і тим самим адміністративним початком. Оскільки пристрої, які не знають правильного імені спільноти, виключають з операцій SNMP, керувальні мереж також використовують ім'я спільноти як «слабкої форми» впізнання.

Інформаційна частина повідомлення містить специфічну операцію SNMP (get, set, і т.д.) та пов'язані з нею операнди. Операнди позначають реалізації об'єкта, залучені в дану транзакцію SNMP.

Повідомлення SNMP офіційно називають **протокольними одиницями даних** (protocol data units, **PDU**).

На рисунку 18.9 зображено формат пакету SNMP.

Дістань, дістань наступний, налаштуй та формат відповіді



Формат пастки



Рисунок 18.9. Формат пакету SNMP

PDU операцій get і set SNMP складаються з наступних частин:

- *Request-ID* – ідентифікатор запиту; налаштовує зв'язок між командами й відповідями;
- *Error-status* – стан збою; вказує помилку та її тип;
- *Error-index* – індекс помилки; налаштовує зв'язок між помилкою й конкретною реалізацією об'єкта;
- *Variable bindings* – змінні прив'язки, які складаються з даних SNMP PDU; змінні прив'язки налаштовують зв'язок між конкретними змінними та їх поточними значеннями.

PDU пастки (операції *Trap*) відрізняються від PDU інших операцій. Вони складаються з таких частин:

- *Enterprise* – предметна зона, яка ідентифікує тип об'єкта, що генерує дану пастку;
- *Agent address* – адреса агента, що забезпечує адресу об'єкта, який генерує дану пастку;
- *Generic trap type* – груповий тип пастки, який забезпечує груповий тип пастки;
- *Specific trap code* – специфічний код пастки, який забезпечує специфічний код пастки;
- *Time stamp* – часовий ярлик, що забезпечує величину часу, що пройшов між останньою повторною ініціалізацією мережі та генерацією цієї пастки;
- *Variable bindings* – змінні прив'язки, що забезпечують перелік змінних, які містять цікаву інформацію про пастку.

У висновку узагальнимо, що основною перевагою SNMP є його простота. Він легко реалізується й споживає мало ресурсів процесора та мережі. Крім того, структура протоколу та MIB є досить простою, завдяки чому неважко організувати взаємодію між керувальними станціями й агентами різних виробників. З поширенням SNMP дедалі очевидніше проявилися й такі недоліки цього протоколу, як обмежені функціональні можливості, так і відсутність функцій безпеки. Це стало причиною розробки більш досконалих версій другого (SNMPv2), третього (SNMPv3), які не є останніми.

### **Контрольні питання**

1. Охарактеризуйте етапи розвитку IP-телефонії.
2. Які протоколи визначено у стандартах H.323?
3. Перерахуйте основні елементи мережі H.323.
4. Які функції виконує “брамник” у мережі IP-телефонії?
5. Чим ознаменовано інфокомунікаційний етап розвитку IP-телефонії?
6. На які три групи розподілено функції у вузлах IP-телефонії нового покоління?
7. Які функції програмного комутатора Softswitch у мережі IP-телефонії нового покоління?
8. Які завдання виконують транспортні шлюзи в мережі IP-телефонії?
9. Які протоколи використовують для керування шлюзами?
10. Які нові послуги визначають стратегічну перспективу розвитку IP-телефонії?

11. У чому специфіка телефонних номерів за стандартом E.164.
12. Для чого призначено відкритий протокол взаєморозрахунків OSP?
13. Поясніть доцільність упровадження розрахункових центрів для IP-телефонії?
14. У чому полягає феномен популярності глобальної системи персонального зв'язку Skype?
15. За яким принципом будують мережу для системи Skype?
16. Як здійснити під'єднання до системи Skype?
17. Які мережі називають рівноранговими?
18. На якому методі ґрунтується технологія пірінгових мереж P2P?
19. Що називають ідентифікатором вузла в методі хорд?
20. Перерахуйте та охарактеризуйте послуги системи Skype.
21. Охарактеризуйте користувацький інтерфейс і термінальне обладнання системи Skype.
22. Перерахуйте основні компоненти мережевої системи керування та поясніть їх призначення.
23. Яке призначення протоколу SNMP?

## Бібліографічний список

### *Основна література*

1. Довгий С.О., Савченко О.Я., Воробієнко П.П. та ін. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, економіка, управління, регулювання / За ред. С.О. Довгого. – К.: Український Видатничий Центр, 2002. – 520 с.
2. Тененбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. – СПб. Питер. 2005. – 992 с.
3. Рослякв А.В., Ваняшин С.В., Самсонов М.Ю. и др. Сети следующего поколения NGN / Под ред. А.В. Рослякова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 424 с.
4. Величко В.В., Катунин Г.П., Шувалов В.П. Основы инфокоммуникационных технологий. Учебное пособие для вузов/Под ред. В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 712 с.
5. Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф. Телекоммуникационные сети и системы. Учебное пособие. Том 3. – Мультисервисные сети/Под ред. В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 с.
6. Иртегов Д.В. Введение в сетевые технологии. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 560 с.

### *Рекомендована література*

1. Довгий С.А. , Копейка О. В., Поленок С. П., Стрижак А. Е. Новые технологии в телекоммуникации:

- Планирование сервисных пакетов Интернет-услуг. Методика бизнес-планирования / Под ред. С.А. Довгого. – К.: Укртелеком, 2001. – 240 с.
2. Горностаев Ю.М. Перспективные рынки мобильной связи. – М.: Радио и бизнес, 2000.
  3. Семенов А.Б. Проектирование и расчет структурированных кабельных систем и их компонентов. М.: – ДМК Прогресс; М.: Компания АйТи. 2003. – 416 с.
  4. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко-Трендз, 1999. – 252 с.
  5. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 148 с.
  6. Убайдулаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 267 с.
  7. Денисьева О.М., Мирошников Д.Г. Средства связи для последней мили. – М.: Эко-Трендз, 1999. – 146 с.

