

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА
ІНФОРМАТИЗАЦІЇ**

**ГОСТЄВ В.І., КУНАХ Н.І.,
ТКАЛЕНКО О.М., НЕВДАЧИНА О.В.**

Мережні технології

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Київ – 2012

УДК 621.39
ББК 32.973.202
Г72

Гриф надано
Державним університетом
інформаційно – комунікаційних
технологій
(протокол №9 від 31.05.2012 р)

)

Рецензенти: проф., д.т.н. Беркман Л.Н.
проф., д.т.н. Савченко Ю.Г.

Навчальний посібник призначений для самостійної роботи студентів вищих навчальних закладів під час поглибленого вивчення дисципліни «Мережні технології» (МТ) – циклу дисциплін професійної та практичної підготовки за спеціальністю 7.09242 «Інформаційні мережі зв'язку».

Гостєв В.І., Кунах Н.І., Ткаленко О.М., Невдачина О.В. Мережні технології. Навч. посібник підготовлено для студентів вищих навчальних закладів – Київ: ДУІКТ, 2012. – 101 с.

У посібнику розглянуто аналіз, синтез та оптимізація телекомунікаційних мереж, принципи функціонування та архітектура побудови мереж. Приведені сучасні телекомунікаційні технології, які отримали найбільше застосування на телекомунікаційних мережах України.

Контрольні запитання допоможуть студенту в підготовці до модульного контролю.

Навчальний посібник призначений для студентів за напрямом «Телекомунікації» зі спеціальності «Інформаційні мережі зв'язку», а також може бути корисний для аспірантів, викладачів навчальних закладів відповідних спеціальностей, фахівців, які обслуговують телекомунікаційні мережі зв'язку.

ЗМІСТ

	ПЕРЕДМОВА.....	5
1	АНАЛІЗ, СИНТЕЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ.....	8
	1.1 Поняття телекомунікаційної та інформаційних мереж.....	8
	1.2 Поняття архітектури мережі.....	11
	1.3 Загальне поняття про задачі синтезу та аналізу мереж зв'язку.....	14
	1.4 Модельне представлення мережі зв'язку як об'єкту синтезу та аналізу.....	16
	1.5 Синтез мережі мінімальної вартості.....	18
	1.6 Визначення оптимального місцяположення опорного вузла в кабельній мережі абонентського доступу.....	22
	1.7 Визначення оптимального місця розташування базової станції в мережі стаціонарного радіо доступу.....	23
	1.8 Визначення циклу найменшої довжини при організації транспортного кільця.....	24
	1.9 Знаходження найкоротшого шляху у зв'язній мережі.....	25
	1.10 Визначення множини шляхів заданої транзитності.....	28
	1.11 Задачі про потоки. Оцінка пропускнув спроможності зв'язної мережі.....	30
	Контрольні запитання для самооцінки рівня знань	33
2	АРХІТЕКТУРНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ.....	35
	2.1 Топологія.....	35
	2.2 Організаційна структура.....	39
	2.2.1 Призначення та характеристики елементів мережі.....	39
	2.2.2 Композиційні принципи утворення сегментів.....	41
	2.2.3 Принципи організації мереж LAN.....	43
	2.2.4 Принципи організації мереж MAN.....	43
	2.2.5 Мережі глобальних телекомунікацій WAN.....	49
	2.3 Функціональна модель мережі.....	51
	2.4 Програмна структура.....	53
	2.5 Протокольна модель.....	55
	2.6 Модель реалізації.....	57
	2.7 Фізична структура.....	59
	Контрольні запитання для самооцінки рівня знань.....	61
3	ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ.....	62
	3.1 Мережний сервіс.....	62
	3.2 Характеристика трафіку різних служб та прикладень.....	67
	3.3 Формування бітового потоку відеотрафіку.....	68
	3.4 Формування потоку мовного трафіку.....	69
	3.5 Формування цифрового потоку даних.....	74

3.6	Поняття режиму перенесення інформації в мереж.....	75
	Контрольні запитання для самооцінки рівня знань.....	77
4	БАЗОВІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.....	79
4.1	Технології високошвидкісного передавання цифрових потоків....	79
4.2	Технологія PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).....	80
4.3	Технологія SDH(Synchronous Digital Hierarchy).....	82
4.4	Передавання та комутація пакетів. Технологія X.25.....	89
4.5	Передавання та комутація кадрів. Технологія Frame Relay.....	94
4.6	Технологія ISDN.....	95
4.7	Технологія АТМ.....	98
4.8	Швидка комутація пакетів.....	102
	Контрольні запитання для самооцінки рівня знань.....	107
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	108
	СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	108

ПЕРЕДМОВА

Теперішній час характеризується бурхливим розвитком мережних систем, які стали найважливішою компонентою інформаційної інфраструктури суспільства. У телекомунікаційному секторі світової економіки відбуваються глобальні зміни як на макрорівні, так і на мікрорівні. Зміни на макрорівні визначаються розвитком таких процесів як *лібералізація, дерегулювання та глобалізація*.

Ключовим моментом серед цих процесів є лібералізація, *сутність якої полягає у послабленні або повній відміні державного контролю над діяльністю підприємств зв'язку*. Лібералізація та дерегулювання у телекомунікаційному секторі визначили перехід від монопольної структури ринку до конкурентного середовища.

Сутність глобалізації полягає в тому, що *будь-які форми активності, які раніше діяли на місцевому та регіональному рівнях, тепер реалізуються у континентальних та світових масштабах*. Рухомими силами глобалізації є міжнародна торгівля, міжнародна фінансова діяльність та міжнародні телекомунікації. Вплив глобалізації сьогодні відчувається майже у всіх секторах економіки. Що стосується телекомунікацій, головним проявом глобалізації тут стає все менша роль національних меж при наданні послуг зв'язку.

Головною особливістю процесу розвитку телекомунікацій на мікрорівні є *завершення процесу інтеграції засобів зв'язку та обчислювальної техніки*. Така інтеграція є наслідком досягнень у наступних ключових областях:

- мікроелектроніка;
- фотонні технології;
- програмне забезпечення.

Широке використання комп'ютерів стає головним фактором, що впливає на характеристики телекомунікацій та визначає зростання продуктивності систем передавання та комутації, а також можливість надання великої кількості послуг при зменшенні їх вартості.

Але прогрес в телекомунікаціях пов'язаний не лише з розвитком мікросхемотехніки, але й досягненнями у волоконно-оптичних технологіях та прогресом у розробці програмних продуктів.

Відносно швидке впровадження на ринок телекомунікацій волоконно-оптичних систем зв'язку забезпечило суттєво великі пропускні спроможності у порівнянні з системами на мідному кабелі. На початку 90-х років вже були досягнені швидкості порядку 10 Гбіт в секунду.

Розвиток індустрії програмних продуктів забезпечило надходження на ринок телекомунікацій великої кількості прикладень, що дозволяє необмежено розширювати спектр надаваних послуг зв'язку користувачам.

Традиційні мережі електрозв'язку епохи аналогової телефонії вже давно відсвяткували сторічний ювілей та сформували свою стійку термінологію. Розвиток цифрових мереж та систем зв'язку, який охоплює період з початку

60-х та до 90-х років минулого століття, супроводжувався переважно термінологією мереж цифрової телефонії. Комп'ютерні технології та обчислювальна техніка розвивалися хоча і паралельно з цифровими мережами зв'язку, але суттєво більш швидкими темпами. Відбувалася швидка зміна поколінь ЕОМ, багатомашинні комплекси замінялися багатопроцесорними розподіленими системами обробки інформації з мережною архітектурою. Термінологія в цій області охоплювала значно велике коло понять, ніж у техніці цифрового зв'язку. Можна також з впевненістю стверджувати, що саме розвиток обчислювальної техніки, її архітектури, є джерелом розробки принципів та модельних рішень, які використовуються у сучасних мережних технологіях.

Не можна не відмітити і зворотній вплив. Необхідність передавання даних на значну відстань призвела до використання існуючих телекомунікацій в якості транспортного середовища при об'єднанні локальних обчислювальних мереж (ЛОМ) та взаємодії їх з віддаленими комп'ютерами. Це, в свою чергу, дозволило використати комп'ютер в якості термінального або транзитного вузла телекомунікаційної мережі та зв'язувати будь-яких користувачів мережі у відповідності з їх адресами, використовуючи мережні процедури маршрутизації.

В результаті конвергенції мереж на теперішній час відбувається невідправне взаємопроникнення таких різних за походженням та принципам роботи двох інформаційних середовищ, як комп'ютерні та телефонні мережі.

Сьогодні можна констатувати, що термінологія в області технологій локальних мереж практично є сталою і представлена, в основному, англійськими термінами: Ethernet, Fast Ethernet, Token Ring, FDDI і т.д. Але, в області глобальних мереж та технологій зберігається тенденція до застосування перекладів англійських термінів та їх синонімів, що породжує їх неоднозначність. Наприклад, Frame Relay – ретрансляція кадрів, передавання кадрів, передавання та ретрансляція кадрів; АТМ – асинхронний режим перенесення, асинхронний режим передавання, режим передавання комірок і т.д.

На практиці спеціалісти по обчислювальним локальним мережам вже сьогодні почали використовувати технологію АТМ і мають наміри використати технологію SDH для транспортування потоку комірок АТМ на фізичному рівні, а зв'язківці створюють накладені глобальні мережі на основі цих же технологій, надаючи можливість об'єднання локальних мереж підприємств та віддалених „домашніх офісів”. При експлуатації існуючих мереж електрозв'язку все частіше розглядається тенденція до передавання так називаного „чужого” трафіку. Наприклад, передавання комп'ютерних даних засобами телефонних комунікацій або передавання мовного трафіку з використанням пакетного режиму перенесення інформації. В результаті цього, все складніше здійснити звичну для зв'язківців класифікацію мереж по виду передаваних повідомлень. Значно прагматичніше охарактеризувати ту чи іншу мережу з точки зору можливостей організації в ній передавання

різних видів інформації, іншими словами *оцінити транспортні можливості мережі* (ширину смуги пропускання, що забезпечує якість обслуговування і т.д.) по відношенню до різних категорій трафіку.

Тому вивчення дисципліни «Мережні технології» надасть можливість розібратись в розмаїтті понять та існуючих технологій, які з'явилися внаслідок комп'ютерно-мережної інтеграції.

1 АНАЛІЗ, СИНТЕЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

1.1 Поняття телекомунікаційної та інформаційних мереж

Одними з найбільш загальних понять, які з'явилися внаслідок комп'ютерно-мережної інтеграції, є поняття *телекомунікаційної* та *інформаційної* мереж як складових ще більш ємнісного поняття *інфокомунікації*.

Сектор із стандартизації телекомунікацій Міжнародного Союзу Електрозв'язку (ITU-T) визначає поняття „телекомунікація” (Telecommunication) як сукупність засобів, які забезпечують перенесення інформації, представленої у необхідній формі, на значну відстань шляхом розповсюдження сигналів в одному із середовищ (міді, оптичному волокні, ефірі) або сукупності середовищ. До вказаних засобів, які визначаються загальним поняттям „засобу телекомунікацій” відноситься обладнання систем передавання інформаційних сигналів у лініях зв'язку, а також обладнання, яке забезпечує такі функції як сигналізація, синхронізація та об'єднання середовищ та систем.

Сукупність телекомунікацій та вузлів, які їх з'єднують, що забезпечує взаємодію багатьох віддалених об'єктів, утворюють телекомунікаційну мережу (Telecommunication Network). В якості віддалених об'єктів при цьому можуть використовуватися як кінцеві системи інформаційної мережі, так і окремі локальні та територіальні мережі.

Телекомунікаційна мережа виконує функції транспортної системи у складі інформаційної мережі, а інформаційні процеси породжують потоки рухомої інформації.

Телекомунікаційні мережі прийнято оцінювати рядом показників, які відображають в цілому можливість та ефективність транспортування інформації в них.

Можливість передавання інформації у телекомунікаційній мережі пов'язана з її працездатністю в часі, тобто виконання заданих функцій у встановленому обсязі на необхідному рівні якості на протязі визначеного періоду експлуатації мережі або у будь-який момент часу.

Працездатність мережі пов'язана з поняттями *надійності* та *життєвості*.

Надійність мережі зв'язку характеризує її властивість забезпечити зв'язок, зберігаючи в часі значення встановлених показників якості в заданих умовах експлуатації.

Показниками надійності є, наприклад, відношення часу працездатності мережі до загального часу її експлуатації, кількість можливих незалежних шляхів передавання інформаційного повідомлення між парою пунктів, ймовірність безвідмовного зв'язку і т.д.

Життєвість мережі зв'язку характеризується її можливістю зберегти повну або часткову працездатність при дії факторів, які знаходяться за

межами мережі та призводять до розладів або значним пошкодженням деякої частини її елементів (пунктів або ліній зв'язку).

Пропускнуну спроможність можна оцінити величиною максимального потоку інформації, який можна пропустити між деякою парою пунктів (джерело-витікання).

Якість обслуговування будемо розуміти як сукупність характеристик, які визначають степінь задоволення користувача мережі. До вказаних характеристик відносяться експлуатаційні характеристики мережі (швидкість передавання інформації, ймовірність помилок і т.д.), показники зручності користування послугами, повнота послуг (ці показники звичайно оцінюються у балах) та ін.

Поняття „**інформаційна мережа**” охоплює всю багатозначність інформаційних процесів, які виконуються у кінцевих системах, що об'єднуються телекомунікаційною мережею.

Інформаційні процеси у кінцевих системах можна розділити на дві групи. До першої з них відносяться **прикладні процеси** – процеси вводу, зберігання, обробки та видавання різних видів інформації для потреб користувачів. Прикладні процеси займають основне місце у мережі. Всі інші процеси є допоміжними та призначені для обслуговування прикладних процесів. Вони складають групу так названих **процесів взаємодії**, оскільки забезпечують взаємодію прикладних процесів. Прикладні процеси підтримуються прикладними програмами, а процеси взаємодії – операційними системами.

Таким чином, інформаційні мережі на відміну від телекомунікаційних мають ще цілий ряд можливостей, які пов'язані з накопиченням, зберіганням, переробкою всіх видів інформації та забезпечують механізми ефективного пошуку в будь-якому місці і в будь-який час.

Споживач інформації, який отримав доступ до інформаційної мережі, стає її **користувачем** (User). В якості споживачів можуть виступати як фізичні особи, так і юридичні (фірми, організації, підприємства).

У загальному випадку під **інформаційною мережею** будемо розуміти *сукупність територіально роззосереджених кінцевих систем, яка об'єднує їх телекомунікаційні мережі, забезпечує доступ прикладних процесів будь-якої із цих систем до всіх ресурсів мережі та їх сумісне використання.*

Прикладний процес (Application Process) – це *процес у кінцевій системі мережі, який виконує обробку інформації для конкретної послуги зв'язку або прикладення.* Так, користувач, організуючи запит на надання тієї або іншої послуги, активізує у своїй кінцевій системі деякий *прикладний процес.*

Кінцеві системи інформаційної мережі можуть бути класифіковані як:

- **термінальні системи** (Terminal System), які *забезпечують доступ до мережі та її ресурсів;*
- **робочі системи** (Server, Host System), які *надають мережний сервіс (керування доступом до файлів, програм, мережних пристроїв, обслуговування викликів і т.п.);*

- **адміністративні системи** (Management System), які *реалізують керування мережею та окремими її частинами.*

Ресурси інформаційної мережі поділяються на *інформаційні, ресурси обробки та зберігання даних, програмні, комунікаційні ресурси.*

Інформаційні ресурси представляють собою інформацію та знання, які накопичуються у всіх галузях науки, культури та життєдіяльності суспільства, а також продукцію індустрії розваг. Все це систематизується у мережних банках даних, з якими взаємодіють користувачі мережі. Ці ресурси визначають цінність споживачів інформаційної мережі і повинні не тільки постійно створюватися і розширятися, але й своєчасно відновлюватися. Застарілі дані повинні знаходитися в архівах. Користування мережею забезпечує можливість отримувати актуальну інформацію тоді, коли виникає необхідність в ній.

Ресурси обробки і зберігання даних – це продуктивність процесорів мережних комп'ютерів та об'єми пам'яті їх запам'ятовуючих пристроїв, а також час, на протязі якого вони використовуються.

Програмні ресурси являють собою програмне забезпечення, яке бере участь у наданні послуг та прикладень користувачам, а також програми провідних функцій. До останніх відносяться: виписування рахунків, облік оплати послуг, навігація (забезпечення пошуку інформації в мережі), обслуговування мережних електронних поштових скриньок, організація мосту для телеконференцій, перетворення форматів інформаційних повідомлень, що передаються, криптозахист інформації (кодування і шифрування), аутентифікація (електронний підпис документів, який підтверджує їх справжність).

Комунікаційні ресурси – це ресурси, які беруть участь у транспортуванні інформації та перерозподілу потоків в комунікаційних вузлах. До них відносяться ємності ліній зв'язку, комутаційні можливості вузлів, а також час їх зайняття при взаємодії користувача з мережею. Вони класифікуються у відповідності з типом телекомунікаційних мереж: ресурси комутуємої телефонної мережі загального користування (КТМЗК), ресурси мережі передавання даних з комутацією пакетів, ресурси мережі мобільного зв'язку, ресурси наземної сповіщальної мережі, ресурси цифрової мережі інтегрального обслуговування (ЦМІО) і т.п.

Всі перераховані ресурси інформаційної мережі є *розподіленими*, тобто можуть використовуватися одночасно декількома прикладними процесами. Розподіленість при цьому може бути як фактичною, так і імітуємою.

Кінцева мета розвитку інформаційних мереж – створення Глобальної Інформаційної Інфраструктури.

Глобальна Інформаційна Інфраструктура ГІІ (Global Information Infrastructure) *надає користувачам набір комутаційних послуг, які забезпечують відкриту множину прикладень, що охоплюють всі види інформації та дають можливість її отримання в будь-якому місці, в будь-який час, по доступній вартості та з непоганою якістю.*

Створенню ГП сприяють конвергенція (зближення) технологій, які використовуються в області телекомунікацій, комп'ютерів та електроніці споживачів, а також нові можливості для бізнесу.

На Конференції Правління країн „Великої сімки” (G7), що проводилася Комісією з Європейського Економічного Співтовариства (ЄЕС) у лютому 1995 року, були прийняті основні принципи, на яких повинен базуватися розвиток ГП, до складу яких входять:

- забезпечення відкритого доступу до мереж;
- гарантія загального забезпечення доступу до послуг з різних місць та під час руху. При цьому визначення і локалізація джерела надходження запитів повинні забезпечуватися мережею;
- *номадизма* – можливості переміщення з одного місця в інше, зберігаючи при цьому доступ до послуг не залежно від доступності або недоступності цих послуг у місцевому середовищі, тобто неперервність доступу у просторі та часі;
- забезпечення рівних можливостей для користувачів, враховуючи культурну та мовну різноманітність;
- неохідність міжнародного співробітництва з особливою увагою до найменш розвинутих країн;
- вплив відкритої конкуренції та заохочення приватних інвестицій.

Ці принципи будуть реалізуватися шляхом:

- розвитку глобальних ринків для мереж, послуг та прикладень;
- гарантії конфіденційності та захисту даних;
- захисту прав інтелектуальної власності;
- співробітництва у науково-дослідній діяльності та в розробці нових прикладень.

Глобальні розробки з ГП здійснюються окремими консорціумами та індустріальними форумами.

1.2 Поняття архітектури мережі

Уява про те, як функціонує мережа, як вона побудована, може бути сформована із різних позицій.

Для взаємодії з мережею на рівні користувача, достатньо знати склад *служб мережі*, які забезпечують надання будь-яких комунікаційних послуг (рис.1.1). Іншими словами, для того, щоб мати представлення, яку роботу можна виконувати в мережі і як її виконувати, зовсім не потрібно знати побудову мережі та принципи її роботи. В цьому випадку говорять, що мережа повинна бути *прозорою* для користувача. Прозора, як лінзи бінокля, за допомогою якого можна спостерігати за частиною віддаленого життя або природи. Тому будь-яка мережа створюється таким чином, щоб всі її комунікаційні та програмні засоби були лише „лінзами”, які створюють користувачу відчуття, що всі необхідні йому ресурси інформаційної мережі знаходяться в його терміналі.



Рис.1.1. Взаємодія користувача з мережею

Провайдер, організуючи свою діяльність з надання послуг користувачам, повинен представляти для себе логіку роботи мережі як мінімум на рівні її *функціональної структури* та складу ресурсів. Знання правил організації взаємодії різних елементів мережі, які утворюють платформи надання послуг, забезпечує йому гнучкість взаємодії з мережними ресурсами.

Організація експлуатації мережі, інсталяція мережного обладнання відносяться до функцій оператора мережі. Для розумного виконання своїх функцій оператору мережі необхідно ясно уявляти собі її *фізичну структуру*, визначений склад обладнання, принцип його роботи та сумісної експлуатації, характеристики режимів роботи мережі, при яких забезпечується необхідна якість обслуговування користувачів.

Для того, щоб управляти господарською діяльністю мережі, планувати її розвиток, адміністрація мережі аналізує *організаційну структуру мережі, структури мережних служб, управління, обслуговування та ремонт* і т.д.

Врешті-решт розробник мережі, якому необхідно побудувати мережу, повинен уявляти мережу у всіх перерахованих аспектах. Іншими словами, йому необхідно знати *архітектуру* мережі.

Архітектурою називається системний опис мережі, який відображає всю різноманітність її елементів, зв'язків між ними та правил взаємодії.

Під системним описом розуміють багаторівневий опис об'єкту у вигляді моделей, кожна з яких відображає об'єкт у визначеному аспекті його розгляду (рівня абстрагування).

Модель – це таке відображення об'єкту, яке дозволяє досліджувати його основні елементи, не звертаючи уваги на несуттєві, з точки зору поставленої мети, деталі. Рівні абстрагування звичайно розміщуються в ієрархічній послідовності (по старшинству).

Модельний опис мережі як складної системи (опис її *архітектури*) можна здійснити лише єдиним шляхом – розчленуванням її на множину структур,

кожна з яких відображає взаємозв'язок визначеної групи елементів, які виділені на деякому рівні розгляду мережі. Цей процес має творчий характер і часто порівнюється з давнім мистецтвом проектувати та будувати – зодчеством.

Таким чином, архітектура є обширним поняттям, яке відображає взаємозв'язок різних структур мережі: конфігурації ліній, що з'єднують її пункти (топології); організаційної структури, яка відображає побудову мережі; функціональної структури, яка пояснює логіку роботи схеми; програмної структури, що характеризує склад занадто складного та багатоцільового програмного забезпечення мережі; протокольної моделі мережі, що описує правила встановлення зв'язку та забезпечення інформаційного обміну; фізичної структури, яка дозволяє оцінити фізичні ресурси мережі, види використовуваного обладнання.

Таке багатобічне дослідження мережі необхідно проводити з позицій *системного підходу*, який оснований на методологічних принципах *системології* (науки, яка вивчає великі (складні) системи).

Мережа зв'язку має всі ознаки складних систем та підпорядковується властивим їм закономірностям. Перерахуємо деякі з них.

Ієрархічність – розміщення частин та елементів цілого від найвищого до найнижчого. Виходячи з цієї закономірності, ми можемо розчленовувати мережу на окремі підмережі (сегменти) нижчого порядку.

Комунікативність – закономірність, яка вказує на множини зв'язків (комунікацій) системи: зовнішніх – із середовищем та внутрішніх – з підсистемами та елементами. Це означає, що будь-яку мережу зв'язку можна розглядати як підмережу (підсистему) або елемент системи більш високого рівня (наприклад, як елемент Глобальної Інформаційної Інфраструктури) і в той же час вона може розглядатися як самостійна система, яка включає підсистеми (сегменти) більш низького рівня.

Емергентність – закономірність, яка полягає у виявленні системою інтегрованої якості – цілісності, що не властива окремим її елементам. Так, наприклад, у мережі зв'язку ми можемо виділити такі функціонально важливі та відносно незалежні підсистеми, як транспортна система, система розподілу інформації, система управління мережею. Жодну з перерахованих систем не можна ототожнювати з мережею зв'язку в цілому, і лише їх взаємозв'язок відображає це поняття. З іншого боку, розглядаючи та вивчаючи структури окремих підсистем, ми поглиблюємо своє уявлення про систему у будь-яких аспектах.

Поняття архітектури характеризує цілісне уявлення про побудову мережі і, як наслідок, відображає її емергентність.

Відповідно до вказаних вище закономірностей, можна будь-яку із підсистем складної системи розглядати як самостійну систему із властивою їй архітектурою, що відображає її емергентну властивість. Так, в залежності від рівня розглядання в ієрархічному представленні систем, ми можемо говорити про архітектуру мережі в цілому, архітектуру термінального

комплексу, архітектуру комутаційної системи, обчислювальної машини і навіть окремої інтегральної схеми.

Необхідно відмітити, що представлення про архітектуру мережі багато визначається професійною орієнтацією дослідника. Наприклад, оператор мережі, виконуючи аналіз архітектури мережі, пред усім бачить і розуміє, як уже зазначалося, її фізичну структуру. Проектувальник, аналізуючи архітектуру мережі, починає з дослідження таких її структур, як топологія, функціональна структура. Тому часто поняття „архітектура” застосовується в більш вузькому змісті, маючи на увазі, наприклад, топологію мережі, протокольну модель, програмне забезпечення та іншу модель нижчого рівня.

Для опису архітектури мережі можуть бути використані різні методи модельного представлення. Так, наприклад, для відображення топології мережі, взаємозв'язку підсистем та елементів використовуються *графові моделі*, для відображення роботи програмного забезпечення мережі – *алгоритмічні моделі*. Правила взаємодії елементів різних рівнів уявлення та деталізації мережі звичайно представляються так названими *протокольними моделями* багаторівневого опису мережі.

Нижче розглядаються деякі узагальнені моделі, які дозволяють визначити загальні архітектурні принципи побудови інформаційних мереж.

1.3 Загальне поняття про задачі синтезу та аналізу мереж зв'язку

Всі задачі, які виникають при побудові та експлуатації телекомунікаційних мереж можна розділити на два класи: задачі синтезу та задачі аналізу.

„Синтез” у перекладі з грецького означає „з'єднання, складання”.

Задача синтезу мережі виникає як при побудові нової мережі, так і при реконструкції та розвитку існуючих мереж. Ця задача має техніко-економічний характер, так як найчастіше всього відшукується рішення, оптимальне по ряду економічних показників, наприклад, за мінімумом капіталовкладень.

При синтезу мережі звичайно вважається заданим розміщення пунктів мережі. Конфігурація (топологія) ліній зв'язку може змінюватися під час оптимізації економічних показників. Це дозволяє використовувати витрати на лінії зв'язку в якості критерію мети оптимального синтезу мережі. На конфігурацію ліній можуть накладатися обмеження у вигляді виключення окремих географічних трас при організації зв'язку між пунктами, наприклад, якщо вони перетинають водні або гірські перешкоди.

До *окремих задач синтезу* можна віднести задачі вибору оптимальної топології мережі, вибір оптимальної кількості та місця розміщення вузлів комутації і т.д.

Задачі аналізу актуальні для існуючої (синтезованої мережі). До них відносяться задачі знаходження оптимальних шляхів передавання інформаційних повідомлень, визначення сукупності шляхів заданої

транзитності, оцінювання пропускної спроможності мережі, ймовірності встановлення з'єднання між пунктами і т.п.

В класі задач аналізу розглядаються також питання розрахунку характеристик та параметрів як мережі в цілому, так і окремих її елементів. До таких характеристик відносять якість обслуговування на мережі, параметри надійності та життєвості.

Для того, щоб вирішити визначену задачу синтезу або аналізу телекомунікаційної мережі, її необхідно **формалізувати**, тобто записати у вигляді схеми: що задано, що необхідно визначити та за яких обмежень.

Формалізацію можна виконати у словесному вигляді (така форма називається вербальною моделлю задачі) або у вигляді математичної моделі, яка описує задачу в термінах тієї чи іншої теорії (наприклад, теорії графів, теорії оптимальних рішень і т.п.).