## Список скорочень

<b>A-</b>	(Access Border Gateway Function/Broadband Access
<b>BGF/BAS</b>	Switch) – забезпечує доступ широкосмугового користувальницького устаткування до IMS
<b>ABR</b>	(Available Bit Rate) – надання користувачеві залишково вільної частини фізичного каналу
<b>ADSL</b>	(Asymmetric Digital Subscriber Line) – асиметричне цифрове абонентське закінчення
<b>AG</b>	(Access Gateway) – шлюз доступу
<b>AMPS</b>	(Advanced Mobile Phone System) – телефонна система мобільного зв'язку
<b>AN</b>	(Access Network) – мережа доступу
<b>ANI</b>	(Access Network Interface) – інтерфейс між сегментом опорної розподільчої мережі та сегментом транспортної мережі METRO
<b>ANI</b>	(Access Node Interface) – інтерфейс вузла доступу
<b>ANL</b>	(Access Network Line) – лінія мережі доступу
<b>ANSI</b>	(American National Standards Institute) – Інститут національних стандартів США
<b>AoD</b>	(Application on Demand) – застосування за запитом
<b>AON</b>	(All-optical Network) – технологія оптичної мережі
<b>AP</b>	(Application Processes) – прикладні процеси
<b>API</b>	(Application Programming Interface) – прикладний програмний інтерфейс або інтерфейс прикладних програм
<b>ARP</b>	(Address Resolution Protocol) – протокол розв'язування адресів

<b>AS</b>	(Autonomous System) – автономні системи
<b>ASN</b>	(Abstract Syntax Notation) – система позначень для опису абстрактного синтаксису
<b>ATM</b>	(Asynchronous Transfer Mode) – асинхронний режим перенесення
<b>BCP</b>	(Basic Call Process) – базовий процес обслуговування виклику
<b>BGCF</b>	(Breakout Gateway Control Function) – функція керування шлюзами
<b>BGP</b>	(Border Gateway Protocol) – протокол регламентує процедуру маршрутизації між граничними шлюзами в Інтернет
<b>B-ISDN</b>	(Broadband ISDN) – широкопasmугова цифрова мережа інтегрального обслуговування
<b>BN</b>	(Backbone Network) – магістральна (транспортна) мережа
<b>BPPS</b>	(Bit-parallel Packet Switching) – паралельна бітова комутація
<b>BPI</b>	(Base Program Interface) – інтерфейс базових програм
<b>BRA</b>	(Basic Rate Access) – базовий доступ
<b>BRI</b>	(Basic Rate Interface) – інтерфейс базового доступу
<b>BS</b>	(Bearer Service) – служби передавання
<b>BSPS</b>	(Bit-sequential Packet Switching) – послідовна бітова комутація
<b>BS-US</b>	(Base Station - User Equipment) – від базової станції до абонентського обладнання
<b>CBN</b>	(Core Backbone Network) – магістральна мережа-



	ядро
<b>CBR</b>	(Constant Bit Rate) – фіксована пропускна здатність
<b>CDCS</b>	(Continuous Dynamic Channel Selection) – безперервний динамічний вибор каналів
<b>CDMA</b>	(Code Division Multiple Access) – технологія шумоподібних сигналів і кодового розподілення каналів
<b>CIDR</b>	(Classless Interdomain Routing) – безкласова міждомена маршрутизація
<b>CMTS</b>	(Cable Modem Termination Station) – модемна термінальна станція
<b>CORBA</b>	(Common Object Request Broker Architecture) – відкрита, незалежна від постачальників архітектура, яка використовує прикладні обчислювальні системи для забезпечення спільної роботи в комп'ютерних мережах
<b>CS</b>	(Communication Server) – комунікаційний сервер
<b>CSCF</b>	(Call Session Control Function) – елемент з функціями керування викликами та сесіями
<b>CSMA/CA</b>	(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) – множинний доступ з контролюванням частоти-носія та запобіганням колізій
<b>CSMA/CD</b>	(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) – метод множинного доступу з розпізнаванням частоти-носія та виявленням зіткнень
<b>CSU</b>	(Channel Service Unit) – пристрій обслуговування

	каналу
<b>CTI</b>	(Computer Telephony Integration) – комп'ютерно-телефонна інтеграція
<b>DAC</b>	(Dual Attached Concentrator) – концентратор подвійного під'єднання
<b>DCE</b>	(Data Communication Equipment) - апаратура передачі даних
<b>DEMUX</b>	(Demultiplexer) – демультимплексор
<b>DHCP</b>	(Dynamic Host Configuration Protocol) - динамічний протокол конфігурування хоста
<b>DN</b>	(Distribution Network) – розподільча мережа
<b>DNS</b>	(Domain Name System) – служба імен доменів
<b>DPE</b>	(Distributed Processing Environment) – середовище розподіленого оброблення
<b>DSL</b>	(Digital Subscriber Line) – цифрова абонентська лінія
<b>DSLAM</b>	(Digital Subscriber Access Multiplexer) – мультимплексор доступу до цифрового абонентського закінчення
<b>DSLAM</b>	(Digital Subscriber Line Access Multiplexer) – цифровий абонентський шлюз доступу
<b>DSU</b>	(Data Service Unit) – пристрій оброблення даних
<b>DTE</b>	(Data Terminal Equipment) – кінцева апаратура даних
<b>DVA</b>	(Distance Vector Algorithm) – дистанційно-векторний алгоритм
<b>DWDM</b>	(Dense Wavelength Division Multiplexing) – технологія щільного хвильового мультимплексування

<b>EDFA</b>	(Erbium Doped Fiber Amplifier) – кремнієво-ербієв підсилювач
<b>EG</b>	(Exterior Gateway) – зовнішні шлюзи
<b>EGP</b>	(Exterior Gateway Protocol) – протокол зовнішніх шлюзів
<b>EIA</b>	(Electronic Industries Association) – Американська асоціація електронної промисловості
<b>EN</b>	(Enterprise Networks) – мережа підприємств
<b>ENUM</b>	(E.164 Numbering) – план нумерації E.164
<b>ES</b>	(Elementary Stream) – елементарний потік
<b>ETSI</b>	(European Telecommunications Standards Institute) – Інститут стандартів телекомунікацій Європейського Союзу
<b>FCO</b>	(Fixed Communication Operators) – оператор фіксованого зв'язку
<b>FDDI</b>	(Fiber Distributed Data Interface) – середовище передавання для волоконно-оптичного кабелю
<b>FDM</b>	(Frequency Division Multiplexing) – частотне мультиплексування
<b>FE</b>	(Functional Entity) – функціональна площа
<b>FEC</b>	(Forwarding Equivalency Class) – клас еквівалентності пересилання
<b>FGN</b>	(Future Generation Network) – мережа майбутнього
<b>FMC</b>	(Fixed Mobile Convergence) – конвергенція фіксованого та мобільного зв'язку
<b>FR</b>	(Frame Relay) – ретрансляції фреймів (кадрів)
<b>FTP</b>	(File Transfer Protocol) – протокол передачі файлів
<b>FTTC</b>	(Fiber to the Curb) – волокно в розподільчу шафу