Здійснення формалізації вимагає не лише розуміння даної проблеми, але й вибору відповідної моделі самого об'єкту (мережі зв'язку). Модельне (спрощене) представлення об'єкту синтезу або аналізу дозволяє виявити та відобразити найбільш суттєві, з точки зору даної проблеми, елементи об'єкту та зв'язку між ними, не зосереджуючись на деталях.

Для модельного представлення мереж зв'язку найбільш часто використовуються моделі графів. На основі моделі об'єкту та її параметрів (кількості пунктів та ліній мережі, відстані між пунктами, пропускної спроможності вузлів та ліній мережі, параметрів вартості і т.д.) можна побудувати математичну модель, яка відображає залежність між параметрами визначення та незалежними змінними задачі у вигляді математичних функцій.

В задачах синтезу та аналізу мереж зв'язку найчастіше використовуються **математичні моделі оптимізації**, де мета розв'язку задачі записується у вигляді так називаємої **цільової функції**, для якої необхідно знайти **екстремум** (мінімум або максимум). На параметри, що до неї входять, можуть накладатися обмеження, які вказують, в яких межах можуть змінюватися значення параметрів, які необхідно знайти.

В и з н а ч е н н я. Задачі, в яких відшукується екстремум (мінімум або максимум) деякої цільової функції, яка відображає критерій оптимальності розв'язку задачі, називаються екстремальними.

Характерною особливістю екстремальних задач синтезу та аналізу телекомунікаційних мереж є їх великі розміри. Формування цих задач у термінах графових та мережних моделей дозволила отримати ряд ефективних, з точки зору подолання обчислювальної складності, методів та алгоритмів їх рішення, які орієнтовані на застосування ЕОМ. Ряд таких алгоритмів розглядається нижче.

Під **алгоритмом** розуміють процедуру, яка забезпечує отримання оптимального розв'язку задачі, виконання якої можна доручити ЕОМ. Розрізняють алгоритми **точні** та **наближені**, так називаємі **евристичні**.

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

Але точні алгоритми, як правило, досить трудомісткі з обчислювальної точки зору. Тому на практиці часто використовують більш прості алгоритми, які забезпечують швидке отримання розв'язку з прийнятною для практики точністю. Такі алгоритми будуються з використанням раціональних, з точки зору логіки людини, правил виконання обчислень. Ці правила називаються **евристиками** і, як показує практика, дозволяють отримати рішення, наближене до оптимального. Наприклад, задача визначення замкнутого контуру найменшої довжини, який забезпечує обхід всіх пунктів мережі, може бути вирішена шляхом повного перебору всіх можливих контурів з вибором серед них контура найменшої довжини, тобто точним алгоритмом. Відомо, що для мережі, яка містить n пунктів, кількість можливих контурів складає порядку $n!$, отримання яких для мережі розміром $n > 30$ представляє значні складності. Але використання евристики: „на кожному кроці рухаємося лише до найближчого пункту” забезпечує отримання допустимого рішення за час, який необхідний для побудови одного контура.

Евристичні алгоритми використовуються також у випадках, коли побудувати точний алгоритм не вдається, зважаючи на складність математичної моделі задачі (її нелінійності, дискретності і т. д.).

1.4 Модельне представлення мережі зв'язку як об'єкту синтезу та аналізу

Мережа зв'язку (телекомунікаційна мережа) як об'єкт синтезу та аналізу представляє собою сукупність пунктів мережі та ліній, які їх з'єднують. В якості математичної моделі такого об'єкту використовують *граф*.

В и з н а ч е н н я. *Графом* називається деяка сукупність точок та стрілок, які їх зв'язують.

Точки графа називаються **вершинами**, а *стрілки* – **дугами**. Граф математично позначається як $G(N, V)$, де N - кінцева множина вершин потужністю n , а V - кінцева множина дуг потужністю m .

Вершини можна позначити рядковими літерами (i, j, k, l, s) або 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.1.2).

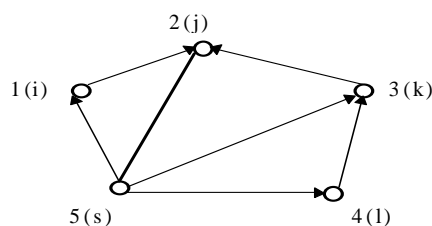


Рис. 1.2. Граф $G(5,7)$

Граф, в якому задається напрямок дуг, називається **орієнтованим**, в протилежному випадку – **неорієнтованим**. Неорієнтовані дуги називаються **ребрами**.

Між двома вершинами, які з'єднані дугою (ребром), існує відношення **суміжності** (для орієнтованого графу вершини i та j суміжні, якщо дуга починається в i та направлена до j).

Між вершиною та дугами (ребрами), які з нею з'єднані, існує відношення **інцидентності**.

Граф, кожній дузі (ребру) якого поставлені у відповідність деякі кількісні характеристики, які називаються **вагами**, являє собою **зважений** граф. При необхідності ваги можуть ставитись у відповідність також вершинам графу.

Зважений граф прийнято називати **мережею** (в даному випадку – це мережна модель, а не сама мережа як об'єкт). В якості вагових характеристик мережі можуть використовуватися відстань, пропускна спроможність, вартість і т.д.

Крім геометричних зображень у вигляді точок та ліній, граф може бути представлений в дискретному вигляді. Саме ця форма використовується при введенні графової моделі до ЕОМ.

Одним із найбільш розповсюджених дискретних представлень графу є **матриця суміжностей**. Ця матриця $A=[a_{ij}]$, розміром $(n \times n)$ елементів, які можуть приймати значення:

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

$a_{ij}=0$, в протилежному випадку.

Матриця суміжностей графа, який приведено на рис.1.2, має вигляд

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

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

У неорієнтованого графа матриця суміжності симетрична відносно головної діагоналі і, виходячи з цього, в пам'яті ЕОМ може зберігатися лише один її трикутник, що дозволить економити пам'ять, але ускладнює її обробку на ЕОМ.

Якщо перенумерувати у довільній послідовності дуги (ребра) графа G та поставити ці номери у відповідності номерам рядків деякої матриці $B=[b_{ij}]$, а номери стовпців залишити попередніми відповідно до номерів вершин графа, то в такій матриці можна відобразити відношення **інцидентності** елементів графа G . Елементи матриці B_{ij} можуть набувати значень $\{0,1\}$.

Перенумеруємо дуги для даного графу: $(i,j) - 1$; $(j,k) - 2$; $(k,l) - 3$; $(l,s) - 4$; $(s,i) - 5$; $(s,j) - 6$; $(s,k) - 7$.

Тоді матриця інцидентності буде мати вигляд

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

Зважений граф (мережа) може бути у дискретному вигляді представлений **матрицею вагів** $W=[w_{ij}]$, де w_{ij} -вага дуги (ребра), якщо вона існує у графі G . Ваги не існуючих дуг (ребер) припускають рівними ∞ або 0 в залежності від умов задачі, в якій вони розглядаються.

Якщо граф є розрідженим (має малу кількість дуг (ребер)), можливе більш компактне представлення графу G – списком дуг (ребер). Цей список може бути реалізований двома одномірними масивами розмірністю m , у першому з яких записані початкові вершини дуг (ребер), а в другому – кінцеві, або двомірним масивом, розмірністю $(2, m)$. Наприклад,

$$R_1 = (1, 3, 4, 5, 5, 2, 5),$$

$$R_2 = (2, 2, 3, 4, 1, 5, 3),$$

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

При організації представлення графа у вигляді дискретного масива з плаваючими межами, тобто у випадку, коли необхідно передбачити можливість додавання або вилучення вершин графа, доцільно використовувати **структуру суміжностей**. Остання являє собою список суміжних вершин для кожної вершини графа. Структура суміжностей для графа, який зображено на рис.1.2, має вигляд

$$\begin{array}{ll} 1 : 2 & 4 : 3 \\ 2 : 5 & 5 : 1, 2, 3, 4 \\ 3 : 2 & \end{array}$$

1.5 Синтез мережі мінімальної вартості

Ситуація, в якій деяку множину точок необхідно з'єднати так, щоб кожна пара точок була зв'язаною (безпосередньо або через інші точки), а загальна вагова характеристика зв'язків стала мінімальною, породжує задачу **синтезу мережі мінімальної вартості**.

Наприклад, є ряд точок, в яких можуть бути розміщені пункти телекомунікаційної мережі. Відомі відстані між парами точок та вартість організації одного кілометра лінії зв'язку. Необхідно визначити сукупність ліній зв'язку, які забезпечують зв'язність усіх пунктів мережі та її мінімальну вартість.

Із теорії графів та мереж відомо, що розв'язком поставленої задачі є мережа з топологією типу „*дерево*”.

Визначення. Зв'язний граф (зв'язана мережа) називається **деревом**, якщо в ньому 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 єдиний шлях, який їх зв'язує, тобто параметр зв'язності $h=1$. Кількість ребер в дереві завжди на одиницю менше, ніж кількість його вершин.

Визначення. *Дерево*, в яке включені всі вершини, називається **деревом покриття**.

Математично задача синтезу мережі мінімальної вартості формулюється наступним чином.

Нехай задано неорієнтований граф $G(N,V)$, де множина вершин N відповідає множині пунктів мережі, загальна кількість яких дорівнює n , а множина ребер V – відстаням $\{l_{ij}\}$ між парами пунктів. Відома вартість C_{ij} організації 1 кілометра лінії зв'язку між пунктами i та j .

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

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

Для розв'язку цієї задачі існує ряд ефективних алгоритмів. Приведемо один з них, який відомий як **алгоритм Прима** та має ім'я автора. Алгоритм реалізується шляхом присвоєння приміток вершинам, які вводяться до графа $G'(N,V')$, та послідовного введення до нього найбільш коротких ребер, загальна кількість яких не повинна перевищувати $(n-1)$ та забезпечувати зв'язність між всіма n вершинами дерева покриття.

Крокова форма алгоритму має наступний вигляд:

Крок 0. Мережу $G'(N,V')$, яку необхідно знайти, у вихідному стані містить n вершин та не містить ребер. Вибирається одна довільна вершина i та помічається як „*вибрана*”. Інші $(n-1)$ вершин помічаються як „*невибрані*”.

Крок 1. Відшукується ребро (i,j) , яке належить $G(N,V)$ з мінімальною вагою, у якого вершина i належить множині „*вибраних*” вершин, а вершина j належить до підмножини „*невибраних*” вершин.

Крок 2. Ребро (i,j) включається до мережі $G'(N,V')$, а вершина j виключається із підмножини „*невибраних*” вершин та включається в підмножину „*вибраних*” вершин. Якщо підмножина „*невибраних*” вершин є пустою – кінець роботи алгоритму. В протилежному випадку – перехід до кроку 1.

Проілюструємо роботу алгоритму Прима на прикладі. Нехай задано сім пунктів мережі, відстані між якими зведені до матриці L , а саме (див. Рис.1.3):

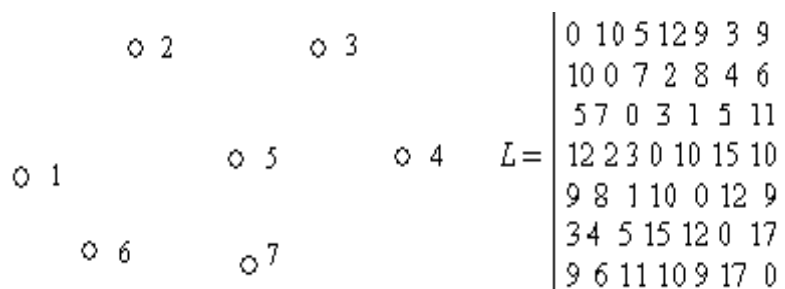


Рис.1.3 Топологія мережі та матриця відстаней

На основі цієї матриці побудуємо початковий граф (рис.1.3)

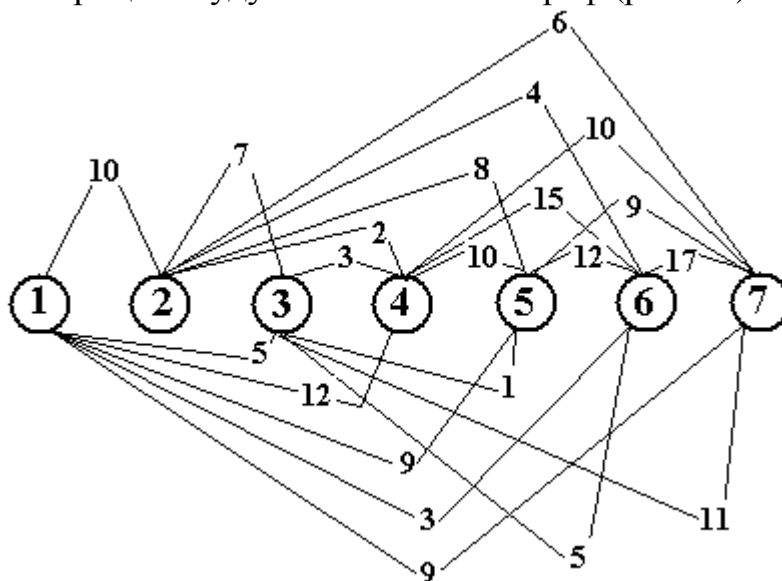


Рис.1.4. Початковий граф, побудований на основі матриці(рис.1.3)

На кроці 0 граф, який необхідно знайти, $G'(N, V')$ містить 6 вершин та не містить ребер. Треба вибрати якусь початкову вершину. Наприклад, виберемо вершину 2 та відмітимо її як „вибрану” (рис.1.5, б).

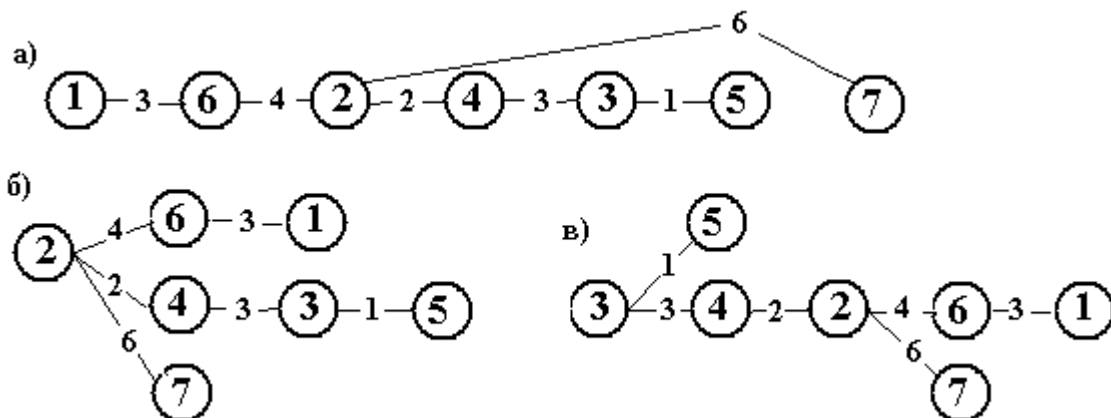


Рис.1.5. Варіанти знаходження оптимального графу

На кроці 1 вибираємо ребро (l_{24}) , як ребро з найменшою вагою, в якого вершина $i=2$ належить підмножині „вибраних” вершин, а вершина $j=4$ –

підмножині „невибраних” вершин (зараз це всі інші вершини). На кроці 2 ребро l_{24} вводиться до графу, який необхідно знайти, G' , а вершина 4 включається до підмножини „вибраних” вершин.

На кроці 1 дивлячись з „вибраних” вершин 2,4 вибираємо ребро (l_{43}), як ребро з найменшою вагою, в якого вершина $i=4$ належить підмножині „вибраних” вершин, а вершина $j=3$ – підмножині „невибраних” вершин (зараз це всі інші вершини). На кроці 2 ребро l_{43} вводиться до графу, який необхідно знайти, G' , а вершина 3 включається до підмножини „вибраних” вершин.

На кроці 1 дивлячись з „вибраних” вершин 2,4,3 вибираємо ребро (l_{35}), як ребро з найменшою вагою, в якого вершина $i=3$ належить підмножині „вибраних” вершин, а вершина $j=5$ – підмножині „невибраних” вершин (зараз це всі інші вершини). На кроці 2 ребро l_{35} вводиться до графу, який необхідно знайти, G' , а вершина 5 включається до підмножини „вибраних” вершин.

Так як підмножина „невибраних” вершин не пуста, повторюємо крок 1. Для цього відшукуємо ребро мінімальної ваги, перебираючи сполучення кожної пари „вибраної” та „невибраної” вершин. Таким є ребро l_{26} . Воно вводиться до графа G' , а вершина 6 стає „вибраною”.

Тепер дивлячись з „вибраних” вершин 2,4,3,5 і 6 вибираємо ребро (l_{61}), як ребро з найменшою вагою, в якого вершина $i=6$ належить підмножині „вибраних” вершин, а вершина $j=1$ – підмножині „невибраних” вершин. На кроці 2 ребро l_{61} вводиться до графу, який необхідно знайти, G' , а вершина 1 включається до підмножини „вибраних” вершин.

Тепер дивлячись з „вибраних” вершин 2,4,3,5,6 і 1 вибираємо ребро (l_{27}), як ребро з найменшою вагою, в якого вершина $i=2$ належить підмножині „вибраних” вершин, а вершина $j=7$ – підмножині „невибраних” вершин. На кроці 2 ребро l_{27} вводиться до графу, який необхідно знайти, G' , а вершина 7 включається до підмножини „вибраних” вершин.

На цьому робота алгоритму закінчується, так як всі вершини є відміченими як „вибрані” (тобто підмножина „невибраних” вершин – є пустою підмножиною).

Отриманий граф, який необхідно знайти $G'(N,V')$, який являє собою дерево покриття, так як він включає всі вершини, містить кількість ребер на одиницю менше, ніж кількість вершин ($n=7$, $v=6$) та забезпечує зв'язність кожної пари вершин.

Якщо вибрати будь-яку іншу початкову вершину початкового графа (рис.1.3), то знову будемо мати те ж саме дерево покриття – граф $G'(N,V')$. Це ілюструється на рис.1.5,а,б,в. Знайдений граф $G'(N,V')$ та матриця ваг синтезованої мережі показані на рис.1.5.

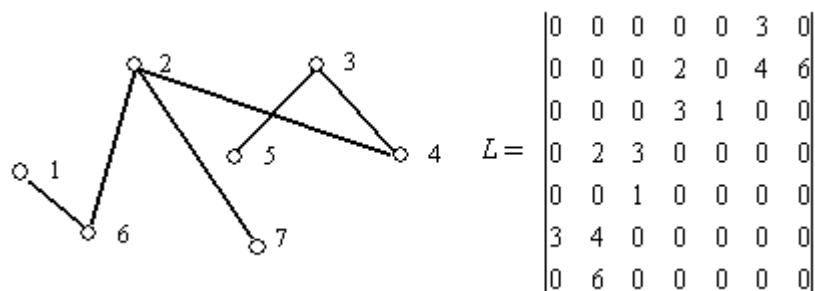


Рис.1.6 . Знайдений граф $G'(N, V')$ та матриця ваг синтезованої мережі

1.6 Визначення оптимального місцяположення опорного вузла в кабельній мережі абонентського доступу

Розглянемо наступну задачу. Нехай граф $G(N, V)$ являє собою деяку кабельну мережу, яка з'єднує n абонентських пунктів. Вага кожного ребра (i, j) , яка належить V , відповідає довжині l_{ij} або вартості кабелю, який з'єднує пункти i та j . Необхідно визначити деяку вершину m , яка належить N , в якій доцільно розмістити вузол комутації (наприклад, районну АТС) з точки зору мінімізації загальної довжини кабелю, який з'єднує абонентські пункти з ВК.

Розв'язком поставленої задачі є визначення медіани графа $G(N, V)$.

Визначення. Вершина m , яка належить N , є **медіаною** графа $G(N, V)$, якщо вона задовольняє умові:

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

Величина $R_m = \sum_{j=1}^n l_{mj}$ називається **медіанною довжиною** графа G та являє собою найменшу сумарну довжину ребер, які з'єднують вершину m з іншими вершинами графа.

Алгоритм визначення медіани графа G включає наступні кроки.

Крок 1. У вихідній матриці вагів, яка відповідає довжинам ребер, знайти суму елементів для кожного рядка:

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

Крок 2. Серед множини значень $\{R_i\}$ відшукати мінімальне значення R_m . Вершина m і є медіаною графа G .

Нехай задано сім пунктів мережі, відстані між якими зведені до матриці L , а саме (див. рис. 1.3). Дана мережа має топологію “дерево” (поміж будь-якою парою вершин існує лише один єдиний шлях, який їх сполучає).

Початковий граф, побудований на основі матриці відстаней (або ваг) поміж пунктами мережі, має вигляд (рис.1.4):

Знайдемо суму відстаней R_i кожного i -го абонентського пункту(АП) до інших АП. Результати занесемо до таблиці 1.1.

$$R_1 = l_{12} + l_{13} + l_{14} + l_{15} + l_{16} + l_{17} = 10 + 5 + 12 + 9 + 3 + 9 = 48;$$

$$R_2 = l_{21} + l_{23} + l_{24} + l_{25} + l_{26} + l_{27} = 10 + 7 + 2 + 8 + 4 + 6 = 37;$$

$$R_3 = l_{31} + l_{32} + l_{34} + l_{35} + l_{36} + l_{37} = 5 + 7 + 3 + 1 + 5 + 11 = 32;$$

$$R_4 = l_{41} + l_{42} + l_{43} + l_{45} + l_{46} + l_{47} = 12 + 2 + 3 + 10 + 15 + 10 = 52;$$

$$R_5 = l_{51} + l_{52} + l_{53} + l_{54} + l_{56} + l_{57} = 9 + 8 + 1 + 10 + 12 + 9 = 49;$$

$$R_6 = l_{61} + l_{62} + l_{63} + l_{64} + l_{65} + l_{67} = 3 + 4 + 5 + 15 + 12 + 17 = 56;$$

$$R_7 = l_{71} + l_{72} + l_{73} + l_{74} + l_{75} + l_{76} = 9 + 6 + 11 + 10 + 9 + 17 = 62.$$

Таблиця 1.1- Результати розрахунку відстаней між абонентськими пунктами

i -ий АП	1	2	3	4	5	6	7
R_i	48	37	32	52	49	56	62
	1	2	3	4	5	6	7
	АП	АП	АТС	АП	АП	АП	АП

Серед множини значень $\{R_{ij}\}$ знаходимо мінімальне значення $R_{i \min}$. У даному випадку: $R_{i \min} = R_3 = 32$.

На основі розрахунків можна зробити **висновок**, що вершина 3 є медіаною графу. В третій вершині доцільно розмістити районну АТС.

1.7 Визначення оптимального місця розташування базової станції в мережі стаціонарного радіодоступу

Припустимо, що задано місцезоміщення пунктів абонентської мережі, в якій реалізується стаціонарний радіодоступ до опорного вузла базової мережі. Необхідно серед пунктів абонентської мережі визначити місцезоміщення базової станції (БС), яка по радіоканалам зв'язується з абонентськими пунктами (АП). Бажано, щоб відстань від БС до будь-якого АП була мінімальною, що забезпечить стійкий радіозв'язок при меншій потужності передавача БС. Відомо, що такому критерію задовольнити неможливо, тому необхідно мінімізувати відстань до самого віддаленого пункту. При цьому доцільно, щоб БС по можливості займала центральне положення по відношенню до всіх ОП.

Задача знаходження такого пункту може бути зведена до задачі знаходження **центру** графа.

В и з н а ч е н н я. Нехай $G(N, V)$ є граф, де N – множина вершин, а V – множина відстаней між всіма вершинами.

Вершина s називається **центром** графа $G(N, V)$, якщо вона задовольняє умові:

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

Алгоритм знаходження центру графа (вершини s) впливає із самого визначення:

Крок 1. В кожному рядку вихідної матриці вагів – елемент, який необхідно знайти, з максимальним значенням.

Крок 2. Серед множини максимальних значень елементів рядків знаходимо найменше. Вершина s є центром графа.

Таким чином, мінімізуючи відстань від точки s до самої віддаленої вершини, ми забезпечили до всіх інших вершин гарантовано найменшу відстань.

Приклад. Нехай задано сім пунктів мережі, відстані між якими зведені до матриці, а саме (див.рис.1.3).

Телекомунікаційна мережа містить 7 пунктів й 21 лінію, що забезпечують зв'язок поміж пунктами в обох напрямках.

Дана мережа має топологію “дерево” (поміж будь-якою парою вершин існує лише один єдиний шлях, який їх сполучає).

Початковий граф, побудований на основі матриці відстаней (або ваг) поміж пунктами мережі, має вигляд (рис.1.4).

Для кожного абонентського пункту (АП) відшукуємо найбільшу відстань з усіх можливих відстаней даного АП до інших АП. Результати заносимо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунку відстаней між АП

i -ий АП	1	2	3	4	5	6	7
L_{max}	$l_{14} =$ $=12$	$L_{21} =$ $=10$	$L_{37} =$ $=11$	$L_{46} =$ $=15$	$L_{56} =$ $=12$	$L_{67} =$ $=17$	$L_{76} =$ $=11$
	АП	БС	АП	АП	АП	АП	АП

Серед максимальних значень елементів найменше значення $l_{21}=10$ знаходиться у вершині $S=2$.

Висновок: Базова станція (БС) розміщується в пункті 2. Відстань БС до всіх АП буде мінімальною.

1.8. Визначення циклу найменшої довжини при організації транспортного кільця

Ця задача відома як „Задача про комівояжера”. Нехай задано граф $G(N, V)$, вершини якого відповідають містам в зоні обслуговування комівояжера, а дуги відображають зв'язки між парами міст. Маршрутом комівояжера називається контур, який включає кожен вершину графа G .

В и з н а ч е н н я. *Контур, який включає кожен вершину графа $G(N, V)$ тільки один раз, називається гамільтоновим контуром (або гамільтоновим циклом).*

Назва „гамільтоновий цикл” відповідає імені ірландського математика Вільяма Гамільтона, який у 1859 році вперше почав вивчення цих задач.

Задачею комівояжера називається задача пошуку маршруту комівояжера найменшої довжини. Оптимальним розв'язком цієї задачі є гамільтоновий цикл найменшої довжини. Задача може бути розв'язана наступним точним методом.

Перенумеруємо n міст цілими числами від 1 до n . Базовому місту поставимо у відповідність номер n . Відмітимо, що тур комівояжера

однозначно відповідає перестановці цілих чисел $1, 2, \dots, (n - 1)$. Базове місто під номером n при цьому постійно займає останню позицію і в процесах перестановки не бере участі. Кожній перестановці можна поставити у відповідність деяке число, яке визначає довжину маршруту комівояжера як суму довжин ребер циклу, що з'єднує всі n вершин графа.

Утворивши всі перестановки з $(n - 1)$ чисел та отримавши довжини маршрутів, кількість яких визначається як $(n - 1)!$, неважко відшукати маршрут найменшої довжини.

Наближений *евристичний* алгоритм може бути отриманий з використанням евристик, наприклад, „на кожному кроці в цикл включається найближче місто”.

Визначення гамільтонового циклу найменшої довжини актуальне при визначенні оптимальної кільцевої топології сегментів телекомунікаційних мереж.

Приклад. Нехай задано сім пунктів мережі, відстані між якими зведені до матриці, що зображена на рис.1.3.

Початковий граф, побудований на основі матриці відстаней поміж пунктами мережі, має вигляд рис.1.4.

Базовому місту поставимо у відповідність номер $n=7$. Знайдемо „гамільтоновий цикл”, використовую евристику „на кожному кроці в цикл включається найближче місто” (див. Рис.1.4). Маємо маршрут (див. рис.1.7):

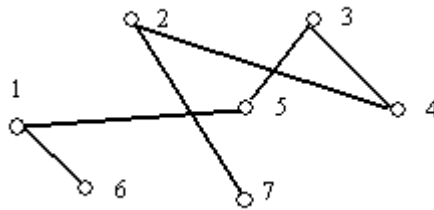


Рис.1.7. Маршрут комівояжера

Довжина цього маршруту: $6+2+3+1+9+3=24$.

При розв'язанні задачі точним методом треба було б зробити $(n - 1)! = 6! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 = 720$ перестановок, та отримавши довжини маршрутів, відшукати маршрут найменшої довжини.

1.9 Знаходження найкоротшого шляху у зв'язній мережі

Задача про знаходження найкоротшого за довжиною шляху у зв'язній мережі відноситься до фундаментальних задач комбінаторної оптимізації. До

неї можна звести коло практичних задач, які виникають в різних областях народного господарства, а в першу чергу в зв'язку.

В и з н а ч е н н я. *Шляхом* називається послідовність вершин $\mu_{ir}=(i, j, \dots, r)$ або послідовність дуг (ребер) $\mu_{ir}=\{(i,j), \dots, (k,r)\}$, які з'єднують пару вершин i та r графа G .

Сума вагів, які приписані дугам (ребрам), на шляху μ_{ir} визначає **довжину шляху**.

Шлях з вершини i до вершини r , який має мінімально можливу довжину, називається **найкоротшим шляхом**.

Мережа називається **зв'язною**, якщо в ній для кожної пари вершин є хоча б один шлях, який їх з'єднує.

Беручи за основу мережну модель, задачу про знаходження найкоротшого шляху можна сформулювати наступним чином.

Нехай задана зв'язна мережа G , в якій кожній дузі (ребру) надається позитивна вага, яка пропорційна її (його) довжині. Необхідно знайти шлях μ_{st} між заданими вершинами s і 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 із найбільш ефективних алгоритмів, які вирішують поставлену задачу, є алгоритм Дейкстри, який носить ім'я автора.

Особливістю цього алгоритму є той факт, що в процесі його виконання одночасно будуються найкоротші шляхи із заданої вершини s до всіх інших вершин мережі. Це пояснюється тим, що будь-яка вершина $i \in N$ може стати проміжною у найкоротшому шляху з s до t . По закінченні роботи алгоритму, вершина s є зв'язаною з усіма іншими вершинами зв'язної мережі G , в тому числі і з вершиною t найкоротшими шляхами, а дуги (ребра), які до них входять, утворюють деяку підмережу без циклів, тобто дерево з корнем у вершині s .

Робота алгоритму реалізується за допомогою розстановки у вершинах приміток виду (L_{sj}, i) , де L_{sj} – довжина найкоротшого шляху з вихідної вершини s до деякої вершини j , а i , яка передує j – вершина на даному шляху.

Примітки розділяються на *тимчасові* та *постійні*. Тимчасові примітки можуть змінюватися в результаті роботи алгоритму, а постійні – не змінюються.

Нижче приведений **алгоритм Дейкстри** у покроковому вигляді.

Крок 0. Від вершин j з постійними позначками $P=(L_{sj}, i)$ (i, j -попередні вершини на шляху) перераховуємо тимчасові позначки для вершин r з цими позначками $P=(L_{sr}, j)$, суміжних до вершин з постійними позначками: $L_{sr}=L_{sj}+L_{jr}$. $P_s=(L_{ss}, s)=(0, s)$.

Крок 1. Серед вершин з тимчасовими позначками вибираємо вершину з найкоротшим шляхом ($\min L_{sr}$). Вона стає вершиною з постійною позначкою.

Якщо повторюється та ж сама вершина, але з більшою тимчасовою позначкою, то вершина з більшою тимчасовою позначкою викреслюється (не враховується). Кінцева вершина в подальших кроках не бере участі.

Якщо всі вершини мережі дістали постійні позначки – кінець роботи алгоритму.

Приклад. Нехай задано 7 пунктів мережі, відстані між якими зведено в матрицю $L=||l_{ij}||$, а саме (Рис.1.7):

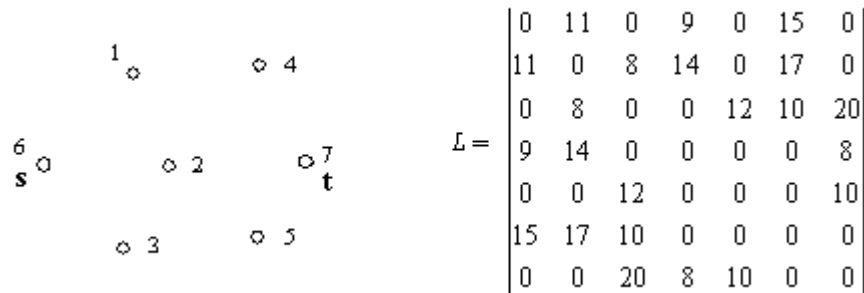


Рис.1.8 Топологія мережі та матриця відстаней

Телекомунікаційна мережа містить 7 пунктів й 11 ліній, що забезпечують зв'язок поміж пунктами в обох напрямках.

Відсутні значення елементів матриці ваг слід розглядати як нескінченно великі відстані, тобто неможливість фізичного прокладання кабеля поміж деякими парами пунктів.

Початковий граф, побудований на основі матриці відстаней (або ваг) поміж пунктами мережі, має вигляд (рис.1.9):

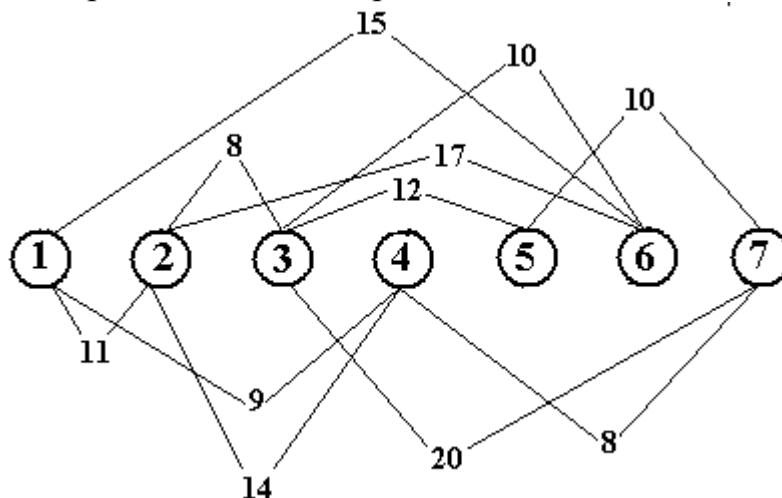


Рис.1.9 Початковий граф, побудований на основі матриці відстаней

Знайдемо найкоротший шлях з вершини 6 (s) до вершини 7 (t) в мережі, що зображена у вигляді графу на рис.1.9.

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

Перераховуємо *тимчасові* позначки для вершин, суміжних вершині s : $P_1=(15,s)$; $P_2=(17,s)$; $P_3=(10,s)$.

Крок 1. Вибираємо вершину 3, оскільки вона має найменший параметр довжини: $P_3=(10,s)$. Її позначка стає *постійною*. Так як ще не всі вершини отримали *постійні* позначки, переходимо до *кроку 0* та здійснюємо

перерахунок позначок для вершин, суміжних вершинам s і 3 : $P_1=(15,s)$; $P_2=(17,s)$; $P_5=(22,3)$; $P_t=(30,3)$; $P_2=(18,3)$.

Вершина 2 повторюється. Викреслюємо вершину 2 з більшою *тимчасовою* позначкою $P_2=(18,3)$. Кінцева вершина $P_t=(30,3)$ в подальших кроках не бере участі.

Далі переходимо до *кроку 1*. Вибираємо вершину 1 : $P_1=(15,s)$. Її позначка стає *постійною*.

На *кроці 0* перераховуємо позначки для вершин, суміжних вершинам s , 3 і 1 : $P_2=(17,s)$; $P_5=(22,3)$; $P_4=(24,1)$; $P_2=(26,1)$. Викреслюємо вершину 2 з більшою *тимчасовою* позначкою $P_2=(26,1)$.

На *кроці 1* вибираємо вершину з найменшим параметром довжини: $P_2=(17,s)$ і т.д.

Подальший процес знаходження найкоротшого шляху у зв'язній мережі зобразимо у вигляді таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Процес знаходження найкоротшого шляху у зв'язній мережі $P_s=(0,s)$

Крок 0	Крок 1	Крок 0	Крок 1	Крок 0	Крок 1
$P_1=(15,s)$ $P_2=(17,s)$ $P_3=(10,s)$	$P_3=(10,s)$	$P_1=(15,s)$ $P_2=(17,s)$ $P_5=(22,3)$ $P_t=(30,3)$ $P_2=(18,3)$	$P_1=(15,s)$	$P_2=(17,s)$ $P_5=(22,3)$ $P_4=(24,1)$ $P_2=(26,1)$	$P_2=(17,s)$

Крок 0	Крок 1	Крок 0	Крок 1	Крок 0	Крок 1
$P_5=(22,3)$ $P_4=(24,1)$ $P_4=(31,2)$	$P_5=(22,3)$	$P_4=(24,1)$ $P_t=(32,5)$	$P_4=(24,1)$	$P_t=(32,4)$	$P_t=(32,4)$

Тимчасова позначка $P_t=(32,4)$ для вершини t є останньою і вона автоматично стає *постійною*.

Висновок: Трасировку шляху μ_{st} визначаємо, прямуючи у зворотньому напрямку від t до s через вершини, які вказані у позначках: $t \rightarrow 3 \rightarrow s$. $P_t^{20} \rightarrow P_3^{10} \rightarrow P_s$.

1.10 Визначення множини шляхів заданої транзитності

В кількості обмежень, які накладаються під час організації з'єднувальних трактів передавання в мережах зв'язку, може розглядатися обмеження на кількість транзитних пунктів або транзитних ділянок в них.

Під **транзитними пунктами** розуміють вузли комутації, які трапляються на шляху прямуювання повідомлення з деякого абонентського пункту i до j , в яких відбувається перерозподіл потоків повідомлень. Транзитні ділянки являють собою відповідно лінії зв'язку, які з'єднують транзитні пункти.

Обмеження по транзитності на шляху передавання повідомлення обумовлюється вимогами до якості обслуговування на мережі (наприклад, до часу проходження повідомлення в мережі, часу обробки повідомлення у вузлах комутації і т.д.).

В термінах графових моделей задача формується наступним чином.

Нехай задано деякий вихідний граф $G(N, V)$, у відповідність множині N потужністю n вершин якого поставлені вузли комутації мережі зв'язку, а множині V -з'єднувальні лінії мережі.

Необхідно визначити множину шляхів $M=\{\mu_{si}\}$ з заданої вершини s до інших вершин $i \in N, i \neq s, i=1, \dots, n$, графу G , для якого параметр транзитності T не перевищує деякої заданої величини T_0 , тобто:

$$T \leq T_0, \forall \mu_{si}, i \neq s, i=1 \dots n.$$

Одним з найбільш зручних та легко реалізуємих на ЕОМ методів визначення шляхів, що відповідають даній вимозі, є побудова так називаємого „ярусного дерева” шляхів від деякої заданої вершини s до інших вершин графу.

На рис.1.10 приведено граф та „ярусне дерево”, яке йому відповідає, з параметром $T_0=2$. Тут під T розуміється кількість транзитних вершин.

Алгоритм побудови „ярусного дерева” включає в себе наступні кроки.

Крок 0. Утворити підмножину нульового ярусу, включивши в нього єдиний елемент – вершину s . Використовуючи матрицю суміжності, виписати номери стовпців у рядку з номером s , елементи якого дорівнюють $a_{sj}=1$. Таким чином, отримана підмножина вершин першого ярусу, утворена вершиною s .

Крок 1. Утворити підмножину вершин наступного ярусу. Для цього:

а) почергово вибираються вершини попереднього ярусу, для кожної з яких вибирається рядок з одноіменним номером у матриці суміжності;

б) для кожного рядка виписуються номери стовпців, що визначаються ненульовими елементами;

в) в кожній із утворених підмножин виключаються номери вершин (номери стовпців), відносно яких утворювалися підмножини вершин у попередніх ярусах. Всі невикреслені елементи (номери стовпців) утворюють підмножини наступного ярусу.

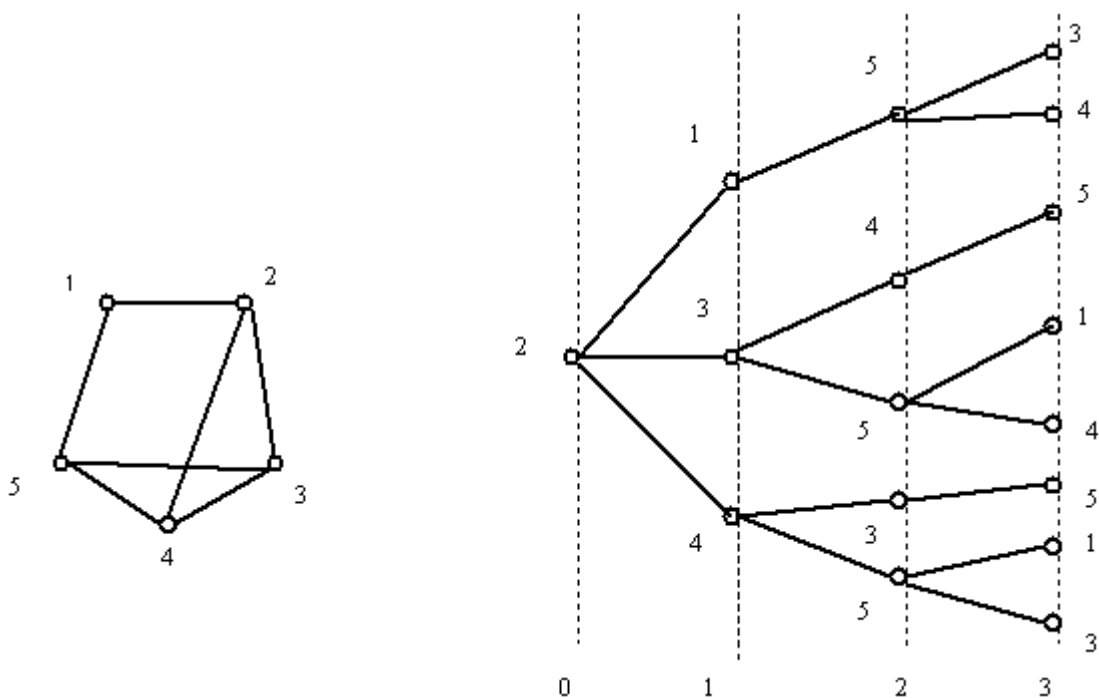


Рис.1.10. Побудова „ярусного дерева” шляхів від деякої заданої вершини s до інших вершин графу

Крок 2. Якщо номер ярусу дорівнює (T_0+1) – кінець. У протилежному випадку – перейти до кроку 1.

1.11 Задачі про потоки. Оцінка пропускної спроможності зв'язної мережі

Задачі про потоки в мережах мають специфіку своєї структури. Введемо деякі визначення.

Визначення 1. Число x_{ij} називається **поток**ом по ребру (i,j) , якщо $x_{ij} \leq b_{ij}$, де b_{ij} – пропускна спроможність цього ребра.

Визначення 2. Поток P_{st} з деякої вершини s , яка називається **джерелом**, в деяку вершину t , яка називається **стоком**, в мережі є множина невід'ємних чисел x_{ij} (потоків ребер), якщо ці числа задовольняють наступним обмеженням:

$$\sum x_{ij} - \sum x_{jr} = \begin{cases} -P_{st}, & \text{якщо } j = s; \\ 0, & \text{якщо } j \neq s, t; \\ P_{st}, & \text{якщо } j = t. \end{cases}$$

$$P_{st} \geq 0; 0 \leq x_{ij} \leq b_{ij} \quad \text{для всіх } (i, j) \in V.$$

Визначення 3. **Перетином (розрізом) мережі** називається ненадлишкова сукупність ребер, при видаленні яких з мережі порушується її зв'язність.

Визначення 4. **Пропускною спроможністю** перетину називається сума пропускних спроможностей дуг, які орієнтовані у напрямку від джерела до стока, або ребер, які складають цей перетин.

В и з н а ч е н н я 5. *Перетин, який розділяє s і t та має найменшу пропускну спроможність, називається **мінімальним перетином**.*

Мінімальний перетин, який розділяє джерело s та сток t , є аналогом „вузького місця” у будь-якій мережі, і, виходячи з цього, величина максимального потоку не може перевищити його пропускну спроможність. Існує теорема, доведена Фордом та Фалкерсоном, яка стверджує, що **величина максимального потоку завжди дорівнює мінімальній пропускій спроможності серед всіх перетинів, які розділяють s і t** . Теорема про максимальний потік та мінімальний перетин є основною в теорії потоків в мережах.

В и з н а ч е н н я 6. *Мережа, яка має одне джерело та один сток, називається **двополюсною**.*

В и з н а ч е н н я 7. *Мережа, в якій кожна пара вершин може розглядатися як джерело та сток, називається **багатопольною**.*

В и з н а ч е н н я 8. *Якщо в мережі є декілька джерел та декілька стоків і потік може йти з будь-якого джерела до будь-якого стоку, то такий потік називається **однопродуктовим** (наприклад, мережі газопроводів, нафтопроводів, енергомережа і т.д.).*

В и з н а ч е н н я 9. *Якщо в мережі з декількома джерелами та стоками потік повинен йти з деяких виділених джерел до деяких фіксованих стоків, такий потік називається **багатодуктовим** (наприклад, мережі інформаційного зв'язку, перевезень поштових відправлень і т.д.).*

При будь-якому переміщенні деяких об'єктів з одного пункту до іншого, виникають потоки і, якщо вони розглядаються з урахуванням обмежень на переміщення, виникає задача про знаходження максимальної величини потоку, який може існувати в умовах заданих обмежень.

Для оцінення пропускну спроможності зв'язної мережі достатньо визначити величину максимального потоку, який вона може пропустити, причому обчислення його дугових компонентів, знаходження шляхів передавання може бути необов'язковим. Згідно *теорему про максимальний потік та мінімальний розріз*, дана задача може бути зведена до визначення пропускну спроможності мінімального перетину. Найбільш простим методом знаходження такого перерізу для двополюсної мережі є перегляд всіх можливих перетинів, які розділяють множину вершин N мережі на дві незв'язані підмножини: N_1 , яка включає джерело, та N_2 , яка включає сток, та вибір серед них перерізу, що має мінімальну пропускну спроможність. Труднощі, які при цьому виникають, полягають у визначенні множин самих перетинів. Нижче приведено алгоритм, який дозволяє запобігти вказаним труднощам, та має високу ефективність з точки зору реалізації на ЕОМ. Основна ідея, яка покладена до його основи, полягає в наступному.

Вершинам підмножин N_1 та N_2 , на які черговий переріз розділяє мережу, присвоюються деякі примітки, наприклад: $0 \rightarrow N_1$; $1 \rightarrow N_2$.

Нехай джерело s належить N_1 , а сток t належить N_2 . Виходячи з цього, вершина s буде відмічена нулем, а t – одиницею. Залишається розподілити

примітки між іншими $(n-2)$ вершинами для кожного можливого перетину мережі.

Для цього необхідно виконати правило, яке породжує різні комбінації нулів та одиниць, які можна використати для того, щоб відсортувати вершини $(n-2)$, які залишилися, на дві підмножини – N_1 та N_2 . В якості такого правила можна використати принцип представлення чисел натурального ряду у двійковій формі. Розрядність двійкового числа у даному випадку визначається значенням $(n-2)$ і, виходячи з цього, максимальна кількість двійкових чисел складає $2^{(n-2)}$. Ця ж величина відповідає максимально можливій кількості перетинів, які розділяють мережу на дві підмножини – N_1 та N_2 незв'язаних вершин. Кожній позиції двійкового числа необхідно поставити у відповідність номер вершини (порядок не має значення). Нагадаємо, що вершини s і t в цьому випадку не беруть участі, так як вони вже отримали примітки та відповідно до них розподілені на підмножини: $s \in N_1, t \in N_2$.

Алгоритм формулюється наступним чином.

Крок 0. Присвоїмо істоку (вершині s) примітку „0”, а стоку (вершині t) – примітку „1”. Припустимо, що значення лічильника перерізів $C=0$.

Крок 1. Утворимо двійкове представлення числа C та сортуємо вершини у відповідності з примітками. Визначаємо пропускну спроможність перерізу для отриманого варіанту розподілу вершин, як суму пропускну спроможностей дуг (ребер), які складають даний переріз.

Крок 2. Збільшуємо значення змінної C на одиницю. Якщо $C=2^{(n-2)}$, переходимо до кроку 3, у протилежному випадку – до кроку 1.

Крок 3. Серед отриманих значень $\{M_i(N_1, N_2)\}$ вибираємо найменше.

Розглянемо приклад, який ілюструє роботу алгоритму.

Нехай необхідно оцінити пропускну спроможність між джерелом s та стоком t в неорієнтованій мережі, модель і матриця пропускну спроможностей ребер якої зображені на рис.1.11. Припустимо, що $S \rightarrow 0; t \rightarrow 1$.

Комбінація приміток вершин для всіх можливих перерізів та величини їх пропускну спроможностей зведені до таблиці 1.4.

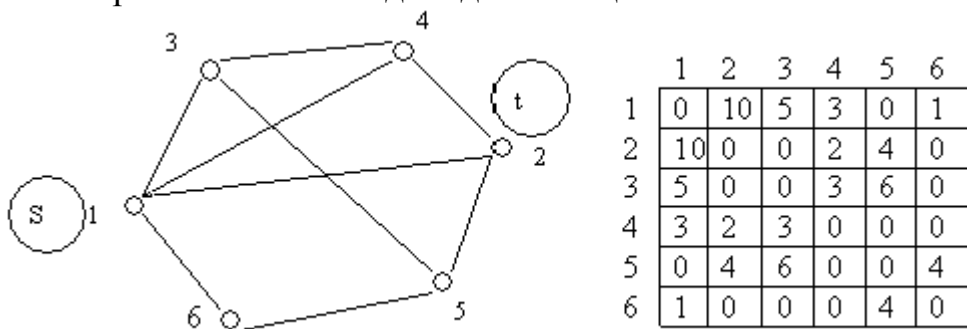


Рис.1.11 Модель і матриця пропускну спроможностей ребер

Таблиця 1.4 - Комбінація приміток вершин для всіх можливих перерізів та величини їх пропускну спроможностей

№ переріза	Двійкові комбінації				$M_i(N_1N_2)$	Так, наприклад, нульовий по порядку переріз буде характеризуватися у відповідності з символікою, наведеною в таблиці 2.1, наступним поділом вершин на підмножини: $M_1=(1, 3, 4, 5, 6)$; $N_2=(2)$. Цей переріз становлять ребра: (1, 2), (4, 2), (5, 2). Сумарна пропускна здатність цих ребер дорівнює 16. Наступний переріз характеризується поділом $M_1=(1, 3, 4, 5)$; $N_2=(2, 6)$. Він містить ребра: (1, 2), (1, 6), (4, 2), (5, 2), (5, 6), які визначають пропускну здатність перерізу, відповідно дорівнюючу 21.
	3	4	5	6		
0	0	0	0	0	16	
1	0	0	0	1	21	
2	0	0	1	0	26	
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	

Переріз 15 характеризується поділом $M_1=(1)$; $N_2=(3,4,2,6)$. Він містить ребра: (1, 3), (1, 4), (1, 2), (1, 6), які визначають пропускну здатність перерізу, відповідно дорівнюючу 19.

Так, наприклад, нульовий за порядком переріз буде характеризуватися у відповідності з символікою, зведеною до таблиці 1.4, наступним розбиттям вершин на підмножини: $N_1=(1, 3, 4, 5, 6)$; $N_2=(2)$.

Цей переріз складають ребра: (1,2), (4,2), (5,2).

Сумарна пропускна спроможність цих ребер дорівнює 16.

Наступний переріз характеризується розбиттям: $N_1=(1, 3, 4, 5)$; $N_2=(2, 6)$.

До нього входять ребра: (1,2), (1,6), (4,2), (5,2), (5,6), та визначають пропускну спроможність перерізу, яка відповідно дорівнює 21.

Як видно з таблиці 1.4, найменшу величину пропускної спроможності має переріз за номером 0. Він й визначає пропускну спроможність заданої мережі.

Додаток. Необхідно зазначити, що викладений вище спосіб отримання сукупності ребер, які входять до деяких перерізів, породжує ребра, які можуть бути відсутніми у фізичному графі. Дані ребра можна або виключити з розгляду, або враховувати з нульовими пропускними спроможностями.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМООЦІНКИ РІВНЯ ЗНАНЬ

1. Призначення телекомунікаційної мережі. Які функції виконує телекомунікаційна мережа?
2. Як класифікуються кінцеві системи інформаційної мережі?
3. Класифікація ресурсів інформаційної мережі?

4. Функції Глобальної інформаційної Інфраструктури (ГІІ)?
5. Яким чином здійснюється взаємодія користувача з мережею?
6. Поняття ієрархічності, комунікативності та емергентності мережі зв'язку?
7. Що відноситься до задач синтезу та аналізу мереж зв'язку?
8. Поняття графу мережі зв'язку. Для якої мети будують граф мережі?
9. Чим відрізняється орієнтований граф мережі зв'язку від неорієнтованого?
10. Що відображає матриця суміжності та матриця інцидентності елементів графу?
11. Як здійснюється синтез мережі мінімальної вартості?
12. У чому полягає задача визначення оптимального місцяположення опорного вузла в кабельній мережі абонентського доступу та базової станції в мережі стаціонарного радіодоступу?
13. У чому полягає принцип знаходження найкоротшого шляху у зв'язній мережі за алгоритмом Дейкстри?
14. Сформулювати теорему Форда та Фалкерсона.
15. Який контур (маршрут) графу $G(N, V)$ називають гамільтоновим?
16. Яка евристика використовується для визначення гамільтонового контуру найменшої довжини?
17. Скільки ребер має контур найменшої довжини?
18. Які вузли комутації називають транзитними пунктами, транзитними ділянками?
19. Що називають параметром транзитності T_0 в «ярусному дереві»?
20. Які кроки включає алгоритм побудови «ярусного дерева»?
21. Визначити множину шляхів від заданої вершини s до інших вершин графу $G(N, V)=G(5, 7)$, використовуючи матрицю суміжності.

2 АРХІТЕКТУРНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ

2.1 Топологія

На рівні самого загального представлення інформаційна мережа складається із сукупності *пунктів* і *ліній*, які їх з'єднують. Взаємне розташування пунктів та ліній характеризує зв'язність мережі та спроможність до забезпечення доставлення інформації в будь-який пункт.

Структура, яка відображає взаємозв'язок пунктів (конфігурацію ліній), називається **топологією**.

Розрізняють *фізичну* топологію і *логічну*. **Фізична топологія** показує розміщення мережених пунктів та конфігурацію кабельної системи. **Логічна топологія** дає уявлення про шляхи, по яким передаються потоки інформації між пунктами.

Для дослідження топологічних особливостей мережі її зручно зобразити у вигляді *точок* та *дуг*, які їх з'єднують. Така геометрична фігура має назву **граф**. Точки графа називаються **вершинами**, а дуги, якщо не враховується їх напрямок, **ребрами**. Граф є *топологічною моделлю* структури інформаційної мережі.

Вибір топології мережі є першою задачею, яка вирішується при її побудові та визначається такими вимогами, як *економічність* та *надійність зв'язку*.

Задача вибору топології мережі вирішується відносно не складно, якщо відомий набір стандартних топологій, з яких вона може складатися.

Розглянемо ряд *базових топологій* та їх особливості.

Топологія „точка-точка” є найбільш простим прикладом базової топології і являє собою сегмент мережі, який пов'язує фізично та логічно два пункти (рис.2.1).

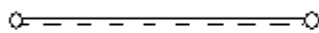


Рис.2.1. Топологія „точка-точка”

Надійність зв'язку в такому сегменті може бути збільшена за рахунок введення резервного зв'язку (показано пунктиром), що забезпечує стопроцентне резервування та називається **захистом типу 1+1**. При виході з ладу основного зв'язку мережа автоматично переводиться на резервну. Не дивлячись на простоту, саме ця базова топологія найбільш розповсюджено використовується при передаванні великих потоків інформації по багатошвидкісним магістральним каналам, наприклад, по трансокеанським провідним кабелям, які обслуговують цифровий телефонний трафік. Вона також використовується як складова частина радіально-кільцевої топології (в якості радіусів). Топологія „точка-точка” з резервуванням типу 1+1 може розглядатися як породжений варіант топології „кільце”.