<b>FTTH</b>	(Fiber to the Home) – волокно в квартиру
<b>FW</b>	(Fire Wall) – мережевий екран
<b>3GPP</b>	(Third Generation Partnership Project) – проект партнерства 3G
<b>GAN</b>	(Global Area Network) – глобальна мережа
<b>GGSN</b>	(Gateway GPRS Support Node) – шлюзовий вузол GPRS або вузол маршрутизації, шлюз між мережею та IMS
<b>GII</b>	(Global Information Infrastructure) – Глобальна інформаційна інфраструктура
<b>GMPLS</b>	(Generalized Multi-Protocol Switching) – узагальнена мультипротокольна комутація за мітками
<b>GoD</b>	(Game on Demand) – гра за запитом
<b>GPRS</b>	(General Packet Radio Service) – служби пакетного радіозв'язку загального призначення
<b>GSM</b>	(Group Special Mobile) – спеціальна мобільна група
<b>HDSL</b>	(High Data Rate Digital Subscriber Line) – високошвидкісна цифрова абонентська лінія
<b>HFC</b>	(Hibrid Fiber Coax) – гібридно волоконно-коаксіальна технологія
<b>HSDPA</b>	(High Speed Downlink Packet Access) – високошвидкісного передавання даних з комутацією пакетів
<b>HSS</b>	(Home Subscriber Server) – сервер домашніх абонентів
<b>HSSI</b>	(High Speed Serial Interface) – високошвидкісний послідовний інтерфейс

<b>HTTP</b>	(Hyper Text Transfer Protocol) – протокол передачі гіпертекстових файлів
<b>IA</b>	(Information Appliances) – інформаційний пристрій
<b>IANA</b>	(Internet Assigned Numbers Authority) адміністрація адресного простору Інтернет
<b>I-BGF</b>	(Interconnect Border Gateway Function) – міжмережевий прикордонний шлюз
<b>ICMP</b>	(Internet Control Message Protocol) – протокол керування повідомленнями Інтернет
<b>I-CSCF</b>	(Interrogating CSCF) – створює першу контактну точку на сигнальному рівні всередині ядра IMS для всіх зовнішніх з'єднань із абонентами цієї мережі або візитними абонентами, які тимчасово перебувають у мережі
<b>IEEE</b>	(Institute of Electrical and Electronics Engineers) – Інститут інженерів з електротехніки та електроніки
<b>IETF</b>	(Internet Engineering Task Force) – технічна комісія Інтернет-мережі
<b>IG</b>	(Interior Gateway) – внутрішні шлюзи
<b>IGMP</b>	(Internet Group Membership Protocol) – протокол керування групами користувачів у Інтернеті
<b>IGP</b>	(Interior Gateway Protocol) – протокол внутрішніх шлюзів
<b>IMS</b>	(IP-Multimedia Subsystem) – IP-підсистема мультимедійного зв'язку
<b>IM-SSF</b>	(IP Multimedia – Service Switching Function) – сервер комутації послуги

<b>IMT-2000</b>	(International Mobile Telecommunications) – мобільні мережі третього покоління 3G
<b>IN</b>	(Intelligent Network) – інтелектуальна мережа
<b>INAP</b>	(Intelligent Network Application Protocol) – протокол прикладного рівня
<b>IP</b>	(Internet Protocol) – інтернет протокол
<b>IS</b>	(Internet Services) – сервіси мережевого рівня
<b>ISDN</b>	(Integrated Services Digital Network) – цифрова мережа інтегрального обслуговування
<b>ISO</b>	(International Organization for Standardization) – Міжнародна організація стандартизації
<b>ISOC</b>	(Internet Society) – співтовариство Інтернету
<b>ISP</b>	(Internet Service Providing) – інтернет-сервіс-провайдинг
<b>ITU</b>	(International Telecommunication Union) – Міжнародний союз електрозв'язку
<b>ITU-D</b>	(Telecommunications Development Sector of the International Telecommunications Union) – секція розвитку
<b>ITU-R</b>	(Radiocommunication Sector of the International Telecommunications Union) – секція радіомовлення Міжнародного союзу електрозв'язку
<b>ITU-T</b>	(Telecommunications Standardization Sector of International Telecommunications Union) – секція телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку

<b>Java</b>	(Java Advanced Intelligent Network) – дає змогу здійснювати інтеграцію протоколів IP-мереж і IN, забезпечуючи новий рівень абстракції
<b>LAN</b>	(Local Area Network) – локальна мережа
<b>LCAP</b>	(Link Control Aggregation Protocol) – протокол керування агрегуванням ліній зв'язку
<b>LIB</b>	(Label Information Base) – інформаційна база міток
<b>LLC</b>	(Logical Link Control) – керування логічним каналом
<b>LMDS</b>	(Local Multipoint Distribution Service) – служба локального багатоточкового розподілення
<b>LSA</b>	(Link State Algorithm) – алгоритм стану зв'язків
<b>LSP</b>	(Label Switch Path) – комутований з мітками тракт
<b>LSR</b>	(Label Switch Router) – маршрутизатор за комутацією міток
<b>M</b>	(Mediation) – проміжного пристрою сполучення або медіатора
<b>MAC</b>	(Medium Access Control) – MAC адрес, фізична адреса, адреса точки доступу до середовища
<b>MAN</b>	(Metropolitan Area Network) – мережа мегаполісу
<b>MAP</b>	(Mobile Application Part) – протоколи прикладного рівня
<b>MCO</b>	(Mobile Communication Operators) – оператор мобільного зв'язку
<b>MG</b>	(Media Gateway) – транспортний шлюз
<b>MGCF</b>	(Media GatewaysControl Function) – функція керування шлюзами

<b>MGCP</b>	(Media Gateway Control Protocol) – протокол керування середовищем транспортних шдюзів
<b>MGW</b>	(Media GateWay) – транспортний шлюз
<b>MIB</b>	(Management Information Base) – організована база даних
<b>MIME</b>	(Multipurpose Internet Mail Extensions) – багатоцільове розширення Інтернет-пошти
<b>MIT</b>	(Management Information Tree) – ієрархічно організоване дерево
<b>MMDS</b>	(Multichannel Multipoint Distribution Service) – служба багатоканального багатоточкового розподілення
<b>MMF</b>	(Multi Mode Fiber) – багатомодове оптичне волокно
<b>MoD</b>	(Music on Demand) – музика за запитом
<b>MP</b>	(Managing Protocol) – протокол проміжного програмного забезпечення
<b>MPEG</b>	(Moving Picture Experts Group) – спеціальна комісія при ISO
<b>MPLS</b>	(Multiprotocol Label Switching) – багатопроTOCOLьна комутація міток
<b>MRF</b>	(Media Resource Function) – функція мультимедійних ресурсів
<b>MRFP</b>	(Media Resource Function Processor) – контролер мультимедійних ресурсів
<b>MS</b>	(Media Server) – медіа-сервер
<b>MSC</b>	(Mobile Switching Center) – центр комутації мобільного зв'язку



<b>MSN</b>	(Multi-service Network) – мультисервісна мережа
<b>MSPP</b>	(Multiservice Provisioning Platform) – мультисервісна платформа надання послуг
<b>MTN</b>	(Multiservice Transport Network) – мультисервісна транспортна мережа
<b>MUX</b>	(Multiplexer) – мультиплексор
<b>NAP</b>	(Network Access Point) – точка мережевого доступу
<b>NASS</b>	(Network Attachment Subsystem) – підсистема під'єднання мережі
<b>NAT</b>	(Network Address Translstor) – перетворювач мережевих адрес
<b>NCN</b>	(Node Connection Network) – мережа міжвузлового зв'язку
<b>NDN</b>	(Network Distribution Node) – мережевий розподільчий вузол
<b>NE</b>	(Network Element) – елемент мережі
<b>NHRP</b>	(Next Hop Resolution Protocol) – протокол вибору наступного кроку
<b>NIC</b>	(Network Interface Card) – мережевою інтерфейсна плата
<b>N-ISDN</b>	(Narrow ISDN) – вузькосмугова цифрова мережа інтегрального обслуговування
<b>NMS</b>	(Network Management System) – система керування мережами
<b>NNI-A</b>	(Network-to-Network Interface - A) – інтерфейс «мережа-мережа» класу А
<b>NNI-B</b>	(Network-to-Network Interface-B) – інтефейс «мережа-мережа» класу В

<b>NPN</b>	(New Public Network) – публічної мережі наступного покоління
<b>NRT-VBR</b>	(Not Real Time Variable Bit Rate) – VBR з послабленими вимогами до затримування у передаванні
<b>NT</b>	(Network Termination) – мережеве закінчення
<b>NTU</b>	(Network Termination Unit) – мережеве закінчення
<b>NU</b>	(Network Unit) – мережевий блок
<b>OFDMA</b>	(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) – ортогональний багатостанційний доступ з частотним розподіленням каналів
<b>OS</b>	(Operations System) – операційна системи
<b>OSA</b>	(Open Service Access) – відкритий доступ до послуг
<b>OSA-SCS</b>	(Open Service Access – Service Capability Server) – сервер, який забезпечує послуги можливості доступу до мережевих функцій за допомогою стандартного програмного інтерфейсу застосовань OSA
<b>OSI</b>	(Open System Interconnection) – еталонної моделі взаємодії відкритих систем
<b>OSP</b>	(Open Settlement Protocol) – відкритий протокол взаєморозрахунків
<b>OSPF</b>	(Open Shortest Path First) – протокол визначення першого найкоротшого маршруту
<b>OTH</b>	(Optical Transport Hierarchy) – оптична транспортна ієрархія
<b>OTN</b>	(Optical Transport Network) – оптична транспортна мережа

<b>P2P</b>	(Peer-to-Peer) – пірінгові мережі або рівнорангові мережі
<b>PAD</b>	(Packet Assembler and Disassembler) – розбиття/збірка пакету
<b>PBX</b>	(Private Branch Exchange) – приватна телефона станція з вихідом до загальної мережі
<b>P-CSCF</b>	(Proxy CSCF) – створює першу контактну точку на сигнальному рівні всередині ядра IMS для терміналів IMS
<b>PDF</b>	(Policy Decision Function) – функція вибору політики
<b>PDG</b>	(Packet Data Gateway) – пакетний шлюз
<b>PDH</b>	(Plesiochronous Digital Hierarchy) – плезіохрона цифрова ієрархія
<b>PDU</b>	(Protocol Data Units) – протокольна одиниця даних
<b>PE</b>	(Physical Entity) – фізична площина
<b>POI</b>	(Point of Initiation) – точки ініціалізування
<b>PON</b>	(Passive Optical Network) – пасивна оптична мережа
<b>POP</b>	(Point of Presence) – точка мережевої присутності
<b>POR</b>	(Point of Return) – точка повернення
<b>PPP</b>	(Point-to-Point Protocol) – протокол двоточкового з'єднання
<b>PRA</b>	(Primary Rate Access) – первинний доступ
<b>PRI</b>	(Primary Rate Interface) – інтерфейс первинного доступу
<b>PS</b>	(Packet Switching) – комутація пакетів
<b>QA</b>	(Q-Adapter) – Q-адаптера

<b>QoS</b>	(Quality of Service) – режим якісного обслуговування
<b>RACS</b>	(The Resource and Access Control) – підсистема керування ресурсами й доступом
<b>RADSL</b>	(Rate Adaptive Digital Subscriber Line) – цифрове закінчення з адаптувальною швидкістю передавання
<b>RAN</b>	(Radio Access Network) – устаткування радіодоступу
<b>RAS</b>	(Remote Access Server) – сервера віддаленого доступу
<b>RB</b>	(Remote Bridge) – віддалений міст
<b>RFC</b>	(Request For Comment) – документи, що описують внутрішню роботу Інтернету
<b>RIP</b>	(Routing Internet Protocol) – протокол збору маршрутної інформації
<b>RLL</b>	(Radio Local loop) – абонентський радіодоступ
<b>ROADM</b>	(Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) – реконфігуровувальний оптичний мультиплексор введення/виведення
<b>RRAS</b>	(Routing and RAS) – програмна мультипротокольна маршрутизація
<b>RSVP</b>	(ReSerVation Protocol) – протокол резервування комунікаційних ресурсів
<b>RTP</b>	(Real-Time Transport Protocol) – транспортний протокол реального масштабу часу
<b>RT-VBR</b>	(Real Time Variable Bit Rate) – пропускна здатність в реальному часу зі змінною швидкістю