Деревоподібна топологія може мати різні варіанти (рис.2.2).

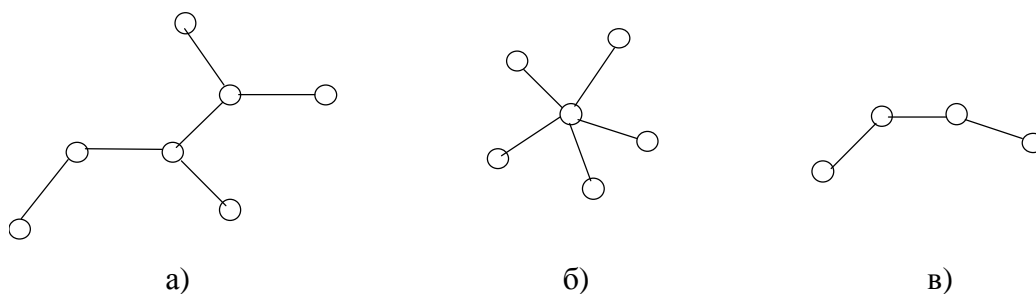


Рис.2.2 Древоподібна топологія: а – дерево, б – зірка, в – ланцюг

Забезпеченістю сегменту мережі, який має древоподібну топологію будь-якого з перерахованих варіантів, є те, що зв'язність n пунктів на рівні фізичної топології досягається кількістю ребер $R=n-1$, що забезпечує високу економічність такої мережі. На логічному рівні, кількість зв'язаних шляхів передавання інформації між кожною парою пунктів в такому сегменті дорівнює $h=1$. З точки зору надійності, це досить низький показник. Підвищення надійності в таких мережах досягається введенням резервних зв'язків (наприклад, захисту типа 1+1).

Древоподібна топологія знаходить застосування в локальних мережах, мережах абонентського доступу.

Топологія „кільце” (рис.2.3) характеризує мережу, в якій до кожного пункту під'єднані дві, і лише дві лінії. Кільцева топологія широко використовується в локальних мережах, в сегментах міжвузлових з'єднань територіальних мереж, а також в мережах абонентського доступу, які організуються на основі оптичного кабелю.

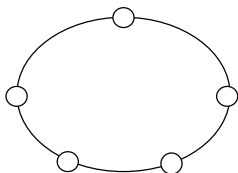


Рис.2.3. Топологія „кільце”

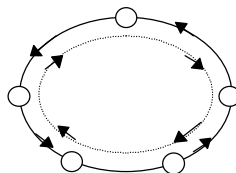


Рис.2.4. Топологія „подвійне кільце”

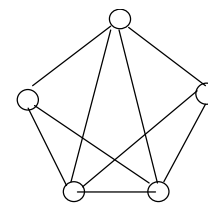


Рис.2.5. Повнозв'язна топологія

Кількість ребер графу, який відображає фізичну топологію, дорівнює кількості вершин: $R=n$ та характеризує порівняно невеликі витрати на мережу.

На логічному рівні між кожною парою пунктів може бути організовано $h=2$ незалежних зв'язаних шляхів (прямий та альтернативний), що забезпечує підвищення надійності зв'язку в такому сегменті, особливо при використанні резервування типу 1+1, так називаємого *подвійного кільця* (рис.2.4).

Подвійне кільце утворюється фізичними з'єднаннями між парою пунктів, при яких інформаційний потік направляється у двох протилежних напрямках (східному та західному), причому один напрямок використовується в якості основного, а другий – резервного.

Повнозв'язна топологія (рис.2.5) забезпечує фізичне та логічне з'єднання пунктів за принципом „кожний з кожним”.

Граф, який включає n вершин, містить $R=n(n-1)/2$ ребер, що визначає 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 має максимальну надійність зв'язку, завдяки можливості організації великої кількості обхідних шляхів. Така топологія характерна для територіальних мереж при формуванні сегментів базових та опорних (магістральних) мереж. Максимальна надійність зв'язку в сегменті досягається при використанні на обхідних напрямках альтернативних середовищ розповсюдження сигналів (наприклад, волоконно-оптичний кабель та радіорелейна лінія).

Коміркова топологія (рис.2.6). Кожний пункт сегменту має безпосередній зв'язок з невеликою кількістю пунктів, найближчих за відстанню.

При великій кількості вершин кількість ребер $R \sim r \cdot n/2$, де r – кількість ребер, інцидентних кожній вершині. Коміркові сегменти мають велику надійність зв'язку при меншій кількості ребер порівняно з повнозв'язним сегментом.

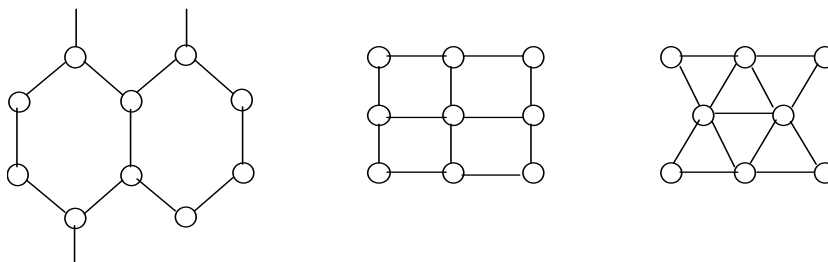


Рис.2.6,а. Коміркова топологія

Використання повнозв'язної та коміркової топологій доцільне лише в сегментах з високою концентрацією трафіку, так як їх реалізація пов'язана із значними витратами.

Серед топологічних схем найбільш популярними є (див. рис. 2.6,б):

1. Шина
2. Зірка
3. Кільце
4. Багатокаскадні та багатозв'язні.

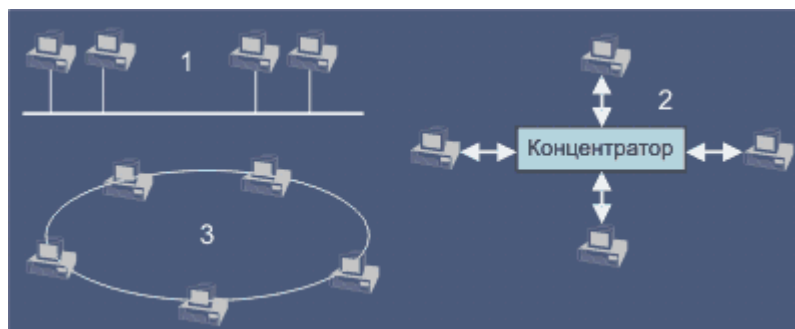


Рис. 2.6,б. Приклади мережних топологій

До перших трьох типів топологій відносяться 99% всіх локальних мереж. Найбільш популярний тип мережі – Ethernet, може будуватись по схемам 1 та 2. Варіант 1 найбільш дешевий, так як вимагає по одному інтерфейсу на машину и не потребує додаткового обладнання. Мережі Token Ring и FDDI використовують кільцеву топологію, де кожний вузол повинен мати два мережних інтерфейса. Ця топологія зручна для оптоволоконних каналів, де сигнал може передаватись тільки в одному напрямку (але при наявності двох кілець, як в FDDI, можливе і двонаправлене передавання). Незавжно побачити, що кільцева топологія будується з послідовностей з'єднань «точка-точка».

Використовується і немала кількість інших топологій, які є комбінаціями вже названих. Приклади таких топологій представлені на рис. 2.6.в. Варіант А на рисунку представляє собою схему з повним набором зв'язків (всі вузли з'єднані між собою), така схема використовується тільки у випадку, коли необхідно забезпечити високу надійність з'єднань. Ця версія вимагає для кожного з вузлів наявності $n-1$ інтерфейсів при повному числі вузлів n . Варіант Б є прикладом нерегулярної топології, а варіант В – ієрархічний випадок зв'язку (деревовидна топологія).

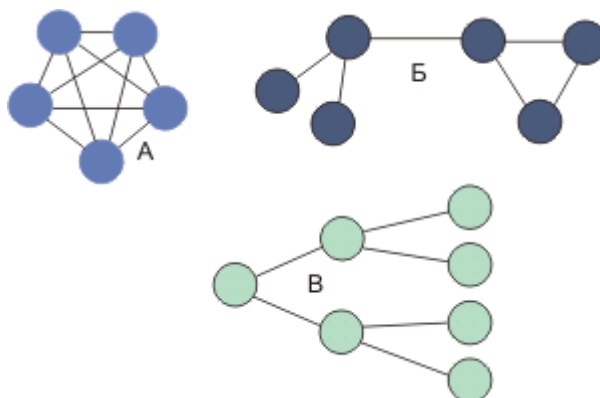


Рис. 2.6.в. Різні мережні топологічні схеми

Якщо топології на рис. 2.6,б чаще застосовуються для локальних мереж, то топології на рис. 2.6.в найбільш типові для регіональних та глобальних мереж. Вибір топології локальної чи регіональної мережі суттєво впливає на її вартість та робочі характеристики. При цьому важливою характеристикою при однорідній мережі є середня кількість кроків між вузлами d .

$$D = \sum_{d=1}^n \frac{dN_d}{N-1}$$

де N_d – кількість ЕОМ на відстані d ; N – повна кількість ЕОМ в мережі; d – відстань між ЕОМ. Для мережі типу А $d=1$, мережа типу В характеризується графом без циклічних структур (дерево).

Саме багатозв'язність в поєднанні з динамічними протоколами маршрутизації роблять Інтернет достатотно надійним та стійким.

Сучасні обчислювальні системи використовують і інші топології: решітки (А), куби (В), гіпердерева (Б), гіперкуби та т.п. (див. рис. 2.6,г). В деяких системах топологія може налаштовуватись на задачу, яку потрібно вирішувати.

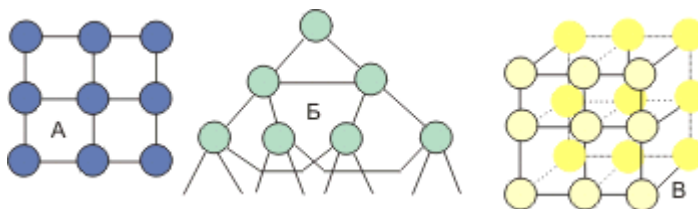


Рис. 2.6,г. Деякі топології обчислювальних систем

2.2 Організаційна структура

Організаційна структура відображає побудову мережі в цілому, а саме види, призначення, основні характеристики її елементів та композиційні принципи об'єднання елементів в структурні компоненти, які можна розглядати як окремі підмережі, так називаємі *сегменти* інформаційної мережі.

2.2.1 Призначення та характеристики елементів мережі

Елементами будь-якої мережі є пункти та лінії, які їх зв'язують.

Пункти мережі поділяються на *кінцеві* та *вузлові*.

В **кінцевих пунктах (КП)** розміщуються кінцеві системи інформаційної мережі. Функціональне призначення КП визначається типом кінцевої системи. КП, в яких встановлюються термінальні системи, призначені для забезпечення доступу до мережі.

Функція доступу може розглядатися в двох аспектах: забезпечення доступу користувача до мережі та організація доступу при об'єднанні різних сегментів мережі.

Термінальні системи користувачів здійснюють введення/виведення інформації шляхом перетворення інформаційних повідомлень в сигнали та навпаки. КП, в яких встановлюються термінальні системи користувачів, називаються **абонентськими пунктами (АП)**.

КП, в яких організуються інформаційні банки, телевізійні і радіомовні студії, центри служб новин, навчання, довідкові служби і т.п., є **постачальниками основних інформаційних та обчислювальних ресурсів** мережі.

КП, в яких розміщуються адміністративні системи, називаються **центрами керування мережею**.

Пункт, в якому встановлюється кінцеве обладнання конкретної мережі, робоча система, є її кінцевим пунктом та називається **вузлом доступу** (Access node). В ньому може бути встановлене *граничне комутаційне*

обладнання, сервер доступу, а також спеціальне обладнання, яке виконує функції *міжмережного перетворювача (шлюзу)* при об'єднанні сегментів, які відрізняються за технологічними ознаками.

Вузловий пункт, або **вузол** мережі являє собою пункт, в якому сходяться три та більше ліній зв'язку і який є проміжним (транзитним) на шляху прямування потоків інформації.

Призначення вузла в мережі визначається функціями, які він виконує. В якості функцій вузла можуть розглядатися *комутація*, *концентрація* та *мультиплексування*.

Комутація – це процес встановлення зв'язку між лініями, які збігаються у вузлі, при розподілі інформаційних потоків в мережі відповідно до схеми маршрутизації. Комутація може бути оперативною (на час одного сеансу зв'язку між парою абонентів) та довготривалою, яка здійснюється шляхом кросування ліній або групи каналів, які збігаються в вузлі. Вузол, який виконує функцію оперативної комутації, будемо називати **вузлом комутації (ВК)**, або **комутатором**, а вузол, в якому здійснюється довготривала комутація (крос) – **розподілений вузлом**, або **розподілювачем**.

Концентрація – об'єднання декількох вхідних невеликих за потужністю інформаційних потоків з метою отримання більш потужного вихідного потоку, який забезпечує ефективне завантаження лінії. Пункт, що виконує таку функцію, називається **концентратором**.

Мультиплексування – це процес об'єднання незалежних сигналів кількох каналів для передачі спільним каналом. **Мультиплексування** забезпечує можливість передавання декількох потоків інформації по одній лінії шляхом закріплення за кожним з них фіксованої частини ресурсу ліній. Фіксований розподіл лінійного ресурсу залишається незмінним навіть в періоди відсутності передаваної інформації, тобто функція концентрації тут відсутня. Такий пункт мережі називається, відповідно, **мультиплексором**.

В вузловому пункті мережі об'єднуються одночасно декілька перерахованих функцій.

Лінії зв'язку забезпечують передавання інформаційних потоків у вигляді сигналів і являють собою споруди, що включають середовище розповсюдження сигналів та комплекс каналоутворюючого обладнання.

В якості фізичного середовища можуть використовуватися мідні пари проводів, оптичне волокно, ефір. В залежності від середовища, по якому передаються сигнали, всі існуючі типи ліній зв'язку прийнято поділяти на дві групи: **проводові** та **безпроводові**.

До проводових відносяться всі типи ліній, в яких сигнали розповсюджуються вздовж штучно створеного направляючого середовища. В найпростішому випадку це фізичне коло, яке утворюється парою проводів, по якій передається сигнал у вигляді електричного струму. Проводові лінії, які утворені проводами, що мають ізоляційні покриття та розміщені в спеціальних захисних оболонках, називаються **кабельними лініями зв'язку (КЛЗ)**.

За умовами прокладання та експлуатації розрізняють **підземні** та **підводні** кабелі. Вони відрізняються конструкцією та матеріалом ізоляційних оболонок та захисних покривів. В землі та у воді прокладають кабелі, броньовані сталевими стрічками або дротом, які надають кабелю особливої механічної міцності. У містах кабелі прокладають в спеціально побудовану каналізацію, яка складається з трубопроводу та оглядових колодязів.

Для забезпечення необхідної дальності передавання сигналів, а це можуть бути тисячі кілометрів, в кабельних магістралях організуються підсилювальні пункти, які розташовані по трасі через визначені інтервали. Все перераховане називається **лінійно-кабельними спорудами (ЛКС)** та складає основну частину витрат при організації та експлуатації кабельних ліній зв'язку.

До провідних відносяться також лінії, які використовують в якості середовища розповсюдження діелектричні матеріали, особливо тонкі скляні волокна. В оптичному кабелі скловолокна вільно розміщуються всередині поліетиленових трубок, скручених навколо міцного пластмасового осердя.

Оптичні кабелі, як і звичайні, мають захисні поліетиленові оболонки та різні зовнішні покриття. Їх можна прокладати в землі, воді, приміщеннях. Вони не чутливі до електромагнітних перешкод і не потребують металевих екранів. Лінії зв'язку, які використовують оптичні кабелі, отримали назву **волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ)**. Характерною перевагою їх є відсутність в конструкції дефіцитних матеріалів: міді, алюмінію, свинцю та ін.

Термін **радіолінія** поширюється на всі типи ліній, в яких сигнали передаються у відкритому просторі без штучних направляючих середовищ у вигляді радіохвиль. Перевагою радіоліній є можливість їх швидкої організації та порівняно невелика вартість. Важливим є факт використання радіоліній для організації мобільного зв'язку (з рухомими об'єктами: автомобілями, літаками, поїздами, кораблями, космічними літальними апаратами).

Лінії радіозв'язку, які складаються з декількох або багатьох ділянок, в межах яких відбувається приймання сигналу, його підсилення та передавання до наступного пункту, називаються **радіорелейними лініями (РРЛ)**. Різновидом РРЛ є **супутникові радіолінії**.

2.2.2 Композиційні принципи утворення сегментів

Композиційні принципи об'єднання елементів мережі у відносно самостійні структурні компоненти – **сегменти мережі** – базуються, як правило, на уяві про *масштабність* сегменту, а також на *мережній технології*, яка в ньому використовується (телекомунікаційній технології). Класифікація сегментів мережі за територіально-функціональним принципом може бути представлена ієрархією мереж на рис.2.7.

Локальна мережа LAN (Local Area Network) – мережа, в якій основна частина трафіку (потоки інформації) замикається всередині невеликої

території закладу, промислового підприємства і т.п. До мереж типу LAN можуть бути також віднесені мережі, які утворені як сукупність декількох локальних мереж, так названі **корпоративні мережі**, наприклад, мережа, що об'єднує центральний заклад (дирекцію) банку з його відділами, які зосереджені на території одного або декількох районів міста.

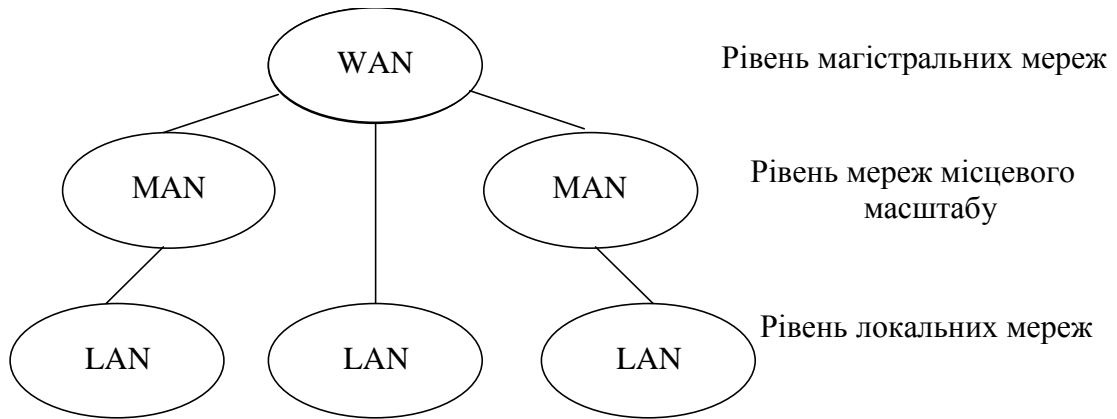


Рис.2.7. Ієрархія сегментів інформаційної мережі за територіально-функціональним принципом

Місцева мережа MAN (Metropolitan Area Network) – мережа, яка охоплює територію міста або сільського району.

Глобальна мережа WAN (Wide Area Network) – великомасштабна мережа, призначена для об'єднання мереж типу LAN, MAN та інших сегментів, які розміщені на території великого регіону, держави, континенту, а також на різних континентах.

Еволюційний характер перетворення інформаційних мереж, на відміну від бурхливого розвитку мережних технологій, останнім часом обумовив появу сегментів, які відрізняються за *технологічними ознаками*. Причому масштаби таких сегментів можуть бути різними: від розмірів будь-якої з перерахованих вище видів мереж (LAN, MAN, WAN) до окремих їх фрагментів.

Класифікуючи сегменти за функціонально-технологічною ознакою, використовують такі поняття, як: „аналогова мережа”, „цифрова мережа”, „мережа ISDN” (маючи на увазі технологію ISDN), „IP-мережа” (мережа, яка працює за Internet протоколом), „мережа SDH”, „мережа X.25”, „мережа FR (Frame Relay)”, „мережа ATM” і т.п.

Наявність сегментів з різними технологіями характерна для всього періоду, на протязі якого буде здійснюватися перехід до Глобальної Інформаційної Інфраструктури – єдиному інформаційному простору, який створений на основі мультисервісної платформи надання послуг.

2.2.3 Принципи організації мереж LAN

Локальні інформаційні мережі, на відміну від територіальних, характеризуються тим, що відстань між найбільш віддаленими пунктами невелика. Мала відстань дозволяє забезпечити високі швидкості передавання інформації, створювати мережі високонадійними та економічними.

Так як всі кінцеві системи знаходяться в межах однієї-двох будівель, можливе сумісне використання дорогого обладнання (потужних процесорів, графопобудувачів і т.п.).

Серцевиною локальних інформаційних мереж, як і територіальних, є комунікаційна мережа, яка для мереж LAN може характеризуватися вузловою, шинною або кільцевою топологією.

В вузловій локальній мережі частіше всього є єдиний вузол, до якого включені всі кінцеві пункти, утворюючи зіркоподібну мережу. Така топологія найбільш характерна для організації відомчої мережі телефонного зв'язку, яка забезпечує підключення телефонних апаратів до відомчої АТС. Використовуючи інші типи комутатора та кінцевих систем, можна за цим же принципом організувати мережу, в якій можливе передавання не лише мови, але й даних та зображення.

Прагнення зменшити в локальній мережі кількість ліній призвело до створення мереж шинної топології. Комунікаційна мережа такої топології може бути організована за принципом моноканалу – єдиного каналу для всіх систем, доступ до якого забезпечується спеціальним мережним приладом – блоком доступу, а також поліканалу, еквівалентного групі моноканалів, що значно перевищує продуктивність мережі.

Термінальні системи, які являють собою персональні комп'ютери (ПК), у мережі LAN називаються **робочими станціями**.

В якості *кінцевих* та *робочих* систем, до яких звертаються через мережу *робочі станції*, виступають *файл-сервери* (комп'ютери, призначені для зберігання інформації та забезпечення доступу до неї); *принтери* та *принт-сервери* (комп'ютери, які забезпечують доступ до мережного принтеру в режимі розподілу ресурсу). В якості середовища передавання інформації використовується кабель, вита пара, а також волоконно-оптичний кабель (ВОК).

2.2.4 Принципи організації мереж MAN

Мережі MAN являють собою територіальні мережі відносно невеликого масштабу. Практично вважається, що кожний населений пункт (місто, сільський район) обслуговується своєю місцевою мережею. Але, останнім часом, існує тенденція до створення мереж MAN, які будуть обслуговувати регіони, що охоплюють декілька невеликих населених пунктів, розміщених недалеко один від одного.

Дослідження характеру передавання та розподілу інформаційних потоків в мережі MAN виявило функціональні задачі, що призводять до необхідності розподілу її *телекомунікаційної мережі* на два сегменти:

- *мережа абонентського доступу* CAN (Customer Access Network);
- *мережа міжвузлового зв'язку* NCN (Node Connection Network).

Мережа абонентського доступу CAN забезпечує підключення АП інформаційної мережі до так названого *опорного* вузла (ОВ). З одного боку, він є вузлом комутації (ВК) для мережі абонентського доступу (в існуючих мережах електрозв'язку загального користування такі вузли мають назву *опорні станції* ОПС, в аналоговій телефонії цю роль виконують *районні* АТС); з іншого боку, він є кінцевим пунктом, в якому забезпечується доступ до мережі NCN.

Територія, на якій зосереджені АП, що включені до відповідного ОВ, визначає його **район обслуговування**. Межі району обслуговування встановлюються в залежності від абонентської щільності та комутаційних можливостей вузла. По відношенню до АП свого регіону обслуговування опорний вузол виконує функцію *комутації*, забезпечуючи встановлення зв'язку всередині району. По відношенню до мережі міжвузлового зв'язку він є *концентратором*, який формує міжвузлові потоки, а також потоки до пунктів, в яких розміщуються інформаційні та обчислювальні ресурси інформаційної мережі.

Лінії зв'язку, за допомогою яких АП під'єднується до ВК, називаються **абонентськими лініями (АЛ)**.

Абонентську мережу, маючи на увазі ділянку від ОВ до АП, називають „*останньою милею*” телекомунікаційної мережі. Проблема останньої милі полягає в чисельності АЛ, що визначає значну частину витрат (приблизно 30%) їх загальної суми на мережу в цілому. Розв'язок цієї проблеми полягає в організації в мережі доступу додаткових вузлових пунктів (розподілених вузлів), які є інсталяційною базою для розміщення таких пристроїв, як *розподілені коробки, розподілені шафи, мультиплексори, концентратори, розгалуджувачі*. Використання цих пристроїв дозволяє суттєво понизити капітальні витрати на абонентську мережу.

На рис.2.8 приведена загальна схема побудови традиційної абонентської мережі змішаного типу, в якій забезпечується передавання як вузькосмугових сигналів (аналогова та цифрова телефонія, низькошвидкісний доступ до банків даних, електронна пошта), так і широкосмугових (далекомовне (ефірне) телебачення, кабельне телебачення).

Введення додаткових вузлів дозволяє організувати в абонентській мережі *магістральні ділянки (МД)*, виконані на потужних кабелях, та *розподілені ділянки (РД)*, так названі *розподілені мережі*. Чим ближче вдається розташувати вузол абонентської мережі до місця зосередження абонентів, тим дешевша розподілена мережа.

Недоліком даної мережі є розподіл за видами служб (телевізійне мовлення, телефонія), неможливість організації двонаправлених

широкопasmових служб (відеотелефонії, відеоконференції і т.п.) із-за недостатньої смуги пропускання мідних пар телефонного кабелю.

Сучасні концепції побудови мережі абонентського доступу базуються на використанні волоконно-оптичного кабелю. Так, концепція „волоконно до розподіленої шафи” FTTC (Fiber to the Curb) забезпечує один із найпростіших та порівняно недорогих методів нарощування абонентської мережі (рис.2.9). Волоконно-оптичний кабель з ОПС надходить до розподіленої шафи (Curb), яка обладнана електронним розподіленим обладнанням. Шафа може розміщуватися безпосередньо в приміщенні, до абонентів йдуть виті пари. На відміну від телефонних пар, вони мають кращі технічні характеристики та велику пропускну спроможність.

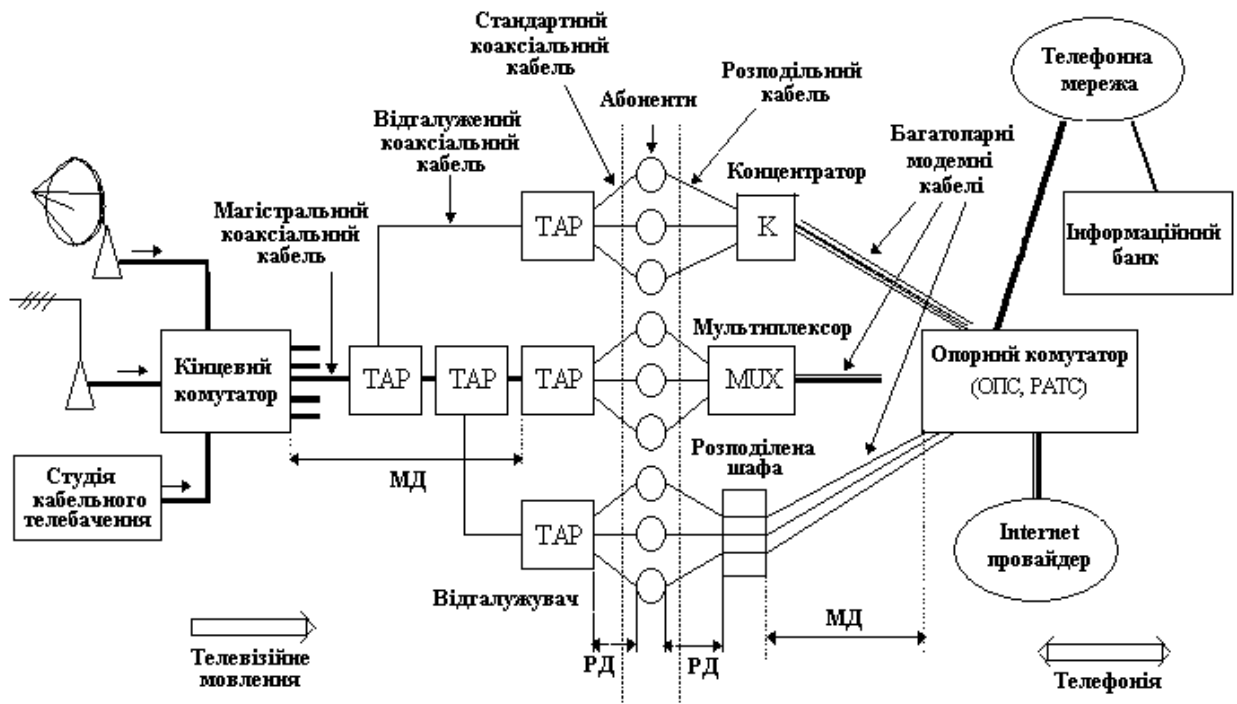


Рис.2.8. Схема традиційної абонентської мережі

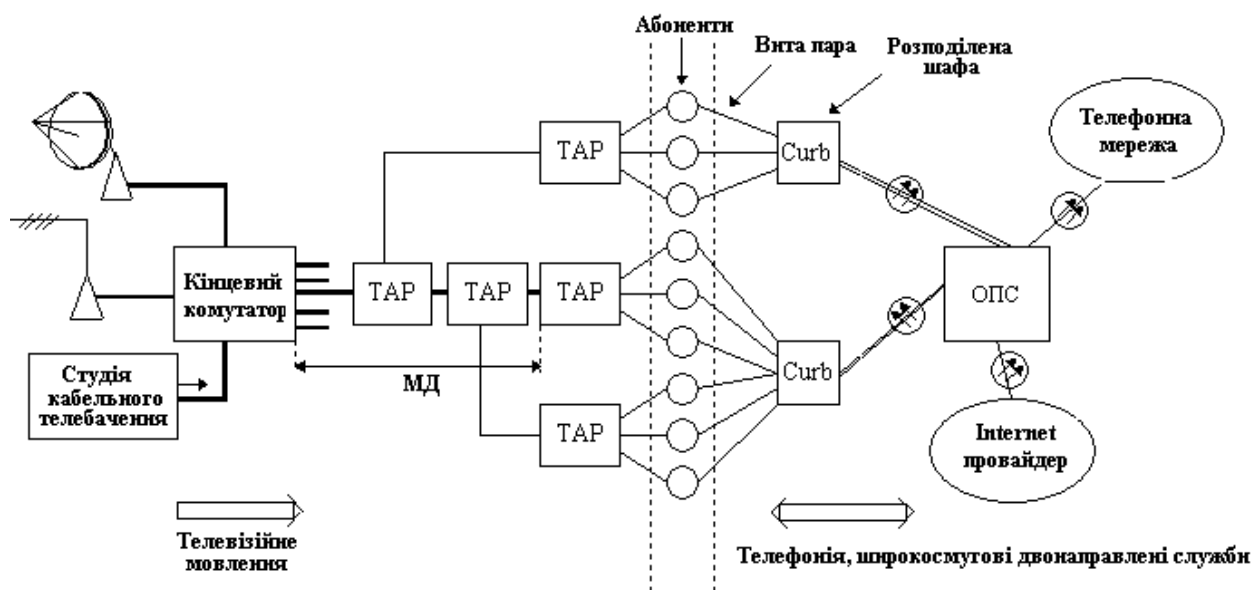


Рис.2.9. Концепція "волокно до розподіленої шафи" (FTTC)

Концепція „волокно до квартири” FTTH (Fiber to the Home) є дуже дорогою (рис.2.10). Її втілення багато залежить від того, як швидко будуть знижуватися вартість волоконно-оптичних компонент (особливо лазерних передавачів), а також розцінки на інсталяцію таких систем. Волокно від опорного комутатора прямує безпосередньо до терміналу абонента. На шляху можуть встановлюватися пасивні оптичні розподільні кроси, які „подрібнюють” багатожильний ВОК у кабелі з меншою кількістю волокон (особливо, дво жильні).

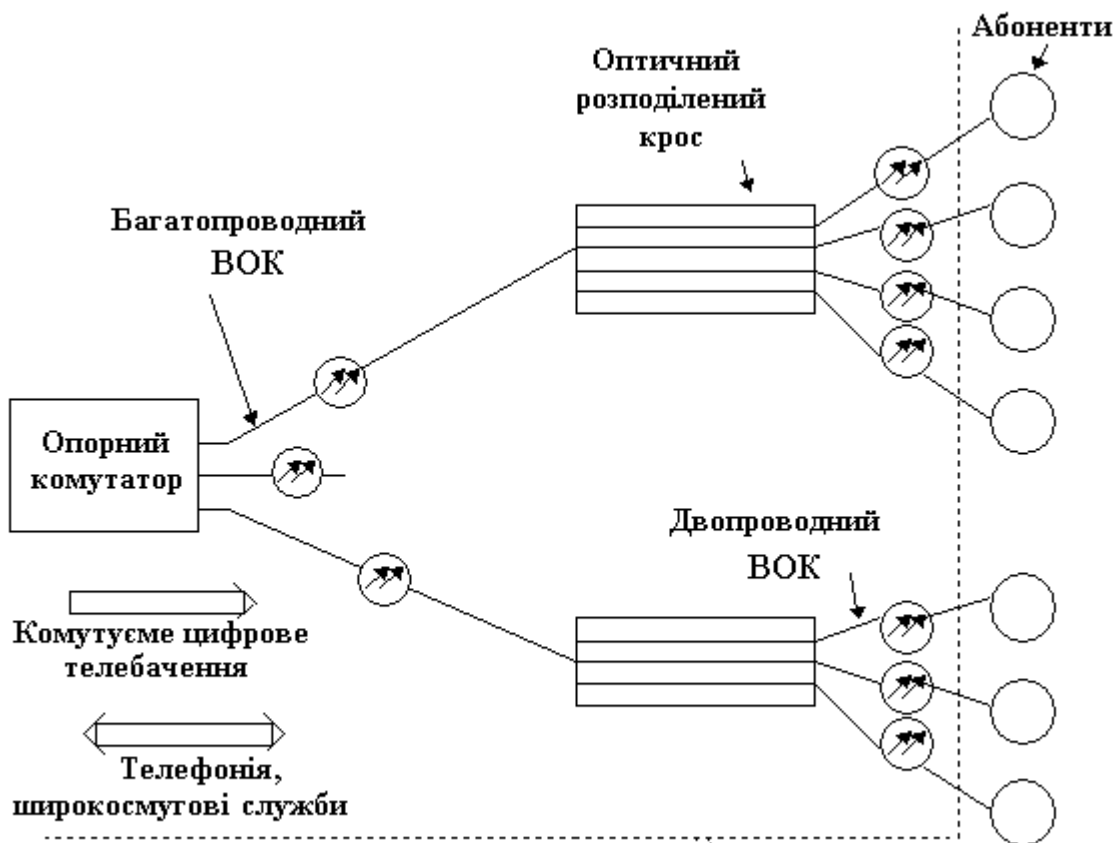


Рис.2.10. Концепція "волокно в квартиру" (FTTH)

Існують й інші способи організації мережі абонентського доступу, наприклад, використання безпроводових АЛ – стаціонарного радіодоступу (рис.2.11).

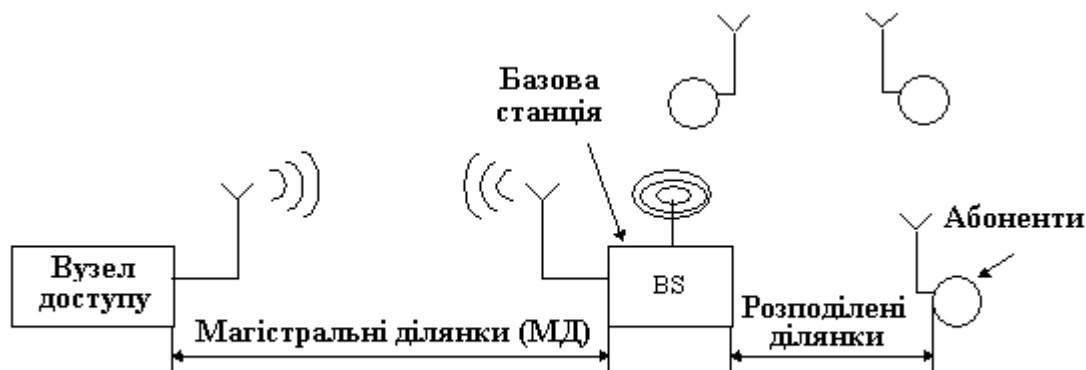


Рис.2.11. Стаціонарний радіодоступ

В мережі радіодоступу велика частина витрат полягає на радіообладнання. Такі переваги, як швидка реалізація та введення об'єкту до експлуатації, порівняно не складна реконфігурація мережі, яка дозволяє спостерігати зміну попиту на послуги, роблять дану мережу дуже перспективною. Крім цього, в деяких випадках із-за неможливості прокладання додаткового кабелю радіодоступ є єдиним можливим методом нарощування та модернізації абонентської мережі.

Проблема надійності мережі абонентського доступу вирішується використанням різних варіантів топології мережі, що стосується і кільця (рис.2.12).

Мережі у приміщеннях абонентів та офісів організуються на основі принципів побудови мережі LAN.

Мережа міжвузлового зв'язку NCN. Пунктами цієї мережі є опорні вузли (ОВ) мереж абонентського доступу, які є кінцевими для мережі NCN, а також вузлові пункти, що виконують роль *транзитних вузлів* (ТВ) при організації зв'язків між ОВ та до вузлів доступу (ВД) магістральної мережі WAN. В існуючих мережах електрозв'язку до таких вузлів відносяться транзитні станції (ТС), опорно-транзитні станції (ОПТС) та вузли міжміського зв'язку.

Лінії зв'язку, які забезпечують з'єднання пунктів мережі NCN, називають **з'єднувальними лініями** (ЗЛ).

Традиційно мережі MAN класифікуються як: нерайоновані, районовані без вузлуутворення та районовані з вузлуутворенням, що, в свою чергу, характеризує ступінь розвитку мережі.

Так, *нерайонована мережа MAN* являє собою один єдиний район, в якому мережа NCN породжена до розміру одного опорного вузла, який, крім своїх основних функцій, забезпечує доступ до магістральної мережі. Побудова такої мережі MAN зводиться до організації мережі абонентського доступу SAN.

Районована мережа MAN без вузлуутворення характеризується наявністю декількох районів обслуговування абонентів на її території, в кожному з яких знаходиться свій ОВ. Всі ОВ об'єднуються за принципом „кожний з кожним” (як правило, на основі мідного кабелю) або в транспортне кільце на основі ВОК (рис.2.13). На логічному рівні всі з'єднання утворюють топологію „кожний з кожним” не залежно від фізичної топології.

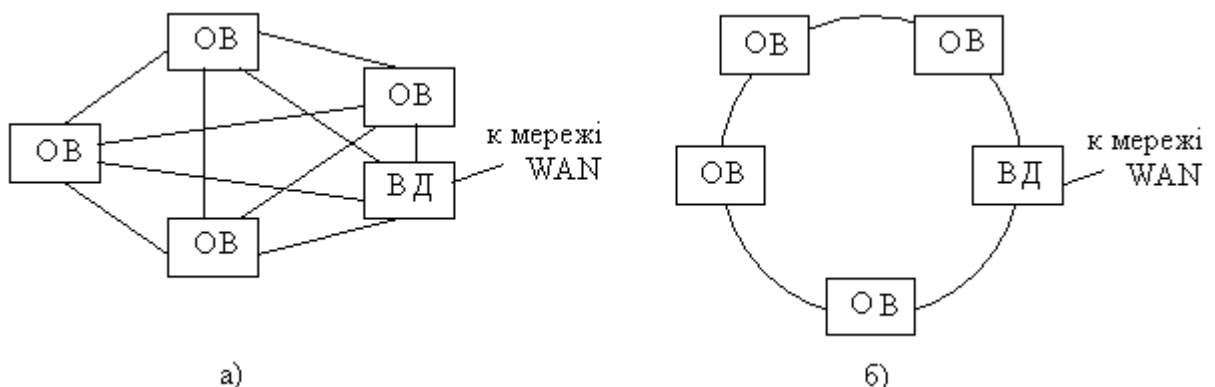


Рис.2.13. Районована мережа MAN без вузлуутворення:
а – на базі мідного кабелю, б – на базі ВОК

Вихід на магістральну мережу WAN забезпечується у відповідному вузлі доступу (ВД) до цієї мережі, функції якого аналогічні функціям опорного вузла.

Районована мережа з вузлуотворенням передбачає наявність в мережі NCN транзитних вузлів (ТВ), через які організуються зв'язки ОБ мереж абонентського доступу між собою та з магістральною мережею WAN. Наявність транзитних вузлів передбачає утворення для кожного з них свого вузлового району, який включає визначену кількість ОБ (рис.2.14).

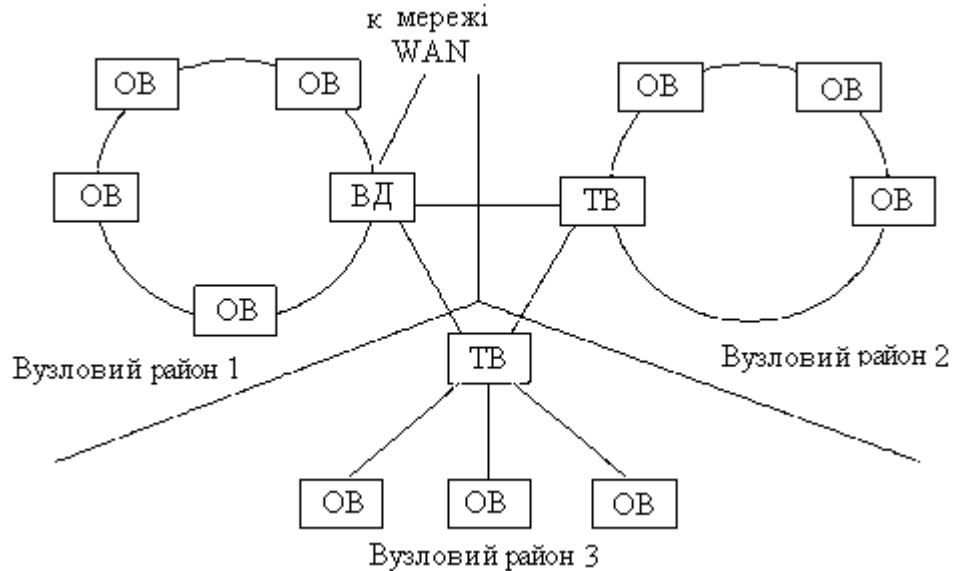


Рис.2.14. Районована мережа MAN з вузлуотворенням

Топологія таких мереж може бути утворена включенням різних базових сегментів: кільцевих, „точка-точка”, „зірка”, вибір яких являє собою непросту техніко-економічну задачу.

Мережа міжвузлового зв'язку може включати сегменти, в яких використовуються різні телекомунікаційні технології, що реалізуються на основі мідних кабелів та ВОК. Об'єднання таких сегментів здійснюється шляхом використання „шлюзів”. Ці функції, як правило, перекладаються на транзитні вузли.

2.2.5 Мережі глобальних телекомунікацій WAN

Сегменти мережі WAN являють собою сукупність потужних магістралей, які об'єднують окремі локальні та територіальні інформаційні мережі.

Магістральні лінії зв'язку є дорогими телекомунікаційними ресурсами, що використовуються при транспортуванні інформаційних потоків на великі відстані. Ефективне використання цих ресурсів складає основну проблему при побудові мереж WAN. Розв'язок цієї задачі здійснюється застосуванням спеціальних високошвидкісних технологій, які орієнтовані на використання в транспортних мережах. Це, перед усім, представлення всієї передаваної інформації в єдиному цифровому вигляді та висока концентрація цифрових потоків у вузлах доступу до магістралей.

Принципи побудови транспортних телекомунікацій багато в чому повторюють принципи розвитку магістралей авто- та залізничного

транспорту. У транспорті замість вузьких автошляхів будують широкі магістралі з одностороннім рухом, так названі автобани. Замість перехресть із семафорами споруджуються розв'язки різних за висотою рівнів та з'їзди, що забезпечують рух транспорту без зупинок. Для транспортування вантажу організуються контейнерні перевезення. Сучасні телекомунікаційні технології дозволяють організувати щось схоже у мережах зв'язку. Це широкосмугові волоконно-оптичні лінії зв'язку, в яких швидкості передавання цифрових потоків досягають декількох десятків гігабіт (Гбіт). Асинхронний режим перенесення забезпечує транспортування будь-яких видів інформації пакетами фіксованої довжини, які розміщуються в спеціальних транспортних модулях (віртуальних контейнерах). Вузли при цьому виконують функції розподільвачів та розгалужувачів потоків різної величини. Доступ до таких мереж здійснюється за допомогою спеціального обладнання (комутаторів, мультиплексорів, хвильових конвертерів і т.д.), яке встановлюється у вузлах доступу до мережі WAN.

При побудові мереж WAN використовуються всі базові топології („точка-точка”, деревоподібна, кільце і т.д.), а також їх поєднання.

Використання кросової автоматичної комутації у вузлах мереж WAN забезпечує можливість гнучкого керування топологією на логічному рівні.

При розгляді у складі сегментів телекомунікаційної мережі мережа WAN класифікується як **опорна мережа** (Backbone Network). Основною задачею опорної мережі є високошвидкісне транспортування дуже концентрованого трафіку на великі відстані, у зв'язку з чим її ще називають *транспортною мережею*.

Поняття „**транспортна мережа**” (Transport Network, Transmission Media) визначає *телекомунікаційне середовище як сукупність уніфікованого обладнання широкосмугових ліній, розподілених вузлів та вузлів доступу до мережі, за допомогою якого реалізується ієрархія стандартизованих рівнів швидкостей передавання інформаційних потоків даних*.

На відміну від опорної мережі, всі інші телекомунікаційні сегменти (такі, як мережі абонентського доступу, місцеві мережі міжвузлового зв'язку) виконують подвійну задачу: з одного боку – забезпечують передавання та розподіл локально зосереджених потоків інформації, з іншого – утворюють **мережу доступу до опорної (транспортної) мережі**.

В рамках концепції інформаційної мережі вся сукупність сегментів телекомунікаційної мережі, за допомогою якої забезпечується взаємодія термінальних систем користувачів з робочими системами, може пояснюватися як *мережа доступу до інформаційних та обчислювальних ресурсів інформаційної мережі або до її базової мережі (Core Network)*.

Базовою мережею називається *сукупність сегментів глобальних комунікацій, яка об'єднує операторів зв'язку або постачальників послуг*.

2.3 Функціональна модель мережі

Функціональна модель являє собою абстрактний опис мережі на **логічному рівні**, що не залежить від принципів її фізичної реалізації. Така модель відображає взаємозв'язок функцій, що виконуються в мережі, які в даному випадку розглядаються в якості її елементів.

Функція являє собою деякий логічний елемент, який виконує визначену задачу. Фізична реалізація функцій припускає різні варіанти:

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

Функції, які реалізуються у вигляді програмних продуктів, прийнято називати **об'єктами**. Саме поняття функції є апаратною реалізацією, хоча обидва поняття є синонімами. В подальшому будемо дотримуватися цього умовного розмежування.

При фізичній реалізації функції в тому чи іншому вигляді допускається їх групування у вигляді окремих функціональних підсистем. Такі підсистеми називаються **логічними модулями**.

Розрізняють наступні основні типи функцій, які виконуються у мережі:

- 1) **прикладні** функції – об'єкти прикладень користувачів та адміністрації мережі;
- 2) функції **керування послугами** – об'єкти, які дозволяють будувати послуги з компонентів послуг та пов'язаних з ними ресурсів і керувати взаємодією користувачів з цими послугами;
- 3) функції **адміністративного керування** мережею – об'єкти, які здійснюють управління всіма іншими функціями;
- 4) функції **обробки та зберігання даних** – об'єкти, які забезпечують виклик та управління об'єктами прикладень, їх взаємодія, а також добування даних запиту або розміщення їх в базі даних;
- 5) **комунікаційні** функції – функції транспорту та управління потоками інформації (при їх перерозподілу в комунікаційних вузлах).

Порядок взаємодії між функціями мережі визначає зв'язки між елементами функціональної моделі. Повна специфікація (правильний опис) такої взаємодії, як між окремими функціями (об'єктами), так і між логічними модулями, називається **логічним інтерфейсом**.

Логічний інтерфейс є обширним поняттям, яке охоплює як набір правил поведінки елементів взаємодії, так і *формат* уявлення інформації обміну.

Під **форматом** розуміють сукупність позицій для елементів даних, яка має структуру.

Логічний інтерфейс між функціями (об'єктами) одного виду називається **протоколом**.

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

Введемо ще одне поняття, яке визначає характер взаємодії прикладних об'єктів, - поняття *транзакції*.

Транзакцією називають послідовність логічних зв'язаних дій, які переводять інформаційну систему з одного стану до іншого. Такий перехід має місце, наприклад, при обробці запиту користувача на надання послуги та задоволення цього запиту з боку мережі. Транзакція або повинна закінчитися повністю (успішне закінчення), або, у випадку неможливості виконання яких-небудь дій по технічним причинам, повинна бути представлена з поверненням системи до вихідного положення (аварійне закінчення). Обробка транзакцій відноситься до функцій обробки та зберігання даних. Таким чином, логічні інтерфейси між прикладними об'єктами можна розглядати як *протоколи* транзакцій.

Принципи об'єднання функцій (об'єктів) у логічні модулі можуть бути наступними.

Утворення сегментів. Функції в сегменті звичайно реалізуються сумісно. Прикладом утворення логічних модулів у вигляді сегментів може бути принцип сумісного розгляду транспортної функції та функції управління потоками при їх локалізації в сегментах телекомунікаційної мережі (модуль сегмента мережі доступу, модуль сегмента мережі NCN (між вузлового зв'язку) і т.п.) (рис.2.15). В цьому випадку будь-яку телекомунікаційну мережу, яка розглядається як сукупність моделей сегментів функцій транспорту та управління потоками, у функціональній моделі часто називають **транспортною мережею** (ще одне трактування поняття транспортної мережі!).



Рис.2.15. Приклад утворення модулів сегментів на функціональному рівні: I - інтерфейс (функціональна еталонна точка), NTU - термінатор (мережеве закінчення)

Утворення домену являє собою сукупність функцій, які об'єднані роллю приналежності. При цьому враховувати їх сумісну дію при реалізації в апаратних засобах або програмних продуктах не потрібно. Прикладами можуть бути домен користувача (рис.2.16) та домен мережного оператора (рис.2.17).

Визначений склад функцій (об'єктів) домену називається **конфігурацією**.

Конфігурації доменів, як користувачів, так і мережних операторів, можуть бути різними та залежать від багатьох факторів, основним з яких є можливість мережі надавати різні послуги та прикладення.

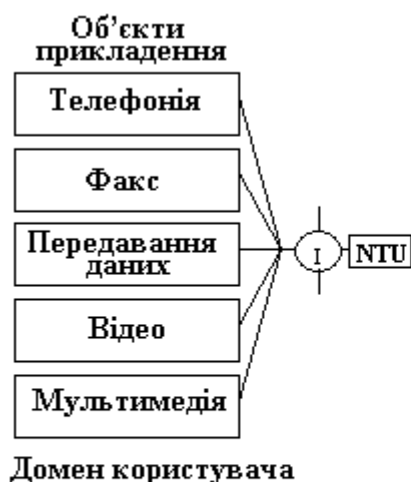
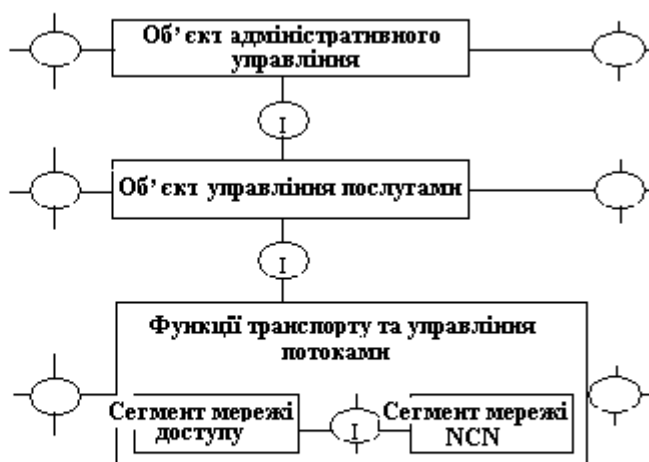


Рис.2.16. Приклад утворення домену користувача



Домен мережевого оператора
Рис.2.17. Приклад утворення домена мережевого оператора

Утворення платформи надання послуг на функціональному рівні ґрунтується на поєднанні сегментів та доменів різних операторів зв'язку, участь яких передбачається при наданні визначеної послуги або набору послуг.

2.4 Програмна структура

Аналіз **програмної структури** дозволяє розглядати ієрархію мережного програмного забезпечення. Елементами цієї структури є програмні модулі, в яких реалізовані логічні елементи мережі.

Ієрархія програмного забезпечення (ПЗ) може бути представлена у наступному вигляді:

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

В **прикладному ПЗ** реалізовані об'єкти прикладень. Розрізняють два види прикладень, які впливають на структуру організації ПЗ – *локально обмежені* та *розподілені* прикладення.

Локально обмежене прикладення інсталюється, викликається, управляється та виконується повністю в межах однієї кінцевої системи та не потребує застосування комунікаційних функцій. Прикладом може бути редагування документу при підготовці тексту на комп'ютері користувача (терміналі користувача).

Розподілене прикладення складається з декількох компонент, які можуть виконуватися в різних кінцевих системах і тому вимагають організації взаємодії цих кінцевих систем. Наприклад, сумісне редагування тексту об'ємної публікації користувачами, які розміщені в різних місцях.

Компоненти розподіленого прикладення можуть неодноразово використовуватися іншими прикладеннями. В цьому випадку вони стають

об'єктами *проміжного ПЗ* та підтримують послуги, пов'язані з можливостями інтелектуальних мереж ІN.

Проміжне ПЗ реалізує в мережі функції керування послугами та функції адміністративного керування мережею. Об'єкти обох груп аналогічно компонентам розподілених прикладень взаємодіють за допомогою комунікаційних функцій.

За допомогою проміжного ПЗ в мережі отримують визначену реалізацію вже давно відомі концепції інтелектуальних мереж ІN та загальної схеми багаторівневого керування мережами ТМN.

Базове ПЗ призначене для забезпечення об'єктами *прикладного ПЗ* та *проміжного ПЗ* можливості виконання та взаємодії з іншими об'єктами за допомогою забезпечення середовища взаємодії з комунікаційними функціями та логічними інтерфейсами користувачів. Організація середовища здійснюється уніфікованими програмними комплексами, які називаються **мережними операційними системами**. Стандартами де-факто на сьогодні в цьому плані стали системи UNIX та Windows NT. Логічні компоненти комунікаційних функцій, які реалізуються програмно та забезпечують підтримання зв'язку між віддаленими об'єктами, також відносяться до функцій *базового ПЗ*.

До *базового ПЗ* відносяться і об'єкти обробки та зберігання даних, які реалізуються в таких програмних комплексах, як СКБД (системи керування базами даних), базове ПЗ сервера обробки транзакцій та ін.

Характер взаємодії між об'єктами визначається видом **об'єктного інтерфейсу**, який схожий на *протокол* та *функціональну еталонну точку*.

Розрізняють наступні види об'єктних інтерфейсів (програмних інтерфейсів):

- 1) **прикладний протокол (АР)** – логічний інтерфейс між прикладними об'єктами;
- 2) **інтерфейс прикладних програм (АРІ)** – логічний інтерфейс між прикладними об'єктами та об'єктами проміжного ПЗ, які підтримують прикладні об'єкти;
- 3) **протокол проміжного ПЗ (МР)** – логічний інтерфейс між об'єктами проміжного ПЗ;
- 4) **інтерфейс базових програм (ВРІ)** – логічний інтерфейс між об'єктами проміжного та базового ПЗ, які підтримують об'єкти проміжного ПЗ;
- 5) **інтерфейс людина-комп'ютер (МСІ)** – логічний інтерфейс між користувачем та, головним чином, об'єктами базового ПЗ, але він може включати в себе також логічний інтерфейс з об'єктами проміжного ПЗ і навіть об'єктами прикладень.