<b>SAN</b>	(Switch and Access Node) – мультисервісний комутатор доступу
<b>SAS</b>	(Single Attached Concentrator) – концентратор одинарного під'єднання
<b>SBC</b>	(Session Border Controller) – прикордонний контролер сеансів
<b>SCEP</b>	(Service Creation Environment Point) – середовище створення послуг
<b>SCIM</b>	(Service Capability Interaction Manager) – забезпечує керування взаємодією площини застосовань і ядра IMS
<b>SCM</b>	(Sub-Carrier Multiplexing) – мультиплексування частоти носія
<b>SCP</b>	(Service Control Point) – вузол керування послугами
<b>S-CSCF</b>	(Serving Call Session Control Function) – функціональний елемент керування сесією виклику послуг
<b>SDH</b>	(Synchronous Digital Hierarchy) – синхронна цифрова ієрархія
<b>SDSL</b>	(Symmetric Digital Subscriber Line) – симетричне цифрове абонентське закінчення
<b>S-FDMA</b>	(Scalable OFDMA) – нарощуваний OFDMA
<b>SG</b>	(Signaling Gateway) – шлюз сигналізації
<b>SGCP</b>	(Simple Gateway Control Protocol) – простий протокол керування шлюзами
<b>SGSN</b>	(Serving GPRS Support Node) – сервісний опорний вузол GPRS
<b>SGW</b>	(Signaling Gateway) – сигнальний шлюз

<b>SIB</b>	(Service Independent Block ) – функціональний блок
<b>SIP</b>	(Session Initiation Protocol) – протокол ініціалізування сеансів зв'язку
<b>SIP AS</b>	(SIP Application Server) – SIP сервер застосовань
<b>SL</b>	(Subscriber Line) – абонентська лінія
<b>SMI</b>	(Structure of Management Information) – структура інформації керування
<b>SMP</b>	(Service Management Point) – система експлуатаційного керування
<b>SMT</b>	(Station Managment) – керування під'єднаним вузлом
<b>SMTP</b>	(Simple Mail Transfer Protocol) – простий протокол передачі пошти
<b>SMWL</b>	(Simple Multi – Wavelength Link) – проста багатохвильова лінія зв'язку
<b>SN</b>	(Service Node) – сервісний вузел
<b>SNA</b>	(Systems Network Architecture) – системна мережева архітектура
<b>SNI</b>	(Service Node Interface) – інтерфейс сервісного вузла
<b>SNMP</b>	(Simple Network Managment Protocol) – простий протокол мережевого керування
<b>SoD</b>	(Service on Demand) – служба за запитом
<b>SOHO</b>	(Small Office/Home Office) – сектор малих офісів
<b>SONET</b>	(Synchronous Optical Network) – синхронної оптичної мережі

<b>SPAN</b>	(Services and Protocols for Advanced Networks) – комітет, який відповідає за стандартизацію стаціонарних мереж
<b>SPP</b>	(Service Provisioning Platform) – платформа надання сервісів
<b>SSP</b>	(Service Switching Point) – вузел комутації послуг
<b>SSw</b>	(Softswitch) – програмний комутатор
<b>STA</b>	(Spanning Tree Algorithm) – алгоритм побудови „покривного дерева”
<b>STB</b>	(Set-Top-Box) – телевізійна приставка
<b>STM</b>	(Synchronous Transfer Mode) – синхронний режим перенесення
<b>SWANET</b>	(Self-routed Wavelength-Addressable Network) – самомаршрутувальна мережа з хвильовою адресацією
<b>SMF</b>	(Single Mode Fiber) – одномодове оптичне волокно
<b>TA</b>	(Terminal Adapter) – термінальний адаптер
<b>TAPI</b>	(Telephony Application Programming Interface) – інтерфейс прикладного програмування для телефонії
<b>TAS</b>	(Telephony Application Server) – сервер телефонних застосовань
<b>TCP</b>	(Transmission Control Protocol) – протокол керування передачею
<b>TCP/IP</b>	(Transmission Control Protocol/Internet Protocol) – стандарт стека протоколів для глобальних мереж
<b>TDD</b>	(Time-Division Duplexing) – часове дуплексування

<b>TDM</b>	(Time Division Multiplexing) – мультиплексування з поділом часу
<b>TDMA</b>	(Time Division Multiple Access) – множинний доступ до каналу
<b>TE1</b>	(Terminal Equipment type 1) – термінальне обладнання типу 1
<b>TE2</b>	(Terminal Equipment type 2) – термінальне обладнання типу 2
<b>TELNET</b>	(TELEcommunication NETwork) – протокол видаленого входу в систему
<b>TINA</b>	(Telecommunications Information Networking Architecture) – архітектура мережевого інформаційного забезпечення телекомунікацій
<b>TISPAN</b>	(Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking) – група, яка відповідає за стандартизацію конвергувальних і перспективних мереж
<b>TM</b>	(Transmission Media) – транспортна мережа
<b>TMN</b>	(Telecommunication Management Network) – мережа керування телекомунікаціями
<b>TN</b>	(Telecommunication Network) – телекомунікаційна мережа
<b>TN</b>	(Transport Network) – транспортна мережа
<b>TTC</b>	(Telecommunication Technology Community) – Комітет з телекомунікаційних технологій
<b>TTL</b>	(Time To Live) – час життя
<b>UBR</b>	(Unspecified Bit Rate) – найбільш низькопріоритетний режим передавання