Мережне програмне забезпечення є ресурсом, який бере участь в організації платформ надання послуг і, виходячи з цього, композиційні принципи об'єднання програмних модулів підлягають такому ж динамізму, що й принципи побудови функціональної моделі мережі.

2.5 Протокольна модель

Протокольна модель описує правила роботи мережі на рівні взаємодії об'єктів та логічних модулів при реалізації основних процесів передавання та обробки інформації. В цій моделі всі правила (протоколи) взаємодії згруповані за їх функціональним призначенням в окремі групи – *протокольні блоки*. Протокольні блоки розміщуються в ієрархічній послідовності, і кожний з них є переліком протоколів взаємодії об'єктів деякого рівня (рис.2.18).



Рис.2.18. Принципи побудови протокольної моделі

При виконанні задачі N-рівня беруть участь N-об'єктів, які виконують локальний комплекс функцій даного рівня. Але протокольні блоки розділені за рівнями таким чином, що можливість виконання задачі N-рівня цілком залежить та забезпечується участю об'єктів (N-1)-го рівня і т.д. Таким чином, N-об'єкти є задіяними у взаємодію з (N-1)- об'єктами, (N-1)- об'єкти – з (N-2)- об'єктами і т.п. Кажуть, що кожний нижчий рівень надає *сервіс* вищим рівням.

Будь-який об'єкт N-рівня при переході до активного стану видає інформацію двох видів:

- 1) інформація, яка передається між N-об'єктами (дані користувача) та не пов'язана з операціями „з'єднання” цих об'єктів;
- 2) інформація управління, яка призначена для (N-1)- рівня, за допомогою якої здійснюється координація процедур „з'єднання” N-об'єктів.

Всі правила взаємодії об'єктів в протокольній моделі визначають стандарти для конкретної мережі і класифікуються як *протоколи* (стандарти взаємодії об'єктів одного рівня з іншим) та *інтерфейси* (стандарти взаємодії об'єктів сусідніх рівнів). Ці поняття нам вже знайомі за попередніми моделями.

Міжнародна організація стандартів ISO, аналізуючи досвід створення інформаційних мереж, особливо комп'ютерних мереж, в багатьох стандартах світу розробила концепцію побудови обчислювальних мереж, яка називається **архітектурою відкритих систем**. У відповідності з цією концепцією була створена *протокольна модель*, яка дозволила впровадити

міжнародні стандарти, що визначають та регламентують розробку таких систем та мереж. Ця модель отримала назву **еталонної моделі взаємодії відкритих систем (ВВС)**. Системи та мережі, які задовольняють вимогам та стандартам еталонної моделі ВВС, тобто стандартам *архітектури відкритих систем*, називають *відкритими*, а системи, які не відповідають цим вимогам, вважають *закритими*.

В моделі ВВС визначено сім рівнів (рис.2.19).

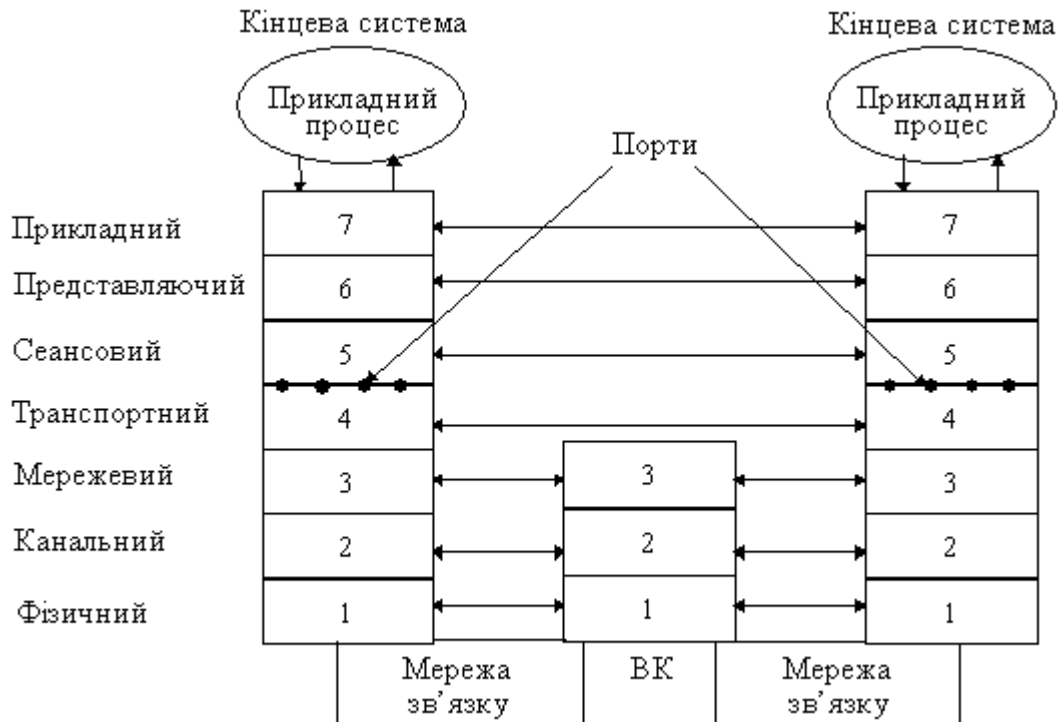


Рис.2.19. Еталонна модель ВВС

Найвищим, сьомим рівнем моделі ВВС є **прикладний** рівень, на якому здійснюється управління взаємодією прикладних процесів, що виконуються в термінальних системах користувачів та кінцевих системах мережі, з якими вони взаємодіють. Відповідно протокол взаємодії об'єктів сьомого рівня отримав назву *прикладного*.

На шостому рівні, **представницький**, виконується перекодування повідомлень, які надійшли з сьомого рівня, у той вигляд, в якому повинні бути представлені будь-які повідомлення, що передаються в даній мережі. Таким чином, мережа не робить ніяких обмежень на застосування різних видів ЕОМ в якості кінцевих систем. Тут можуть виконуватися функції стиснення даних, їх шифрування (засекречення).

П'ятий рівень моделі ВВС, **сеансовий**, призначений для відкриття сеансу зв'язку між віддаленими процесами користувачів. Відкриття сеансу зв'язку супроводжується присвоєнням умовних адресатів – номерів точок входу/виходу інформації, так названих *портів* кінцевих систем, які взаємодіють. З моменту зайняття портів повідомленню присвоюються номери вихідного та вхідного портів.

Четвертий, **транспортний** рівень, протокол якого називається *транспортним протоколом*, відповідає за метод транспортування повідомлення по мережі. Для мереж ЕОМ характерним є розподіл повідомлення на невеликі блоки, які оснащуються заголовками, що містять адресну та службову інформацію, та у вигляді таких *пакетів* запускаються в мережу. Тут здійснюється контроль правильності переданих пакетів в кожному ВК і, у випадку виявлення помилок, запит на повторне передавання пакету.

Мережний протокол, який виконується на третьому рівні, забезпечує вибір маршруту, по якому будуть прямувати пакети повідомлення. Тут можуть встановлюватися логічні з'єднання типу „точка-точка” та „точка-багато точок”.

Канальний, другий рівень, забезпечує запит фізичного з'єднання з сусіднім транзитним пунктом у вибраному на мережному рівні маршруті та організує необхідну послідовність передаваних пакетів. При цьому вони можуть групуватися по декілька штук, утворюючи структуру, яка називається *кадром*, або *фреймом*. Кадр, навіть якщо він включає всього один пакет, оснащується спеціальним заголовком та розмежувачами, які його охоплюють.

На першому, **фізичному** рівні, визначається поведінка сусідніх об'єктів при побітовому передаванні кадрів (фреймів) по лінії зв'язку (або, як прийнято говорити, визначається інтерфейс між терміналом та середовищем передавання).

Протоколи сьомого-четвертого рівнів визначають правила взаємодії між віддаленими об'єктами (тобто з кінця в кінець), а протоколи третього-першого рівнів – правила взаємодії сусідніх об'єктів мережі (наприклад, ВК-ВК), які з'єднані фізичною лінією зв'язку.

Три нижніх рівня разом з транспортним (четвертим) рівнем прийнято називати *транспортною мережею* (не плутати з транспортною мережею – сегментом телекомунікаційної мережі), тим самим підкреслюючи реалізацію саме цими протоколами функцій транспорту та керування, які описані в функціональній моделі.

На відміну від еталонної моделі ВВС, протокольні моделі визначених мереж допускають введення додаткових підрівнів, а також можуть включати не всі рівні. Але їх побудова основана на таких самих принципах.

2.6 Модель реалізації

Модель реалізації показує, які функції в якій апаратурі втілені, а також за допомогою яких протоколів реалізуються логічні інтерфейси між різними апаратними засобами (рис.2.20).

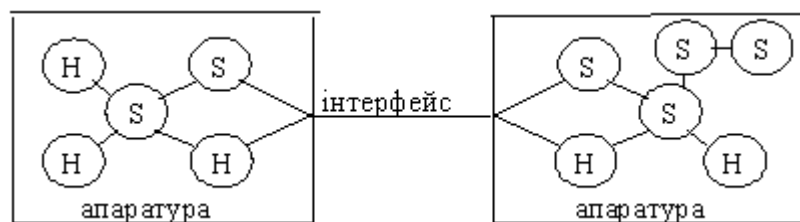


Рис. 2.20. Схема моделі реалізації:
 H – апаратне забезпечення (Hard ware),
 S – програмне забезпечення (Soft ware)

Така модель є основою взаємодії оператора мережі та постачальників обладнання та ПЗ. Вона також дозволяє визначити додаткові інтерфейси між обладнанням від різних постачальників та їх характеристики, які підлягають стандартизації.

Елементами моделі реалізації є:

- 1) **апаратура** (Equipment) – обладнання, в якому одна або декілька функцій реалізовані у вигляді *апаратного забезпечення* (Hard ware), що представляє собою єдине фізичне середовище. Апаратура може мати модульну конструкцію, тобто складатися з деякої кількості з'ємних плат. Крім того, вона може мати декілька функцій, які реалізовані у вигляді ПЗ;
- 2) **інтерфейс реалізації** (Implementation interface) – показує точки та протокольні специфікації між пристроями різного призначення або апаратурою та модулями ПЗ;
- 3) **модуль ПЗ** – відносно незалежна частина програми, яка представляє собою реалізацію однієї або декількох функцій виключно за допомогою *програмного забезпечення* (Soft ware);
- 4) **інтерфейс прикладних програм** (Application programming interface) – інтерфейс реалізації між програмними модулями, який немає фізичних компонент;
- 5) **фізичний інтерфейс** (Physical interface) – фізичне середовище для передавання сигналів між різною апаратурою;
- 6) **система** (System) – сукупність апаратних та програмних модулів, які функціонують як єдине ціле. Наприклад, *кінцева система, система передавання, система розподілу*;
- 7) **сегмент** (Segment) – одна або декілька систем, які виконують функції, що встановлені для сегменту в функціональній моделі. Прикладом можуть бути сегменти телекомунікаційної мережі, за допомогою яких об'єднуються кінцеві системи інформаційної мережі і які дозволяють функціям проміжного ПЗ та прикладним функціям, що зосереджені на різних системах, взаємодіяти.

Взаємодія сегментів та кінцевих систем в моделі реалізації відображається за допомогою *інтерфейсів*.

Міжсегментні інтерфейси, а також інтерфейс між кінцевою системою та сегментом є **фізичними телекомунікаційними інтерфейсами**, повна

специфікація яких включає також дані про фізичне середовище передавання сигналів.

Логічні інтерфейси взаємодії кінцевих систем між собою залишаються логічним видом інтерфейсу та реалізуються за допомогою протоколів, по відношенню до яких фізичні телекомунікаційні інтерфейси є *прозорими*. Прозорість інтерфейсів підтримується базовим ПЗ.

Оскільки сегмент знаходиться у власності та експлуатується одним оператором, він найчастіше реалізується із застосуванням єдиної телекомунікаційної технології на обладнанні одного постачальника. У зв'язку з цим, всі інтерфейси, які є *внутрішніми* по відношенню до сегменту, звичайно мають більш низький пріоритет в стандартизації, ніж *інтерфейси між сегментами*. Жорстка стандартизація міжсегментних інтерфейсів є вирішальним фактором у створенні Глобальної Інформаційної Інфраструктури ГІІ.

2.7 Фізична структура

Фізична структура відображає визначений склад апаратури, систем та інтерфейсних модулів (пристроїв), які використовуються в мережі та окремих сегментах.

В якості *кінцевих систем* інформаційної мережі можуть використовуватися наступні електронні пристрої: телефон, факс, персональний комп'ютер, мережний комп'ютер, процесор.

1) *Система передавання* (Transmission System) представляє собою сукупність технічних засобів, які дозволяють організувати канали зв'язку для проходження сигналів в *лінійному тракті передавання* (ЛТП). До таких технічних засобів відносяться: каналоутворювальна апаратура, яка встановлюється в пунктах мережі, безпосередньо з'єднаних лінією зв'язку; проміжне лінійне обладнання, яке встановлюється вздовж лінії (для провідних ліній це необслуговуємі регенераційні пункти, що реалізуються у колодязях, підвалах будівель і т.п., для РРЛ – модулі верхнього розміщення радіорелейних станцій сумісно з антенами, які встановлюються на дахах будівель, щоглах і т.п.), а також різні види пристроїв, що забезпечують стик каналоутворювального обладнання з комутаційними системами, контроль якості передавання, виявлення та корекція помилок та ін. В залежності від виду сигналів, які передаються в лінійному тракті, системи передавання поділяються на *аналогові* та *цифрові*.

2) *Система розподілу інформації* (Distribution System) представляє собою обладнання, що встановлюється у ВК та реалізує функції комутації та концентрації. Пристрої розподілу інформації та каналоутворювальна апаратура разом утворюють вузол комутації.

Два та більше лінійних трактів передавання інформації, які скомутовані послідовно один за одним за допомогою пристроїв розподілу інформації, представляють собою *з'єднувальний тракт передавання інформації* (ЗТПІ).

При створенні ЗТП між двома АП кажуть, що між ними скомутовано канал зв'язку. Можлива комутація і багатоканальних ліній зв'язку (широкосмугова комутація ліній).

Системи розподілу класифікуються у відповідності з двома основними принципами встановлення зв'язку: *безпосереднього зв'язку* та *непрямого зв'язку* (Store-and-forward) через запам'ятовуючий пристрій (ЗП) (рис.2.21).

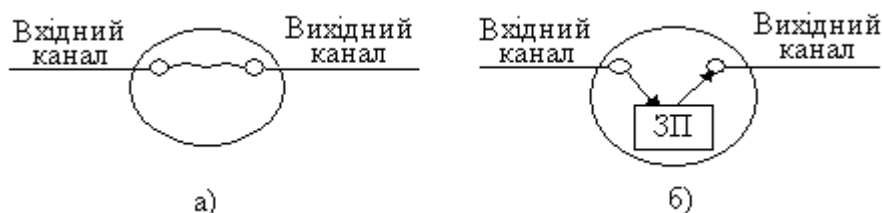


Рис. 2.21. Принципи організації зв'язку:
а – безпосередній зв'язок; б – непрямий зв'язок

В залежності від виду сигналів, які передаються по комутуємих каналах зв'язку, пристрої розподілу інформації, як і системи передавання, поділяються на *аналогові* та *цифрові*.

3) Система управління представляє собою доволі складну систему, яка забезпечує в цілому можливість функціонування мережі. Управління мережею ґрунтується на збиранні статистики проходження сигналів та неординарних або аварійних ситуаціях, які виникають, тестуванні (перевірці) стану елементів мережі. Ці функції неможливо здійснити без сигналізації про стани систем (виході з ладу систем передавання або систем комутації). Для передавання службових сигналів в системі управління використовуються спеціальні службові канали, які з'єднують пункти управління мережею та елементи мережі. Таким чином, система управління мережею відноситься до систем розподіленого виду та має свою мережну архітектуру. Основна концепція формування такої архітектури отримала назву *концепції TMN* (Telecommunication Management Network) – *мережі управління телекомунікаціями*.

Концепція TMN підтримує три рівня управління:

- I) *управління сервісом мережі* (забезпечення надання користувачам необхідних послуг з гарантованою якістю);
- II) *управління мережею в цілому* (управління топологією, здійснення маршрутизації потоків інформації в мережі, управління навантаженням, яке надійшло до мережі, запобігання перенавантажень);
- III) *управління елементами мережі* (контроль стану та управління обладнанням ліній зв'язку та вузлових пунктів, сучасне переключення на резервне обладнання при виявленні аварійної ситуації).

Різновид апаратури, середовищ передавання, телекомунікаційних технологій обумовлює велику кількість можливих реалізацій сегментів мережі та інтерфейсів між ними.

Особливо, в якості *сегментів мережі доступу* можуть бути використані: мережа доступу на основі мідного кабелю (комутуєма телефонна мережа загального користування КТМЗК, цифрова мережа інтегрального обслуговування ISDN); мережа доступу на основі мідних провідників з використанням технології DSL „Цифрова абонентська лінія”, яка надає можливість високошвидкісного передавання даних; мережа кабельного телебачення; мережа доступу на основі оптичного волокна; пасивний оптичний контур; мережа доступу з застосуванням радіозв’язку на абонентському шлейфі (RITL); цифрова мобільна мережа доступу (наприклад, GSM); мережа наземного доступу з використанням геостационарних супутників (наприклад, Інмарсат); середньоорбітальні та низькоорбітальні супутникові мережі доступу.

Прикладами *сегментів мережі міжвузлового зв’язку* є: КТМЗК або ISDN; мережа передавання даних з комутацією пакетів PSTN (технологія X.25); мережа з ретрансляцією кадрів (технологія Frame Relay); мережа Internet; мережа арендованих каналів.

В якості *сегментів опорної мережі* використовуються транспортні мережі з застосуванням технологій високошвидкісного передавання цифрових потоків (синхронні цифрові мережі SDH).

Інтерфейсні функції реалізуються в таких пристроях, як *мережні адаптори, коннектори*.

Фізично реалізуєма частина протоколів також може бути виконана у вигляді пристроїв. Так, наприклад, протоколи другого рівня еталонної моделі ВВС в основному реалізуються в таких пристроях, як *концентратори, комутатори*. З протоколами третього рівня еталонної моделі ВВС працює пристрій, який називається *маршрутизатором*. Це багатофункціональний пристрій, який здатний розрізняти протоколи мережного рівня та приймати інтелектуальні рішення при виборі шляху передавання інформації, а також забезпечувати економічний доступ до територіальних мереж, які побудовані на основі різних технологій.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМООЦІНКИ РІВНЯ ЗНАТЬ

1. Які види топологій застосовуються на мережах зв’язку?
2. Що відображає організаційна структура мережі зв’язку?
3. Характеристики елементів мережі?
4. Які функції виконують вузлові пункти мереж зв’язку?
5. Які існують види ліній зв’язку?
6. У чому полягають принципи організації локальних мереж зв’язку (LAN)?
7. Принципи організації місцевих мереж зв’язку (MAN)?
8. Принципи організації глобальних мереж зв’язку (WAN)?
9. Що представляє собою функціональна модель мережі зв’язку?
10. Основні види функцій мережі зв’язку?
11. Ієрархія програмного забезпечення (ПЗ) мережі зв’язку.

12. Призначення рівнів еталонної моделі взаємодії відкритих систем (BBC)?
13. Що відноситься до елементів моделі реалізації мережі зв'язку?
14. Які рівні управління підтримує концепція TMN?

3 ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ

3.1. Мережний сервіс

Англomовний термін „Service” у перекладній технічній літературі часто перекладається як „послуга”, „служба”, „обслуговування” та „сервіс”. Але, рекомендується все таки розрізняти ці поняття, розуміючи під службою деяку мережну компоненту, яка реалізує послуги або набір послуг, що надаються даною службою.

Обслуговування користувачів з боку інформаційної мережі здійснюється шляхом надання *послуг та прикладень*.

Послуга (Service) – це те, що пропонується мережею користувачу з метою задоволення його комунікаційних вимог. Послуга характеризується однократним споживанням та вартістю, яка залежить від її типу та якості. Відправлення інформаційного повідомлення по електронній пошті, сеанс телефонного зв'язку, передавання телексного або факсимільного повідомлення є прикладами послуг зв'язку.

Прикладення (Application) подібне до поняття послуги, але, на відміну від останньої, *надається користувачу у вигляді кінцевого продукту, який може використовуватися багато разів*. Наприклад, придбання компакт-диску з курсом навчання, спеціального пакета програм, які необхідні для реалізації послуг мультимедіа з їх інсталяцією на ввімкненому в мережу комп'ютері, є прикладами купівлі прикладень.

Послуги традиційно надавалися індустрією електрозв'язку, в той час як бурхливо розвинута індустрія інформаційних технологій початково стала надавати прикладення.

Ефективність обслуговування користувачів мережею характеризується шириною спектру наданих послуг та прикладень, а також ступінню легкості та швидкості доступу до інформації. Всіх користувачів можна розділити на три категорії, кожна з яких представляє свій власний набір вимог до мережі: люди на робочому місці на підприємстві, люди вдома та люди в дорозі.

На підприємстві із усіх видів послуг, які найбільш використовуються, є послуги телефонії, які доповнені секретарськими послугами (наприклад, накопичення інформації про виклики, які надійшли, повідомлення про номер викликаючого абонента і т.д.), послуги аудіо- і відеоконференц-зв'язку, голосової пошти, а також послуги, які пов'язані з передаванням текстів, даних, факсимільних повідомлень.

Вимоги до послуг зв'язку у домашньому господарстві надаються не в такому обсязі, як на підприємстві, але все таки досить чітко та обумовлені наступними факторами.

Збільшується кількість приватних ділових заходів (взаємодія з банком, страховою компанією, придбання товарів), зростає вільний час, зростає вимога до безпеки. До найбільш використовуваних у побуті відносяться такі послуги та прикладення, як відео по запити, послуги індустрії розваг (ігри, музикальні шоу), освіти, телефонії, електронної пошти, надання інформації по запити, дистанційне керування і контроль комунальних систем та домашньої апаратури, повідомлення про небезпеку, аварійні виклики. Останнім часом виник також інтерес до послуг мультимедіа (одночасного передавання зображення, звуку та даних).

Рухомі абоненти використовують в основному послуги телефонії, але важливе значення має і отримання інформації по запити (наприклад, про стан дорожнього руху, карти та плану міста для орієнтації, можливих місць паркування транспорту і т.д.).

Для надання послуг користувачам організуються спеціальні мережні служби.

Службою мережі називається комплекс апаратних програмних та організаційних засобів, який реалізує конкретний вид послуг.

У ранньому періоді розвитку зв'язку, для надання користувачам традиційних комунікаційних послуг визначеного типу та забезпечення необхідної для цього форми зв'язку, будувалися окремі, спеціально для цього визначені мережі. Прикладами таких мереж є комутаційна телефонна мережа загального користування (КТМЗК), телеграфна мережа загального користування (ТгЗК), загальнодержавна мережа передавання даних (мережа ПД), мережа факсимільного зв'язку, мережа передавання програм телевізійного мовлення і т.д. На цьому етапі поняття служби по суті ідентифікувалося з призначенням та типом мережі.

З появою так названих *телематичних служб* поняття служби набуває більш конкретного та самостійного змісту.

Телематичні служби є прикладом *розширення спектру послуг на основі існуючих мереж*. До таких служб відносяться: *телефакс* (використання каналів телефонної мережі для факсимільного способу передавання повідомлення), *датафакс* (використання каналів мережі передавання даних для факсимільного способу передавання), *телекс* (об'єднання можливостей конторської друкуючої машинки з передаванням текстових повідомлень по каналам мереж електрозв'язку), *відеотекс* (інформаційно-довідкова служба, яка обслуговує запити користувачів на інформацію із банків даних), *телетекст* (додаток TV програм інформацією, яка передається під час зворотнього ходу променя кадрового розгортання телевізійного сигналу). Організація телематичної служби пов'язана з вибором деякої платформи надання послуг, яка використовує ресурси, як правило, уже існуючих мереж.

Платформою надання послуг називається *сукупність об'єднаних ресурсів мережі, які приймають участь у виробництві та наданні послуг.*

Під час формування платформи надання послуг можуть бути задіяні ресурси мереж загального користування та приватних мереж. Юридична особа (державна структура або приватна компанія), яка є власником мережі, забезпечує її експлуатацію та необхідний рівень показників її працездатності, називається **оператором мережі**.

Під час організації платформи послуг можуть бути використані ресурси мереж декількох операторів, які уклали між собою комерційні угоди. Крім того, мережні ресурси, що належать одному і тому ж оператору, можуть бути задіяні у різних платформах надання послуг.

Організація надання визначених послуг може здійснюватися приватною компанією, яка не є власником мережі, що формує платформу надання послуг шляхом аренди мережних ресурсів (наприклад, виділених каналів зв'язку) в операторів мережі. Така компанія також є юридичною особою, з якою користувач встановлює комерційну угоду на надання послуг та прикладень, і називається **провайдером** (Service Provider), або **постачальником послуг**. Прикладом є Internet провайдери на Україні. Провайдери, на відміну від операторів мережі, більш гнучко реагують на кон'юнктуру ринку послуг зв'язку.

На етапі цивілізації мереж електрозв'язку з'явилася можливість надання різних послуг на основі єдиної інтегрованої мережі, як загального телекомунікаційного середовища для передавання будь-яких інформаційних повідомлень, представлених у цифровому коді. Це сприяло інтеграції і самих служб, і, як результат, – появі *цифрових мереж з інтеграцією служб ISDN* (Integration Service Digital Network).

З точки зору користувача, послуги в інтегральній мережі можна класифікувати наступним чином:

- **телекомунікаційні послуги** (телефонія, передавання даних, телефакс, телетекст, аудіо- і відеоконференц-зв'язок);
- **інформаційні послуги** (відеотекст, відео по запиту, телетекст);
- **послуги розваг** (надання продукції індустрії розваг);
- **послуги, які ґрунтуються на інформації** (придбання товарів на будинку, коли по запиту користувача організується доставка товару в будинок).

Необхідно зазначити, що послуги, які надаються користувачам мережі, можуть пропонуватися їм в *ординарній формі* (із стандартним набором функцій) або з *розширеним набором функцій*, який забезпечує підвищення їх якості та зручності зв'язку, наприклад, скорочений набір номера для викликаємих абонентів, повідомлення про надходження виклику з індикацією, переадресація виклику, переведення оплати (або її частини) за послуги викликаємому абоненту, вказування дати та часу під час встановлення з'єднання, виявлення абонентів, які здійснюють злонамісні виклики і т.д.

Розширення функцій наданих послуг забезпечується організацією в мережі так названих **додаткових видів обслуговування (ДВО)**. ДВО використовуються лише при відповідній заявці користувача та можуть бути різноманітними для різних груп абонентів. Розподіл видів обслуговування на основні та додаткові дозволяє організувати новий принцип надання послуг користувачам, при якому послуга основного виду може доповнюватися одним або декількома ДВО, в залежності від запиту користувача. Реалізація ДВО в мережі у вигляді виділеного налаштування отримала назву *інтелектуалізації мережі*, оскільки при цьому передбачається широке використання елементів штучного інтелекту у вигляді експертних систем, синтезаторів та розпізнавачів мови і т.д. Необхідно зазначити, що технологія інтелектуальної мережі IN (Intelligent Network) може бути реалізована на основі будь-якої мережі, але найбільший ефект вона дає при використанні в якості технічної основи ISDN.

Концепція інтелектуальної мережі IN передбачає великий динамізм спектру наданих послуг, при якому стає вже доцільно класифікувати окремі компоненти послуг та прикладень, які дозволяють компонувати будь-який вид послуги по запиту користувача із вказаних компонентів як *незалежних* від виду обслуговування та один від одного *функціональних блоків SIB* (Service Independent Block).