<b>UCI</b>	(User-Computer Interface) – інтерфейс „людина-комп'ютер”
<b>UDP</b>	(User Datagram Protocol) – протокол датаграм користувачів
<b>UE</b>	(User Equipment) – устаткування користувача
<b>UMA</b>	(Unlicensed Mobile Access) – універсальний мобільний доступ
<b>UMTS</b>	(Universal Mobile Telecommunication System) – універсальна мобільна телекомунікаційна система
<b>UNI</b>	(User-Network-Interface) – інтерфейс користувач-мережа
<b>US-BS</b>	(User Equipment - Base Station) – від абонентського обладнання до базової станції та ліній
<b>VDSL</b>	(Very high-speed Digital Subscriber Line) – надшвидке цифрове абонентське закінчення
<b>VLAN</b>	(Virtual LAN) – технологія віртуальних локальних мереж
<b>VM</b>	(Voice Mail) – голосова пошта
<b>VoD</b>	(Video on Demand) – відео за запитом
<b>VoIP</b>	(Voice over Internet Protocol) – передача мови пакетами через Інтернет
<b>VPLS</b>	(Virtual Private LAN Service) – технологія віртуальної приватної локальної мережі
<b>VPN</b>	(Virtual Private Networks) – віртуальна приватна мережа

<b>WAG</b>	(Wireless Access Gateway) – шлюз безпроводового доступу
<b>WAN</b>	(Wide Area Network) – великомасштабна територіальна мережа
<b>WCDMA</b>	(Wideband CDMA) – широкосмугова CDMA
<b>WDM</b>	(Wavelength Division Multiplexing) – хвильове ущільнення
<b>WiMAX</b>	(Worldwide Interoperability for Microwave Access) – глобальна взаємодія мереж з мікрохвильовим доступом
<b>WLAN</b>	(Wireless Local Area Networks) – безпроводова локальна мережа зв'язку
<b>WLL</b>	(Wireless Local loop) – безпроводове абонентське закінчення
<b>WPA</b>	(Wi-Fi Protected Access) – захищений доступ Wi-Fi
<b>WS</b>	(Work Station) – робоча станція
<b>WWW</b>	(World Wide Web) – всесвітня павутина

## Предметний покажчик

10Base-5	7	Адреса	
10Base-2	7	IP	11
10Base-T	7	динамічна	11
10Base-F	7	загальна	11
100Base-FX	7	логічна	3
100Base-TX	7	локальна	11
100Base-T4	7	мережева	3, 11
1000Base-SX	7	приватна	11
1000Base-Lx	7	статична	11
1000Base-CX	7	фізична	3
802.11	10	Адресація	4
802.16	10	Адресний ідентифікатор	3
802.1D	12	Алгоритм	6
802.1w	12	RIP	11
802.3ad	12	OSPF	11
802.1Q	12	Дейкстри	6
802.1ah	12	дистанційно-векторний	11
802.1Qay	12	знаходження медіани	
<b>A</b>		графа	6
Абонент мережі	13	знаходження центра	
Абонентский доступ	10	графа	6
проводовий	10	еврістичний	6
безпроводовий	10	ковзного вікна	11
Абонентська лінія	10	Краскела	6
цифрова	10	Пріма	6
Автономна система	11	побудови покривного	
Агент	18	дерева	6,12
Адаптер	9	побудови «ярусного	
FDDI	9	дерева»	6
мережевий	12	стану зв'язків	11
ISDN	12	точний	6
		Апаратура	3

- Апаратура передачі даних 3
- Архітектура 3, 16
  - IMS 16
  - відкритого доступу до послуг 17
  - мережі доступу 10
- Б**
- База керувальної інформації 18
- Базовий доступ BRA 7
- Базова станція 10
- Безпроводова локальна мережа зв'язку 7
- Бізнес-модель 15
  - інфраструктурна 15
  - інфраструктурно-сервісна 15
  - сервісна 15
- Брамник 18
- В**
- Варіація затримки 2
- Вартість 2
- Вершина 3
- Відгалужувач 9
- Віддалений доступ 12
- Відкритий доступ до послуг 17
- Вибірка 7
- Вузол
  - адреси 3
  - доступу 3
  - логічний 3
  - мережевий 10
  - опорний 3
- опорно-транзитний 3
- розподільчий 10
- сервісний 1, 3, 10
- транзитний 3
- Вузькосмугова ISDN 8
- Г**
- Граф 3, 6
  - зважений 6
  - неорієнтований 6
  - орієнтований 6
- Гамільтонов контур 6
- Глобальна інформаційна інфраструктура 2, 15
- Д**
- Датаграма 11
- Демультіплексор 7
- Ділянка мережі абонентського доступу 10
  - розподільча 10
  - магістральна 10
- Дискретизування 7
- Додаткові види обслуговування 14
- Домен 3
- Домен ширококомовного трафіку 5
- Доменні імена 11
- Дуга 3
- З**
- Задача
  - аналізу зв'язувальної мережі 6

про знаходження найкоротшого за довжиною шляху	6		
синтезу зв'язувальної мережі	6		
синтезу телекомунікаційної мережі	6		
синтезу мережі мінімальної вартості	6		
про потоки	6		
застосування СКС	12,13		
<b>Е</b>			
Емергентність	3		
Економічність зв'язку	3		
Екстрамережа	12		
Екстремум	6		
Еталонна точка телекомунікаційної мережі	3		
Еталонна модель взаємодії відкритих систем	4		
<b>З</b>			
Забезпечення			
апаратне	3		
базове	3		
програмне	3		
розподільче	3		
Засоби телекомунікацій	2		
Застосування			
прикладне	3		
розподільче	3		
Затримка передачі	2		
<b>Ж</b>			
Живучість	2		
<b>І</b>			
Ідентифікатором вузла	18		
Ієрархія	9		
цифрова	9		
плезіохрона цифрова	9		
оптична транспортна	9		
мереж доступу	10		
ліній мереж доступу	10		
Ієрархічність	3		
Інкапсуляція	4		
Інтерлівінг	7		
біт	7		
байт	7		
блок	7		
символьний	7		
Інтермережа	11		
Інтернет	5		
Інтернет-сервіс-провайдинг	1		
Інтернет-телефонія	18		
Інтерфейс	8		
BRI	8		
HSSI	12		
PRI	8		
RS-449	12		
V.24/RS-232	12		
V.35	12		
базових програм	3		
вузла доступу	5		
«користувач-мережа»	10		
логічний	3		
«мережа-мережа»	10		