Поява інтегральної мережі ISDN вимагає проведення великих робіт по стандартизації та міжнародним угодам. Міжнародні рекомендації в цій області розроблюються Сектором по стандартизації телекомунікацій Міжнародного Союзу Електрозв'язку МСЕ-Е (ITU-T), який раніше називався Міжнародним Консультативним Комітетом по Телеграфії та Телефонії МККТТ (CCITT). МККТТ рекомендував класифікувати служби в інтегрованій мережі на дві групи, які не залежать від форм зв'язку, беручи за основу ступінь повноти охоплення стандартизацією функцій служб: *служби передавання та телеслужби*.

Служби передавання забезпечують транспортування інформації з дотриманням встановлених правил лише між опорними точками інтегральної мережі (точками підключення абонентів) та не несуть відповідальності за сумісність функцій зв'язку кінцевих пристроїв користувачів. Відповідальність в даному випадку цілком полягає на користувачів, які придбали дані пристрої.

Телеслужби призначені для організації зв'язку користувач-користувач з підтриманням функцій кінцевих пристроїв, забезпечуючи їх сумісність. Телефонія, телетекс, телефакс, відеотекс є прикладами телеслужб в розглянутій класифікації.

Існує ще одна класифікація служб, яка не залежить від форми зв'язку та функцій кінцевих пристроїв. МККТТ виділяє в цьому зв'язку дві категорії служб: *інтерактивні* і *дистрибутивні* (з розгалуженим режимом роботи або повідомленням) служб.

Інтерактивні служби охоплюють наступні класи служб: *діалогові служби, служби з накопиченням та служби по запити*.

Діалогові служби забезпечують двосторонній обмін інформацією у реальному масштабі часу (без проміжного накопичення) між користувачами або між користувачем та ЕОМ. В діалоговому режимі можуть надаватися послуги і при необхідності телефонії, телекса, телефакса, передавання даних.

Служби з накопиченням призначаються для непрямого зв'язку між користувачами за допомогою проміжного зберігання інформаційних повідомлень. Проміжне зберігання виконується в центральних пристроях мережі, так названих електронних поштових скриньках, з яких повідомлення можуть добуватися адресатами або автоматично передаватися мережею абоненту відповідно з його умовами, наприклад, під час дії пільгових тарифів. Служби з накопиченням можуть використовуватися під час передавання аудіо-, відеоповідомлень, текста, даних, що передаються в режимі *електронної пошти*.

У зв'язку з цим з'явилися назви „голосова пошта”, „відеопошта” і т.п.

Служби по запити надають можливість користувачу отримувати інформацію з банків даних. Прикладом є надання послуг відеотекста та його різновидів.

Дистрибутивні служби забезпечують розподіл повідомлень від одного центрального джерела інформації до необмеженої кількості абонентів, які мають право на прийом. За допомогою цих служб реалізується робота засобів масової комунікації або масмедіа, як зараз прийнято називати. Користувач може приймати потік повідомлень в будь-який проміжок часу, але він не може впливати на його проходження і на його вміст. Класичними прикладами надання таких послуг є звукове та телевізійне повідомлення, телетекст, але не виключається можливість застосування цього режиму і для інших видів повідомлень, наприклад, факсимільних, даних.

Інтерактивні та дистрибутивні служби, в залежності від вимог на сумісність, можуть пропонуватися Адміністраціями та операторами мережі як телеслужби і як служби передавання.

Пізніше ІТУ-Т вводить новий термін „*сервіс*” або „*телекомунікаційний сервіс*”, який раніше не використовувався для спеціалізованих мереж, під яким розуміють задоволення з боку мережі специфічних вимог користувачів до зв'язку. Фактично **сервіс** – деяке узагальнене поняття, яке охоплює як різні послуги (особливо додаткові види обслуговування), так і забезпечення будь-яких видів зв'язку з наданням каналів, різних за швидкостями, по середовищу передавання (проводові, безпроводові) та принципу надання користувачу (на час передавання або аренди, на тривалий час) і т.д.

Для сервісу визначені також два різновиди: *опорний сервіс* (Bearer Service) та *телесервіс* (Teleservice), які аналогічні функціям служб передавання та телеслужб, відповідно розвиваючи та доповнюючи їх.

Подальший розвиток мереж ISDN з переходом на оптоволоконне середовище з застосуванням технологій високошвидкісного передавання

цифрових потоків забезпечило інтеграцію більш широкого спектру видів зв'язку, включаючи кабельне телебачення. Для широкосмугових видів сервісу Рекомендаціями ІТУ-Т передбачено чотири класи сервісу (А, В, С, D). Найбільш жорсткі вимоги з передавання інформації відносяться до класу А. В цьому класі повинна бути забезпечена постійна швидкість передавання, що необхідно, наприклад, для телефонії, телебачення. Якщо ж при передаванні відеоінформації або даних в інтерактивному режимі можна допустити змінну швидкість передавання без втрати допустимої якості, може бути запропонований клас В. Класи С та D в першу чергу можуть використовуватися при передаванні інформації в режимі електронної пошти. Клас D характерний для зв'язку локальних обчислювальних мереж (ЛОМ).

Всі широкосмугові види сервісу розподіляються на інтерактивні та дистрибутивні режими обслуговування.

Широкосмугова інтегрована мережа, яка забезпечує всі види сервісу, отримала назву **мультисервісної мережі**. Ресурси такої мережі являють собою єдину мультисервісну платформу (Multiservice Platform) надання всіх можливих послуг та прикладень користувачам.

3.2 Характеристика трафіку різних служб та прикладень

Трафік інформаційних мереж характеризується одиницею даних, наприклад, біт, байт, блок та способом пакування для транспортування по мережі. Дані пакуються у файли, пакети, кадри, комірки та можуть передаватися зовсім без пакування (поток біт).

Типовими видами та обсягами трафіку в інформаційних мережах можна вважати:

- текстовий файл – 30 Кбайт;
- електронна таблиця – 250 Кбайт;
- рисунок – 1 Мбайт;
- графічний файл CAD/CAM – 10 Мбайт;
- стиснуте відео – 100 Мбайт.

Мережними характеристиками трафіку є:

- вибуховість;
- витримка до затримок;
- необхідна пропускна спроможність.

Ці характеристики суттєво визначають характер роботи прикладень в мережі.

Вибуховість характеризує темп посилення порцій трафіку у мережу на протязі періоду спостереження. Чим нерегулярніше надходять порції інформації до мережі, тим вибуховість вище. Якщо ж порції надходять регулярно (в одному темпі), показник вибуховості дорівнює нулю. Такий потік називається **ізохронним**.

Вибуховість оцінюється відношенням пікового значення трафіку до середнього за період спостереження.

Витримка до затримок характеризує реакцію прикладень на всі види затримок у мережі.

Можна умовно розділити трафік на три категорії, які відрізняються одна від одної вимогами до затримки:

1. Трафік реального часу – аудіо та відео. Вимога до затримки не перевищує 0.1сек, включаючи час на обробку на кінцевій станції. Крім того, затримка повинна мати незначні коливання в часі, малий джитер (ефект „тремтіння” до нуля). Трафік даної категорії особливо чутливий до похибок передавання при стисканні. Низькоякісні аудіо припускає затримки 0.1 ~ 0.15с, для відео – 30мс.
2. Трафік транзакцій – припускає затримки до 0.1с. Робота користувача в режимі запит-відповідь при великих затримках знижує продуктивність праці, так як користувач вимушений переривати роботу для очікування відповіді. Розбіжності у значеннях затримки призводять до дискомфорту в роботі. У деяких випадках велика затримка призводить до збоїв сесії та відновлення її з початку.
3. Трафік даних – працює з будь-якою затримкою аж до декількох секунд. Величина затримки залежить від смуги пропускання.

3.3 Формування бітового потоку відеотрафіку

Картинка потрапляє до відео ЗП або з екрану монітора (Рис.3.1), або зі сканера, або формується програмно у вигляді дисплейного файлу (ДФ), який містить команди та координати точок.

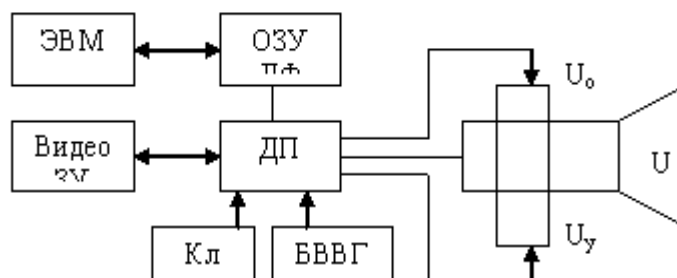


Рис.3.1. Формування бітового потоку відеотрафіку

Картинка запам'ятовується у відео ЗП у вигляді композиції точок (піксел). Кожній точці на екрані відповідає визначена точка – растровий елемент. Зображення формується шляхом синхронного опитування комірок відео ЗП та переміщення променю по рядкам екрану.

Дисплейний процесор (ДП) виконує наступні функції: перетворення дисплейного файлу з ОЗП; обчислення пікселів за інформацією, яка записана в дисплейних командах; запис пікселів до відео ЗП; формування циклу регенерації інформації із відео ЗП на екран з заданою частотою.

У випадках, коли оператор виконує редагування зображення (обертання, масштабування), ДП з високою швидкістю виконує перерозрахунок координат всіх пікселів та регенерацію екрану.

Для створення тонового чорно-білого зображення відео ЗП має декілька площин, кількість яких визначається градацією чорно-білого тону, тобто розрядністю пікселу n . Розрядність пікселу n та кількість градацій L пов'язані відношенням:

$$n = \log_2 L.$$

Зрахований з відео ЗП код перетворюється у напругу, яка відповідає необхідному рівню інтенсивності тону.

Кольорові зображення можуть бути отримані двома способами.

1. У комірках відео ЗП міститься три поля R, G, B, де записуються двійкові коди кожного кольору.

2. Використовується спеціальна таблиця кольорів, а кожний піксель містить адресу таблиці кольорів. При цьому можна змінювати розфарбування зображення, не змінюючи сам рисунок. Розрядність пікселя відео ЗП в цьому випадку визначається ємністю таблиці кольорів.

3.4. Формування потоку мовного графіку

Мовний сигнал за природою є аналоговим і для передавання в інформаційній мережі перетворюється у цифрову форму.

Відомо, що основна смуга частот мовного сигналу була оптимізована за індексом артикуляції (прийнятому 0.7), що відповідає рівню розбірливості слів 85-90% та складає 3100 Гц. Ця смуга розміщується в діапазоні 0.3-3.4 кГц та відповідає стандартизованій смузі каналу тональної частоти (ТЧ). Враховуючи, що вказана смуга повинна фільтруватися реальним аналоговим смуговим фільтром, що має кінцеву крутизну спадання частотної характеристики у перехідній смузі, запропоновано використовувати смугу 4 кГц в якості розрахункової ширини смуги стандартного каналу тональної частоти, що забезпечує захисну смугу між двома сусідніми каналами 900 Гц.

Перетворення мовного сигналу в цифрову форму здійснюється на основі імпульсно-кодової модуляції (ІКМ).

Схема цього перетворення включає наступні кроки (рис. 3.2).

1. **Дискретизація** аналогового сигналу. У відповідності з теоремою Котельникова, частота дискретного аналогового сигналу, яка забезпечує його відновлення без спотворень, дорівнює подвійній максимальній частоті спектру сигналу. Виходячи з верхньої межі діапазону мовного сигналу, частота дискретизації: $F_D = 2 \times 4 \text{ кГц} = 8 \text{ кГц}$, що відповідає періоду дискретизації: $T_D = 1/8 = 125 \text{ мкс}$.

2. **Квантування** амплітуд дискретних відліків сигналу за рівнем, тобто поділ миттєвої амплітуди на деяку кількість рівнів (рівнів квантування). Для якісного передавання розмови приймається 256 рівнів квантування.

В якості величини амплітуди дискретного відліку мовного сигналу вибирається найближчий до її значення рівень квантування. Різниця між значеннями амплітуди сигналу та найближчим рівнем квантування визначає похибку перетворення мовного сигналу в цифрову форму та називається *похибкою квантування* Δ .

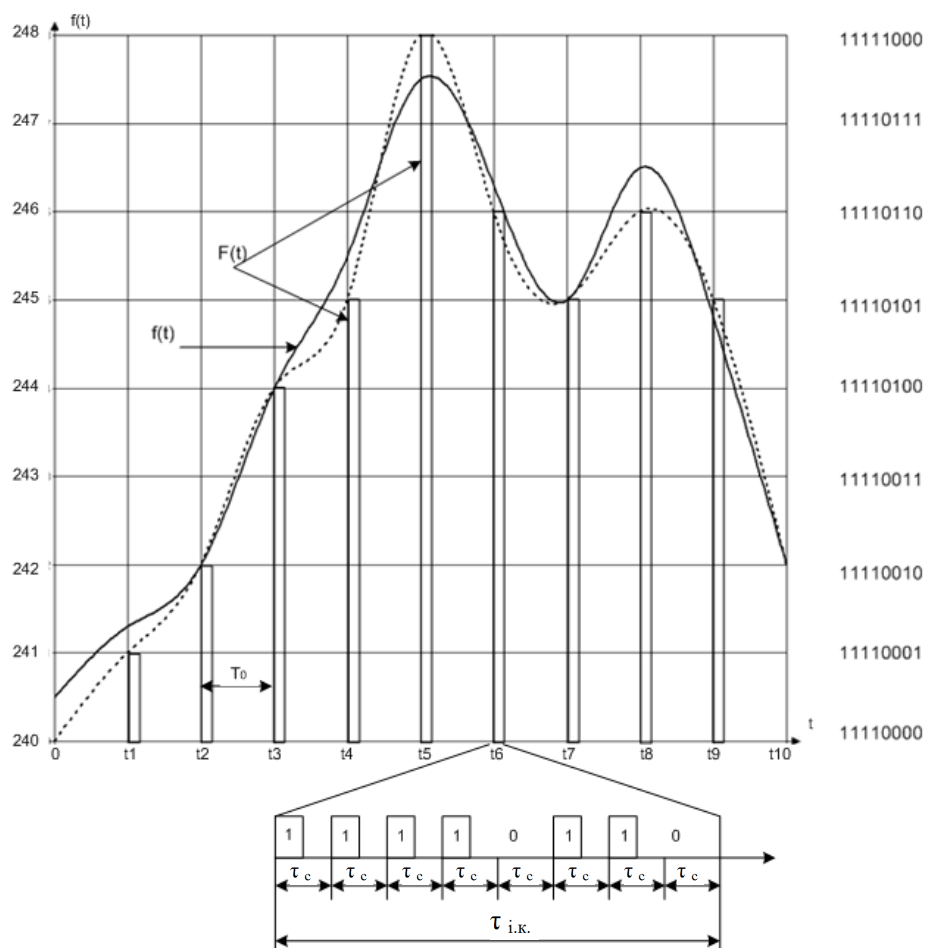


Рис.3.2. Перетворення безперервного сигналу в ІКМ сигнал

3. **Кодування** квантованих амплітуд дискретних відліків мовного сигналу. Якщо рівень квантування представити у двійковому коді, то процес кодування зводиться до вибору номеру найближчого до значення дискретної амплітуди сигналу рівня квантування. Номер рівня квантування у двійковому коді i передається в лінію. Кількість позицій двійкового коду цифрового номеру квантування дорівнює 8 (один байт), що забезпечує можливість закодувати номер самого верхнього рівня квантування $255 \rightarrow 11111111$.

Кодова комбінація, яка відповідає одному дискретному відліку амплітуди мовного сигналу, називається **вибіркою**. Враховуючи, що вибірки мовного сигналу надходять до лінії з частотою 8 кГц послідовно одна за одну, отримуємо цифровий потік зі швидкістю $C = 8 \text{ біт} \times 8 \text{ кГц} = 64 \text{ кбіт/с}$. Швидкість 64 кбіт/с визначена Міжнародним Союзом Електрозв'язку (ITU-T, секція телекомунікації T) в якості швидкості основного цифрового каналу,

який ще називається потоком нульового рівня DSO (Digital Service/Signal of Level 0).

Імпульсно-кодова модуляція є основою побудови цифрових систем передавання (ЦСП). Існує декілька реалізацій цифрових систем, які визнані в якості стандартних:

- ІКМ – 30/32 (СНГ) – 30-канальна;
- СЕРТ (Європа) – 30-канальна;
- Bell D1 (США) – 24-канальна;
- D2 (Bell, США) – 24-канальна;
- U.K. (Англія) – 24-канальна.

Принцип побудови ЦСП показано на рис.3.3, де К– електронні ключі, що забезпечують дискретизацію безперервних інформаційних сигналів, КП – керувальні пристрої, що керують станом (замкнено, розімкнено) ключів, КодП – кодувальний пристрій, в якому груповий сигнал зазнає квантування й кодування, ДкодП - декодувальний пристрій, що перетворює ІКМ сигнал в груповий амплітудно-імпульсний (АІМ) сигнал.

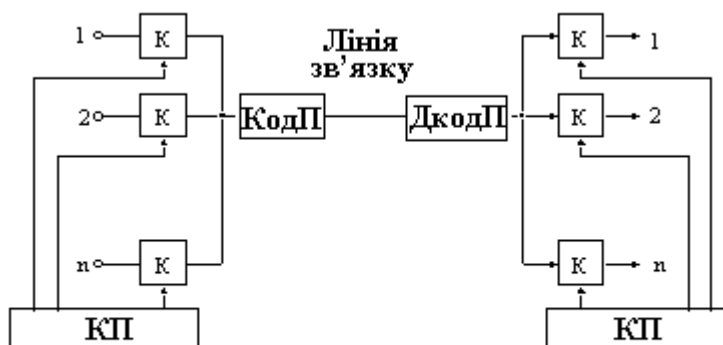


Рис.3.3. Структурна схема ЦСП

Функціонування такої системи пов'язано з розбиттям часу передавання на цикли повторень, тривалістю T_d . Кожний цикл, в свою чергу, розбивається на тайм-слоти, кількість яких дорівнює кількості каналів, що організуються в лінії.

Розглянемо структуру (формат) багатоканального сигналу, який отриманий на виході 30-канальної ЦСП.

Апаратура ІКМ-30/32 утворює в лінії 32 цифрових каналів, з яких 30 призначені для передавання інформаційних сигналів, один – для синхронізації та один – для сигналізації (передавання службових сигналів перед сеансом зв'язку).

Тривалість циклу T_c в ІКМ-30/32 відповідає періоду дискретизації $T_d = 125$ мкс. Для того, щоб на протязі цього часу передати 32 цифрових потоки зі швидкостями 64 кбіт/с кожний, в лінії зв'язку необхідно забезпечити швидкість:

$$C_d = 64 \text{ кбіт/с} \times 32 = 2048 \text{ кбіт/с.}$$

Тривалість тайм-слота при цьому:

$$\tau = 125 \text{ мкс} / 32 = 3.90625 \text{ мкс.}$$

На протязі цього часу послідовно в кожному з 32-х часових каналів передається 1 байт. На протязі циклу $T_{\text{ц}}$ передається відповідно: 8 біт x 32 = 256 біт = 32 байт. Формат сигналу в 256 біт зображено на рис. 3.4,а. Він називається **кадром** або **фреймом**.

Приклад побудови тайм-слот в ІКМ–30/32, який має у двійковому коді 37,137 та 237 рівнів квантування, представлено на рис.3.4,б.

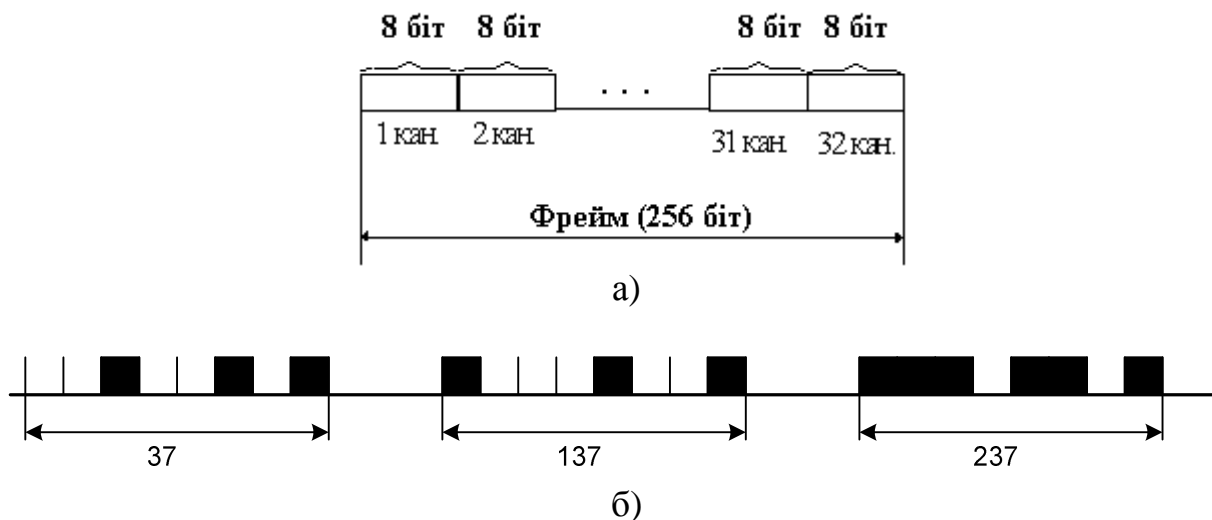


Рис.3.4. Формат лінійного сигналу ІКМ-30/32 (а); тайм-слоти з рівнями квантування 37,137 та 237 (б)

Кількість біт, яка відповідає визначеному каналу (тайм-слоту) в загальному форматі фрейму, називається **полем** або **нібл** (nibble). Положення кожного поля жорстко фіксоване в структурі фрейму. Це досягається застосуванням в ЦСП синхронізації. Синхронізація здійснюється передаванням спеціального синхросигналу (наприклад, 11111111) по каналу синхронізації (наприклад, 31-му). Оскільки сигнал синхронізації в даному випадку передається по зовнішньому (по відношенню до інформаційних) каналу, кажуть, що виконується ідеальне мультиплексування.

Функціональна схема системи ІКМ-30 зображена на рис.3.4,б.

Система є чотирьохпроводовою, забезпечує двохсторонній обмін інформацією одночасно 30 пар джерел по загальній ущільненій з'єднувальній лінії і складається з двох однакових напівкомплектів (станцій), що ввімкнені в цю лінію.

Кожний напівкомплект містить чотирьохпроводове загальне коло (ЗК), що складається із двох шин: передачі (ПРД) і прийому (ПРМ). До ЗК з одної сторони через елементи індивідуального обладнання підключаються 30 джерел інформації, наприклад телефонних апаратів. На рисунку показані елементи індивідуального обладнання тільки для одного джерела. До них відноситься стандартна диференційна схема ДС, два електронних ключа ЕКл1 та ЕКл2, фільтр нижніх частот ФНЧ та підсилювач низької частоти ПНЧ. С другої сторони до ЗК підключені групові пристрої: кодер в напрямку передачі і декодер в напрямку прийому. Через групові пристрої

напівкомплекти систем передачі з ІКМ підключаються до з'єднувальної лінії системи передачі (ЗЛСП).

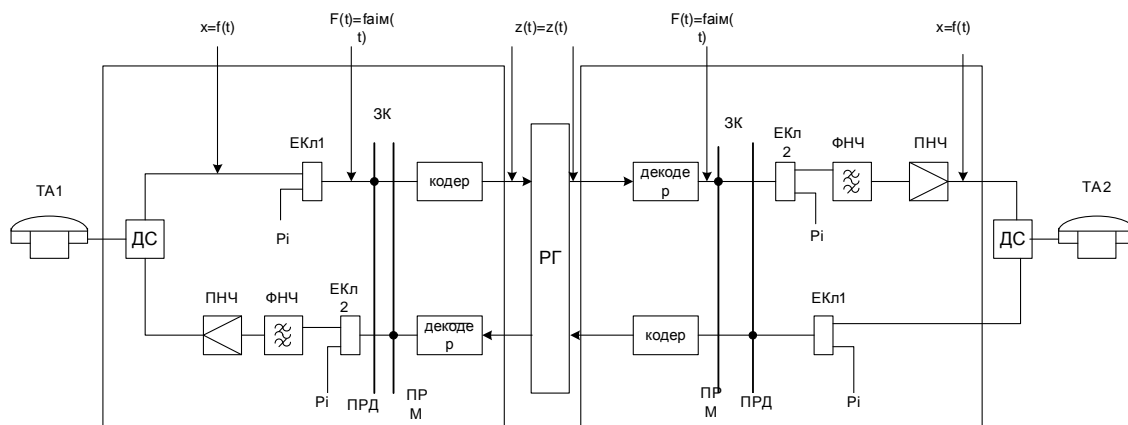


Рис.3.4,б. Функціональна схема системи ІКМ-30/32

Кожний напівкомплект містить також генераторне обладнання ГО (на схемі не показано), що виробляє 32 управляючі імпульсні послідовності, які визначають часові інтервали 32 імпульсних каналів. 30 імпульсних каналів використовуються для передачі мовної інформації, а 2 – для спеціальних цілей.

Для утворення розмовного тракту між двома телефонними апаратами ТА1 і ТА2 необхідно використати одну із управляючих імпульсних послідовностей P_i , $i = \overline{1,30}$. Управляючі імпульси, що подаються на управляючі входи електронних ключів ЕКл1 та ЕКл2 в обох напівкомплектах системи передачі з ІКМ, будуть періодично відкривати та закривати ці ключі.

Процес передачі інформації від ТА1 до ТА2 зводиться до наступного. Розмовний (аналоговий сигнал) $x = f(t)$ по абонентській лінії через ДС поступає на вхід ЕКл1, який періодично відкривається управляючими імпульсами послідовності P_i . Ключ ЕКл1 виконує функцію амплітудно-імпульсного модулятора. Тому на виході ЕКл1, а значить на шині ПРД ЗК з'являються дискретні значення аналогового сигналу у вигляді АІМ сигналів $F(t) = f_{AIM}(t)$. Далі ці сигнали поступають в спеціальний пристрій – кодер, в якому вони квантуються і утворюються кодові групи ІКМ сигналів. В кодері відбувається також об'єднання кодованих сигналів, що поступають від усіх джерел, підключених до ЗК, в один груповий сигнал $z(t)$. В такому вигляді інформація передається по тракту передачі ЗЛСП в другий напівкомплект системи передачі з ІКМ. В ньому з допомогою декодера ІКМ сигнали декодуються окремо в кожному каналному інтервалі, в результаті чого на шині ПРМ ЗК з'являються відновлені АІМ сигнали $F(t) = f_{AIM}(t)$. Ключ ЕКл2 на стороні прийому, що включається синхронно з ЕКл1 на стороні передачі імпульсами управляючої послідовності P_i забезпечує

селекцію дискретів початкового аналогового сигналу від ТА1. Далі АІМ сигнали пропускаються через ФНЧ, де відбувається виділення низькочастотної складової. Тому на виході ФНЧ, що виконує роль демодулятора, з'являється аналоговий сигнал $x = f(t)$. Цей сигнал після підсилення в ПНЧ через ДС приймається в ТА2.

Передача інформації в зворотному напрямку (від ТА2 до ТА1) відбувається аналогічно. Сигнали ІКМ, що передаються по тракту ЗЛСП піддаються затуханню, тому на лініях значної протяжності необхідно періодично відновлювати амплітуди імпульсних кодових груп. З цією метою з'єднувальні лінії обладнуються регенераторами РГ. Використання регенераторів дозволяє передавати ІКМ сигнали по лініям практично необмеженої довжини. Завадостійкість ІКМ сигналів обумовлена тим, що амплітудні спотворення не впливають на процес розпізнавання кодових груп. В пункті прийому ІКМ сигналів розпізнавання приводиться лише до визначення наявності або відсутності імпульсів незалежно від їх форми.

3.5. Формування цифрового потоку даних

Під час часового мультиплексування потоків даних на входи мультиплексора надходять n двійкових потоків даних, походження яких не пов'язане з формуванням вибірок для відліків амплітуд неперервних сигналів. Тому із вхідних каналів можна вибрати будь-яку логічно обдуману послідовність біт в якості вибірок сигналів при формуванні фрейму. Такий процес формування вибірок називається **інтерлівінгом** (interleaving).