об'єктний	3	Комутатор	8, 9
прикладних програм	3, 17	Ethernet	9
прикладного		високошвидкісний з	
програмування API	8	колективною пам'яттю	9
сервісного вузла	3	магістральний	9
стандартний	1	маршрутизувальний	9
фізичний	3, 10	матрічний	9
Інтерфейсна плата	7	мультисервісний доступу	10
Інтрамережа	12	програмний Softswitch	8
Інфокомунікації	2	типу “баньян”	9
<b>К</b>		транспортний сервісний	9
Кабель	9	Комутація	3, 9
волоконно-оптичний	9	каналів	7
багатомодовий	9	пакетів	7
одномодовий	9	послідовна бітова	9
Кадр	4, 7	Комутована Ethernet	12
Канал комутований	7	Конвергенція	2, 15
Квантування	7	застосовань	15
Керування		мереж	15
доступом до каналу	4	послуг	15
потокм даних	3	технологій	15
потокм синхронізація		фіксованого та мобільного	
кадрів	4	зв'язку FMC	15
Керувальна станція	18	Контент	15
Кінцева апаратура даних	3	Контролер	10
Кінцеве обладнання даних	3	FDDI	9
Клієнт	11	мультисервісний	
DNS	11	абонентський	10
мережі	13	сеансів прикордонний	10
Кодування	7	Концентратор	8, 9
Колізія	7	Концентрація	3, 11
Комірка	7	IMS	16
Комунікаційність	3	ISDN	8

FTTC	10	Маркер доступу	7
FTTH	10	Маршрутизатор	4, 9
NGN	8	магістральний	9
OSA	17	маска підмережі	11
Quad Play	15	Маршрутизація	3, 4, 11
TINA	8	адаптивна	11
TMN	8	від джерела	11
Triple Play	15	динамічна	9, 11
ЄАМЗ	8	Масштабованість	5, 9
інтелектуальної мережі IN		Матриця	6
8		ваг	6
побудови мережі	3, 8	інцидентності	6
Конфедерація	11	суміжностей	6
<b>Л</b>		Медіана графа	6
Ланка	7	Медіасервер	17
Лінія		Мережа	
абонентська	3, 10	IP	5, 11
зв'язку	7, 9	TCP/IP	5, 11
проста багатохвильова		абонентського доступу	5, 10
9		багато полюсна	6
з'єднувальна	10	базова	9
магістральна	3	базова сервісна	9
мережі доступу	10	будівлі або кампусу	1
Лінійне кодування	4	великомасштабна	
Лінк	7	територіальна	5
<b>М</b>		відділів	1
Магістраль	9	вторинна	8, 14
опорна	9	глобальна	5
поперечна	3	двополюсна	6
радіальна	3	доступу	5
сколапсована	9	з активною хвильової	
		маршрутизацією	9
		з паралельною бітової	
		комутацією	9

з пасивною хвильової маршрутизацією	9	Мережеві операційні системи	2
загального користування	1	Мережевий трафік	3
зв'язувальна	6	Метод	11
інтелектуальна	8	безперервного	
інфокомунікаційна	2	відправлення	
інформаційна	1, 2	визначення множини	
корпоративна	1	перерізів	6
локальна	5	доступу CSMA/CA	10
магістральна	5	знаходження	
мегаполісу	5	гамільтонового контуру	6
міжвузлового зв'язку	10	з простоями	11
мобільного доступу	10	з організацією вікна	11
мультисервісна	2, 9, 14	сегментів	11
неофісного типу	1	хорди	18
опорна магістральна	9	Мережеве закінчення	3, 5
офісного типу	1	NT	10
пасивна оптична	9	Мережеве застосування	13,18
первинна	8	Мережевий блок NU	10
підприємства	1, 10	Мережевий екран	12
повністю оптична AON	9	Механізм інкапсуляції	4
приватна	1	Міжмережева взаємодія	5
публічна	1	Міжкадровий інтервал	7
районована без вузлування	10	Мінімальне покривне дерево	6
розподільча	5	Міст	9
самомаршрутувальна з хвильової адресацією	9	FDDI	9
телекомунікаційна	1, 2	віддалений	12
транспортна	5, 9	Мобільності	2
Мережеве обладнання		Модель	
активне	3	вербальна	6
пасивне	3	керування	18
		математична	6
		мережі доступу	10
		оптимізаційна	6



обслуговування IN-виклику		мережі	2
8		Нібл	7
протоколів B-ISDN	8	Номадизм	2
Модем	10,12	Навантаження інформаційної мережі	2
DSU/CSU	12		
LAN-	12	<b>О</b>	
xDSL	10	Об'єкт 3	
голосовий	12	Обслуговування	13
кабельний	10,12	Одиниця даних	14
оптичний	12	Однорангові мережі	18
Модемний пул	12	Оператор	
Модемна термінальна станція	10	віртуальний	1
MCE	2, 3	мережі	1
Мультиплексування	3, 7	мобільного зв'язку	1
мовленнєвих сигналів	7	робочих груп	1
потоків даних	7	фіксованого зв'язку	1
синхронне часове	7		
Мультиплексор	7, 9	<b>П</b>	
DWDM	9	Первинний доступ PRA	
введення/виведення	9		7
доступу до цифрового		Передавач оптичний	9
абонентського закінчення		Перенесення інформації	2,4
DSLAM	10	Передача даних	4
пасивний оптичний	9	Підсилювач	
реконфігурувальний		кремнієво-ербієвий	9
оптичний	9	оптичний	9
термінальний	9	Підсистема	12
Мультисервісна платформа		внутрішніх магістралей	12
надання послуг	9	горизонтальна	12
Мультифрейм	7	зовнішніх магістралей	12
		Пірінгові мережі	18
<b>Н</b>		План розподілу потоків	
Надійність		у мережі	3
зв'язку	3		

Платформа надання послуг	2, 15, 16	DHCP	11
конвергентна	16	EGP	11
Повторювач	8, 9	ICMP	11
Поле фрейма	7	IGMP	15
Послідовник	18	IGP	11
Послуга	13	IPv4	11
E-mail	15	IPv6	11
FTP	15	LCAP	12
IPTV	15	NHRP	11
SkypeIn	18	MEGACO/H.248	18
SkypeOut	18	MGCP	18
Skype Voicemail	18	PPP	12
Skype Zones	18	RTP	15
VoIP	15,18	SCTP	18
VoD	15	SGCP	18
Web	15	SNMP	18
базова	15	TCP	11
інфокомунікаційна	2, 15	UDP	11
інформаційна	1, 2, 15	ініціалізування сеансів зв'язку SIP	8
передавання даних	15	міжмережевої взаємодії	5, 11
телекомунікаційна	1, 15	прикладний	3
транспорту	15	проміжного ПЗЗ	
Префікс мережі	11	сигналізації QoS	14
Приймач оптичний	9	Протокольна модель	3
Провайдер		Протокольний порт	11
місцевого рівня	1	Протокольний рівень	3
національний	1	Процес	
регіональний	1	інформаційний	2
Прозорість	2	взаємодії	2
Пропускна здатність	2	прикладний	2
Протокол		Пункти	
ARP	11	абонентські	3
BGP	11		

вузловий	3	транспортний	4
кінцеві	3	фізичний	4
		ядра	3
<b>Р</b>		Розподілення	3
Ребро	3	Розширюваність	5
Режим	14		
Multicast	15	<b>С</b>	
групового розсилання	14	Сеанс зв'язку	15
негрупового розсилання	14	Сегмент	5, 9, 10, 11
перенесення	7	СЗЛТ	10
асинхронний	7	СРВхТ	10
синхронний	7	СФВихТ	10
		СФТТ	9, 10
Рентабельність	2	замикання локального	
Ресурси		трафіку	5
даних	2	мережевого рівня	5
зберігання	2	розподілення вхідного	
інформаційні	2	трафіку	5
комунікаційні	2	формування транзитного	
обробки	2	трафіку	5
програмні	2	формування вихідного	
Ретрансляція фрейму	7	трафіку	5
Рівень		Сектор малих офісів	1
доступу	3, 4	Сервер	2, 11
застосовань	4	DNS	11
канальний	4	RAS	12
мережевий	4	застосовань	17
міжмережевий		інтерактивної мовленнєвої	
прикладний	4	системи	18
представницький	4	комунікаційний	12
розподілення	3	маршрутів	11
сеансовий	4	Сервіс	13,14,15
сервісів	18	базових мережевих	
		технологій	9

мережевого рівня	9	передавання	14
телекомунікаційний	14	телематичні	14
ширококутовий	8	Сокет	11,15
Сервіс-провайдери	1	Специфікація	4
Сесія	15	Стандарт	15
Система	11	MPEG	15
автономна	11	Стек міток	9
адміністративна	2	Стек протоколів	3
відкрита	4	Структуризація	3
керування мережами	18	Структура	
термінальна	2	інформації керування	18
транспортувальна	2	логічна	3
універсальна мобільна		організаційна	3
телекомунікаційна	10	програмна	3
хостингова	2	суміжностей	6
Служба		топологічна	3
DNS	11	фізична	3
QoS	14	Структурована кабельна система	12
автоматичного призначення		Сфера обслуговування ОВ	10
IP-адрес	11		
багатоканального			
багатоточкового		<b>Т</b>	
розподілення	10	Таблиця маршрутизації	11
локального		Тайм-слот	7
багатоточкового		Таймер	7
розподілення	10	Телеслужби	14
пакетного радіозв'язку		Термінали ISDN	8
загального призначення		Технологія	7, 9
GPRS	10	2G	10
серверна	11	3G	10
Служби мережі	13,14	ADSL	10
діалогові	14	ATM	7
дистрибутивні	14	CDMA	10
інтерактивні	14	DECT	10

Ethernet	7	цифрової абонентської лінії
Frame Relay	7	xDSL 10
GMPLS	9	щільного хвильового
GSM	10	мультиплексування 9
HDSL	10	Топологія 3
HSDPA	10	деревоподібна 3
ISDN	7	змішана 3
MPLS	9	«кільце» 3
P2P	18	коміркова 3
PDH	9	комутована 5
Q-n-Q	12	логічних зв'язків 3
RADSL	10	типова 3
SDH	9	«точка - точка» 3
SDSL	10	фізичних зв'язків 3
TDMA	10	Точка
VDSL	10	доступу 7
VLAN	12	мережевого доступу 1, 3
VPLS	12	присутності 3
VPN	12	Транки 12
WCDMA	10	Тракт передавання 7
WiMAX	10	Транспортування 2
X.25	7	Транспортна мережа 9
асинхронного режиму		CIDR 11
перенесення	7	CORE 9
віртуальних контейнерів		METRO 9
9		Транспортна підсистема
гібридна волоконно-		3
коаксіальна	10	Транспортне середовище 2
оптичних мереж	9	Транспортний шлюз 9
пірінгових мереж	18	
синхронного режиму		<b>Ф</b>
перенесення	7	Фізичні інтерфейсні пристрої
стільникового зв'язку	10	3

Формування даних	3	Хост	3
Фрейм	4	<b>Ц</b>	
Функція	3	Центр	
адресації	4	графа	6
відновлення після збоїв	4	інформаційний	3
виявлення та виправлення помилок	4	керування	3
встановлення й розриву з'єднання	4	Цільова функція	6
керування мережею	3	Цикл графа	6
керування послугами	3	Цикл передавання	7
керування потоком даних	4	<b>Ч</b>	
комунікаційна	3	Час реакції мережі	2
мультиплексування	4	<b>Ш</b>	
обробки та зберігання даних	3	Швидкість передачі	14
призначення пріоритетів даних	4	Широкосмугова ISDN	8
прикладна	3	Широкосмуговий доступ на основі волоконно-оптичного кабелю	10
сегментації	4	через систему CATV	10
Функціональна модель	3	Шлюз	11,18
Функціональні модулі	3	внутрішній	11
підсистеми	3	зовнішній	11
<b>Х</b>		транспортній	17
хвильова конверсія	9	<b>Я</b>	
Хмара	5	Якість	
Хоп	4, 11	обслуговування	2, 14
		функціонування мереж	14



Навчальне видання

*Воробієнко Петро Петрович*

*Нікітюк Леся Андріївна*

*Резніченко П.І.*

## **Телекомунікаційні та інформаційні мережі**

Підручник

[для вищих навчальних закладів]

*Редактор – Пономаренко І.В.*

*Технічний редактор –*

*Дизайн обкладинки –*