Розрізняють наступні види інтерлівінга:

- **біт-інтерлівінг** (чередування бітів по одному з кожного каналу);
- **байт-інтерлівінг** (чередування байтів по одному з кожного каналу);
- **символьний інтерлівінг** (чередування кількості бітів, які необхідні для кодування одного символу передаваного тексту з кожного каналу. Так, наприклад, при передаванні файлу, який представлений комп'ютерним алфавітом АSHII міжнародної версії, довжина поля коду одного символу складає 8 біт, американської версії – 7 біт);
- **блок-інтерлівінг** (чередування блоків по декілька байт з кожного каналу).

Сигнали синхронізації та сигналізації при формуванні фрейму можуть передаватися як по окремим виділеним часовим каналам (ідеальне мультиплексування), так і по інформаційним каналам.

У загальному випадку при мультиплексуванні потоків даних розрізняють наступні види синхронізації:

- **по окремим полям (часовим каналам);**
- **по фрейму в цілому;**
- **по кожному біту** в межах кожного поля.

Для синхронізації в структуру фрейму після будь-якої з перерахованих груп вноситься по одному або декілька додаткових біт. Можна сформуванати і більш складну структуру, яка повторюється, що складається з m фреймів та k полів синхронізації, так названий **мультифрейм**.

Без врахування синхронізації мультиплексор створює регулярний потік фреймів. Синхронізація дану регулярність порушує.

Сигналізація також може бути виконана в окремому каналі або розміщенням бітів сигналізації в полях вибірок із зменшенням при цьому розрядної сітки поля, наприклад, на 1 біт.

При всьому можливому різновиді, отримана структура фрейму (його формат) для конкретної системи передавання є фіксованою.

По аналогії з тривалістю циклу передавання $T_{\text{ц}}$ в ідеальному мультиплексуванні, тут можна говорити про *період повторювання фрейму* – час, що витрачається на один повний цикл, додаючи час передавання вставляємих бітових груп синхронізації та сигналізації.

3.6. Поняття режиму перенесення інформації в мережі

Поєднання методів передавання, мультиплексування та комутації, за допомогою яких в телекомунікаційній мережі забезпечується транспортування інформації від джерела до приймача, визначається поняттям „режим перенесення” (Transfer Mode). Термін введений ІТУ-Т у зв'язку з тим, що в цифрових мережах межі між технікою комутації, мультиплексуванням та передаванням зміщуються, а також по-новому перерозподіляються задачі кінцевих систем та телекомунікаційної мережі.

Режим перенесення інформації в мережі може бути класифікований як синхронний або асинхронний. *Синхронний режим перенесення STM (Synchronous Transfer Mode)* базується на принципі синхронного часового мультиплексування та часового розподілення каналів при транспортуванні інформації від одного вузла комутації до іншого. При цьому забезпечується загальна синхронізація протягом всього тракту передавання від його початку до кінця. При *асинхронному режимі перенесення АТМ (Asynchronous Transfer Mode)* достатньо забезпечити синхронне передавання лише між суміжними об'єктами (пунктами мережі, які безпосередньо з'єднані лініями зв'язку). В транзитному пункті інформаційні блоки зберігаються деякий час в запам'ятовуючому пристрої, а потім передаються до наступного пункту мережі. При цьому швидкості у вхідному та вихідному каналах вузла мережі можуть не співпадати. Таким чином, при асинхронному режимі інформація передається по мережі естафетним способом.

Сукупність визначених методів, які визначають спосіб реалізації режиму перенесення інформації в мережі з деяким гарантованим рівнем якості визначається терміном „телекомунікаційна технологія”. Технологія, яка використовується, є одним з основних факторів, що

характеризують телекомунікаційну мережу з точки зору її транспортних можливостей як транспортну мережу.

Поняття «транспортні мережі» ввели відповідно до рекомендацій МСЕ-Т. У спрощеному виді таку мережу можна представити у вигляді безлічі входів (пунктів передачі) і виходів (пунктів прийому) (рис. 3.5).

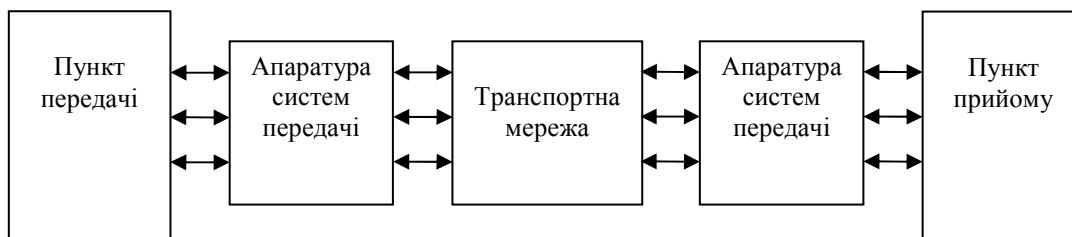


Рис 3.5 Модель транспортної мережі

Нагадаємо, що основний принцип транспортної мережі – це «закон біт точності», який необхідно розуміти так: вид, кількість і послідовність цифрових сигналів на виході повинні точно відповідати їхньому виду, кількості й послідовності на вході.

Для здійснення принципу режиму переносу застосовуються різні технології поділу каналів (мультиплексування, від англ. *Multiplex* — «багаторазовий»).

Під мультиплексуванням (зв'язківці використовують термін «ущільнення») розуміють об'єднання декількох менших по ємності вхідних каналів зв'язку в один канал великої ємності для транспортування по одному тракту без взаємного впливу. У наш час широко використовуються два види мультиплексування:

- мультиплексування із частотним розподілом каналів ЧРК (частотне мультиплексування/ущільнення);
- мультиплексування з часовим розподілом каналів ВРК (часове мультиплексування /ущільнення).

Частотне мультиплексування. При частотному мультиплексуванні (рис. 3.6) смуга частот вихідного каналу ділиться на n смуг (підканалів), що відповідають по ширині смузі телефонного каналу 4 кГц. Кожен канал має фактичну смугу пропускання 3,1 кГц і захисну смугу 900 Гц.

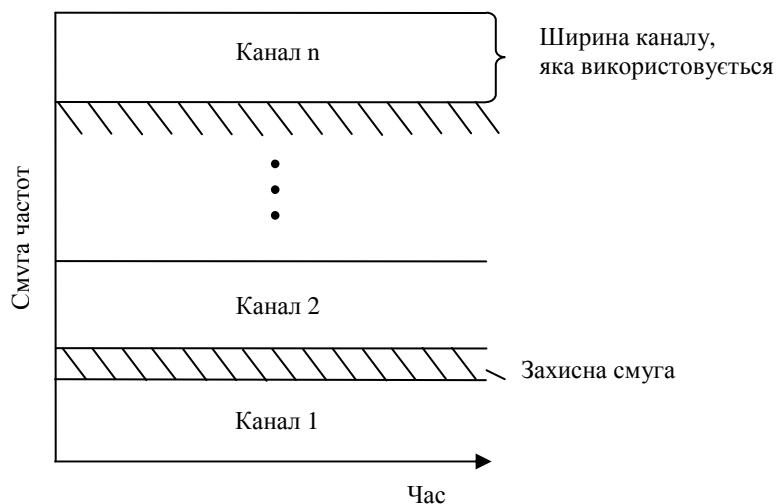


Рис 3.6. Частотне мультиплексування

Часове мультиплексування. При часовому мультиплексуванні (рис. 3.7) на передаючій стороні послідовно підключається кожен вхідний канал на певний часовий інтервал (його також називають *тайм-слот* або *цикл*), необхідний для посилки вибірки сигналу в даному каналі. Сформований у такий спосіб потік вибірок від різних каналів транспортується на прийомну сторону.

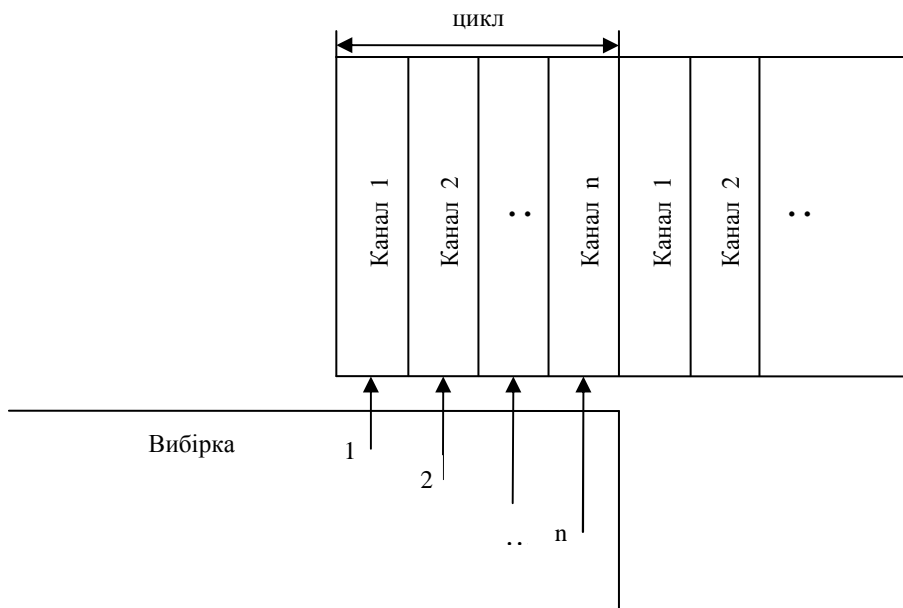


Рис.3.7. Часове мультиплексування

Схема часового мультиплексування найбільш зручна при використанні імпульсно- кодової модуляції (ІКМ).

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМООЦІНКИ РІВНЯ ЗНАНЬ

1. Як здійснюється обслуговування користувачів в інформаційній мережі?
2. Призначення служб мережі зв'язку?
3. Класифікація послуг в інтегральній мережі зв'язку?
4. Які види обслуговування відносяться до додаткових (ДВО)?
5. Яке призначення мають служби передавання даних та телеслужби?
6. Що розуміють під трафіком інформаційних мереж? Категорії трафіку.
7. Яким чином здійснюється формування бітового потоку відеотрафіку?
8. Яким чином здійснюється формування потоку мовного трафіку?
9. Які етапи включає процес ІКМ-перетворення аналогового сигналу?
10. Принцип побудови цифрової системи передавання (ЦСП)?

11. Призначення елементів схеми системи ІКМ-30/32?
12. Як здійснюється формування цифрового потоку даних?
13. У чому полягає принцип синхронного (STM) та асинхронного (ATM) режимів перенесення інформації?
14. Характеристика частотного та часового мультиплексування даних.
15. Відобразити тайм-слот в ІКМ–30/32, який має у двійковому коді 37,137 та 237 рівнів квантування.
16. Представити формат, структуру лінійного сигналу ІКМ–30/32.

4 БАЗОВІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

4.1. Технології високошвидкісного передавання цифрових потоків

Ефективне використання широкосмугових ліній зв'язку, наприклад, ВОЛЗ, вимагає збільшення швидкості передавання цифрових потоків до декількох тисяч, сотень та більше кілобітів за секунду. Використовуючи каскадне включення мультиплексорів, можна формувати різні рівні швидкостей: DS0, DS1, DS2, DS3, DS4 і т.п. (рис. 4.1).

Всі вони поєднуються загальним поняттям **цифрової ієрархії**. Цифрова ієрархія дозволяє довести процес мультиплексування до необхідного рівня, що дає необхідну кількість каналів рівня DS0 (зі швидкістю 64 кбіт/с), обираючи різні коефіцієнти мультиплексування n , m , k , l .

На початку 80-х років у світі були реалізовані три цифрові ієрархії.

Перша ієрархія, прийнята в США та Канаді, на виході мультиплексора MUX_1 забезпечує потік DS1 з коефіцієнтом мультиплексування $n=24$ та швидкістю:

$$T1 = 64 \times 24 = 1536 \text{ кбіт/с (1.5 Мбіт/с)}$$

На наступних рівнях використовуються коефіцієнти мультиплексування $m=4$; $k=7$; $l=6$, що забезпечує отримання послідовності швидкостей:

$$T2 = T1 \times 4 = 6 \text{ Мбіт/с (для рівня DS2);}$$

$$T3 = T2 \times 7 = 42 \text{ Мбіт/с (для рівня DS3);}$$

$$T4 = T3 \times 6 = 252 \text{ Мбіт/с (для рівня DS4)}$$

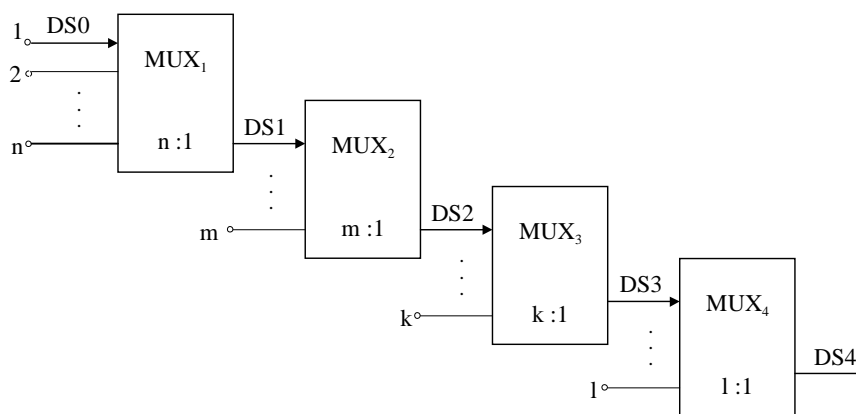


Рис.4.1. Цифрова ієрархія швидкостей

Друга ієрархія, прийнята в Японії, з урахуванням швидкості DS0 та ряду коефіцієнтів мультиплексування $n=24$; $m=4$; $k=5$; $l=3$ забезпечує отримання наступних швидкостей:

$$T1 = 64 \times 24 = 1.5 \text{ Мбіт/с (для рівня DS1);}$$

$$T2 = T1 \times 4 = 6 \text{ Мбіт/с (для рівня DS2);}$$

$$T3 = T2 \times 5 = 30 \text{ Мбіт/с (для рівня DS3);}$$

$$T4 = T3 \times 3 = 90 \text{ Мбіт/с (для рівня DS4)}$$

Третя ієрархія, прийнята в Європі та Південній Америці, з урахуванням швидкості DS0 та коефіцієнтів мультиплексування $n=30(32)$; $m=4$; $k=4$; $l=4$, забезпечує швидкості відповідно:

$$E1 = 64 \times 30 = 2 \text{ Мбіт/с} \quad (\text{для рівня DS1});$$

$$E2 = E1 \times 4 = 8 \text{ Мбіт/с} \quad (\text{для рівня DS2});$$

$$E3 = E2 \times 4 = 34 \text{ Мбіт/с} \quad (\text{для рівня DS3});$$

$$E4 = E3 \times 4 = 140 \text{ Мбіт/с} \quad (\text{для рівня DS4}).$$

Європейська ієрархія дозволяє організувати відповідно 30, 120, 480 та 1920 каналів рівня DS0 в лінії, що відображається у назвах систем передавання, таких як ІКМ-30, ІКМ-120, ІКМ-480 і т.д.

Паралельний розвиток різних ієрархій перешкодив розвитку світових глобальних телекомунікацій і Міжнародний Союз Електрозв'язку (ITU-T) прийняв заходи з їх уніфікації та можливого поєднанню. В результаті були стандартизовані в якості основних рівні DS1, DS2 та DS3 – першої ієрархії та рівні DS1, DS2, DS3 та DS4 – другої та третьої ієрархій, а також вказані 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 отримали загальну назву **плезіохронна цифрова ієрархія PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)**.

4.2 Технологія PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

Характерною особливістю плезіохронних мереж („плезіо” означає „псевдо-”, звідси „плезіохронна” – „як би синхронна”) є відсутність загального етелонного джерела синхронізації на мережі. Наявність місцевих синхронізуючих таймерів забезпечує синхронізацію лише під час прийому/передавання на рівні DS1 (рис.4.2,а).

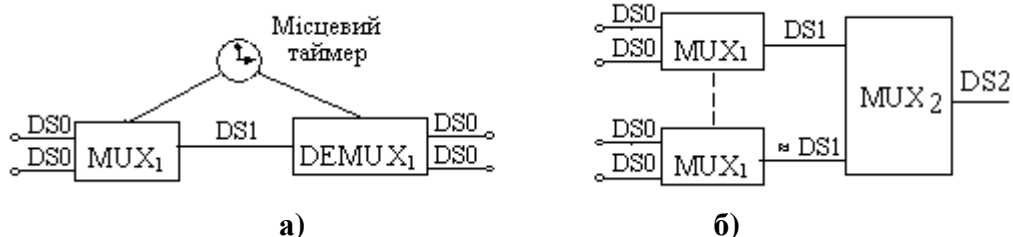


Рис.4.2. Робота мультиплексорів в режимі прийом/передача (а) та каскадне включення мультиплексорів (б)

Але при каскадному включенні (рис.4.2,б) синхронна робота мультиплексорів MUX₁ в плезіохронних мережах не забезпечується. Для вирівнювання швидкостей передавання цифрових потоків в PDH-технології при формуванні потоків рівня DS2 та вище використовується біт-інтерлівінг з побітовою синхронізацією. При цьому мультиплексор MUX₂ сам вирівнює швидкості потоків від мультиплексорів MUX₁ шляхом додавання необхідної

кількості бітів вирівнювання в каналах з відносно низькими швидкостями передавання або вилучення бітів в каналах з високими швидкостями. Інформація про вилучені або вставлені біти передається по службовим каналам, що формуються окремими бітами в структурі фрейму. Ця схема повторюється на наступних рівнях мультиплексування.

Основна вимога, яка висунута до роботи ЦСП, — це забезпечення синхронізації апаратури тракту передачі й прийому. Однак складові ЦСП не повністю синхронізуються за часом мультиплексування потоків зі швидкістю 2 Мбіт/с в один потік зі швидкістю 8 Мбіт/с, тому з'являється необхідність у вирівнюванні швидкостей шляхом введення спеціальних вирівнюючих бітів, які при демультиплексуванні необхідно взяти.

Подібним чином здійснюється мультиплексування й в наступних системах перетворення, тому така система називається плезіохронною цифровою ієрархією (ПЦІ). Основний недолік ПЦІ полягає в тому, що додавання вирівнюючих бітів унеможливорює ідентифікацію і виведення цифрового потоку без повного демультиплексування із проходженням проміжних рівнів. Другий недолік цих систем — відсутність пристроїв мережного автоматизованого керування, без чого неможливо створити систему зв'язку, що задовольняє сучасні вимоги.

На прийомній стороні при демультиплексуванні вказані біти відповідно вилучаються або додаються на основі службової інформації, яка надійшла.

Виникає питання: „Для чого необхідно вирівнювати швидкості вихідних потоків?”. Вирівнювання швидкостей важливе для точного визначення меж фрейму на прийомному кінці та положення бітів службової інформації у його структурі.

PDH-технологія отримала розповсюдження при організації великої кількості мовних цифрових каналів в волоконно-оптичних лініях зв'язку. Так, один канал рівня DS4 зі швидкістю E4 (140 Мбіт/с) еквівалентний 1920 каналам зі швидкістю 64 кбіт/с. Це зручно при організації високошвидкісних цифрових потоків, що проходять транзитом через ВК, при організації в них кросової комутації ліній зв'язку. Але додавання (вилучення) бітів при вирівнюванні швидкостей робить неможливим відведення каналу зі швидкістю 64 кбіт/с або 2 Мбіт/с із загального потоку в транзитному вузлі без повного демультиплексування. Загальна схема каналу передавання з використанням технології PDH на швидкості 140 Мбіт/с повинна включати три рівня мультиплексування на прийомній стороні. Це є суттєвим недоліком PDH-технологій, що обмежує її застосування, наприклад, в банківських мережах передавання даних, де часто виникає необхідність введення/виведення каналів по 64 кбіт/с та 2 Мбіт/с. Застосування великої кількості мультиплексорів та демультиплексорів значно збільшує вартість телекомунікаційної мережі та робить її експлуатацію економічно не вигідною.

Із-за своєї негнучкості PDH-мережі поступаються синхронним мережам.

4.3 Технологія SDH(Synchronous Digital Hierarchy)

Бажання подолати недоліки PDH-технології призвело до розробки у 1984-1986 роках в США ієрархії синхронної оптичної мережі SONET (Synchronous Optical Network), а в Європі – **синхронної цифрової ієрархії SDH** (Synchronous Digital Hierarchy). Обидві ієрархії орієнтовані на використання ВОЛЗ.

Виправити недоліки ПЦІ було важко, тому, коли з 1990 року почали застосовувати волоконно-оптичні лінії зв'язку і вводити цифрові комутаційні станції, з'явилася можливість впровадження повністю цифрових синхронних мереж, почалися роботи із впровадження синхронної цифрової ієрархії. Структура первинної мережі наведена на рис.3.10. В США була створена ієрархія синхронної мережі SONET, а в Європі - аналогічна синхронна ієрархія СЦІ. Фізичний інтерфейс для трьох різних середовищ передачі: оптичного волокна, радіорелейних систем і коаксіального кабелю.

Назва **синхронна цифрова ієрархія (СЦІ)** походить від метода мультиплексування («синхронний» метод). Основною ідеєю СЦІ являється об'єднання сигналів в блоки, які мають назву синхронно-транспортними модулями – СТМ (Synchronous Transport Module - STM). Цикли СТМ будь-якого порядку передаються синхронно з одним і тим же періодом 125 мкс.

Базовий формат лінійного сигналу СЦІ – синхронний транспортний модуль рівня1(СТМ-1) складається з 2430 байт, розташованих на інтервалі між двома відліками, що слідує з частотою 8 кГц (тривалість циклу – 125 мкс). Таким чином, кожний байт на певній позиції в межах циклу може переносити один телефонний канал або, що еквівалентно, цифровий канал з пропускнуою спроможністю 64 кбіт/с.

Довжина циклу СТМ-1 складається $n=2430*8=19440$ біт.

Швидкість передачі модуля СТМ-1 визначається слідуєчим чином:

$V_{СТМ-1}=n*1/T_{ц}=n*8кГц=19440*8кГц=155,520$ Мбіт/с.

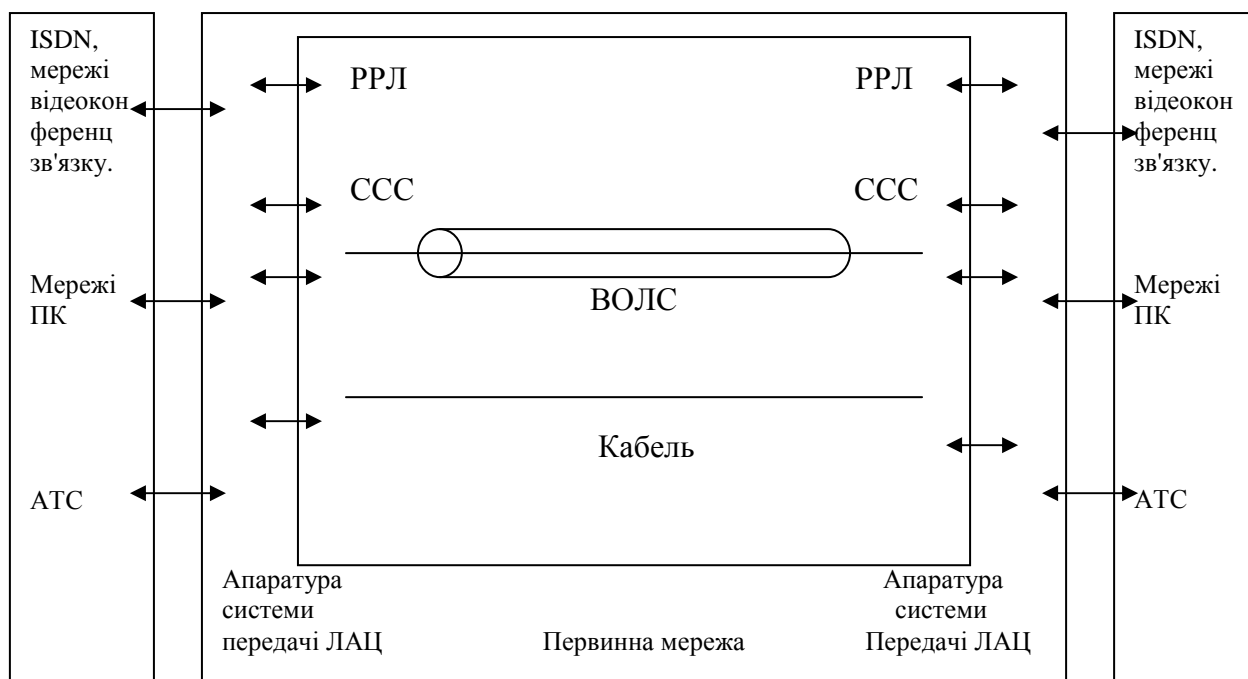


Рис.4.3. Структура первинної мережі:
РРЛ-радіорелейна лінія; ЛАЦ-лінійно-апаратний цех

Сигнали СЦІ вищих порядків, позначені як СТМ-N, мають швидкість передачі в N раз більше чим в СТМ-1: $V_{СТМ-N} = V_{СТМ-1} * N = 155.520 * N$, де N – номер ієрархічного рівня (N=1,4,16,64,256).

Значення швидкостей передачі приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Швидкості передчі СТМ

Рівень СЦІ	Швидкість передачі, Мбіт/с
СТМ-1	155,520
СТМ-4	622,080
СТМ-16	2488,320
СТМ-64	9953,280
СТМ-256	39813,120

Синхронні транспортні модулі розраховані на підтримку тільки тих вхідних каналів, або каналів доступу, швидкість передачі яких відповідає вказаним швидкостям (див. табл.4.1) і об'єднаному стандартному ряду американських європейських ієрархій ПЦІ, а саме: 1, 5, 2, 6, 8, 34, 140 Мбіт/с. Цифрові сигнали каналів доступу, швидкість передачі яких відповідає указаному ряду, називаються трибами ПЦІ, а сигнали, швидкість передачі яких відповідає стандартному рівню швидкостей СЦІ, - трибами СЦІ.

Виділимо загальні особливості побудови синхронної ієрархії:

- 1) підтримка в якості вхідних сигналів каналів доступу тільки трибів (від англ. Trib, компонентний сигнал, підзвітний сигнал або навантаження, потік навантаження) ПЦІ та СЦІ;
- 2) триби повинні бути упаковані в стандартні помічені контейнери, розміри яких визначаються рівнем трибів ієрархії ПЦІ;
- 3) положення віртуального контейнера може визначатися за допомогою показників, дозволяючи уникнути протиріччя між фактором синхронності обробки і можливим змінам положення контейнера всередині поля корисного навантаження;
- 4) кілька контейнерів одного рівня можуть бути закріплені разом і розглядатись як один неперервний контейнер, який використовується для розміщення нестандартного корисного навантаження;
- 5) передбачено формування окремого поля заголовків розміром $9 \times 9 = 81$ байт.

В мережах синхронної цифрової ієрархії використовується принцип контейнерних транспортувань. Будь-який вихідний цифровий потік, як синхронний, так і плезіохронний, повинен бути розміщений у відповідний контейнер.

Термін контейнер описує інформаційну структуру синхронної мережі визначеної ємності, що потрібна для передачі даного вихідного цифрового потоку. Розмір контейнера зазначається в байтах. Всі байти контейнера передаються за 125 мкс. Отримані розміри контейнерів відповідають цифровим потокам ПЦІ (табл.4.2).

Таблиця 4.2 – Розміри контейнерів цифрових потоків ПЦІ

Позначення контейнера	Потік, який передається, кбіт/с
C-11	1544
C-12	2048
C-2	6312
C-3	44736 або 34368
C-4	139264

Розміщення цифрових потоків, які передаються в контейнери, виконується за допомогою побітного і побайтного вирівнювання для плезіохронних сигналів, при цьому на рівні з негативними використовуються нульові і позитивні вирівнювання.

Зміст контейнера:

- навантаження, яке передається (наприклад, цифровий потік ПЦІ);

- фіксовані байти і біти вирівнювання (фіксована вставка). Ці байти (або біти) ніколи не несуть навантаження і використовуються тільки для наближеного збільшення швидкості передачі до швидкості передачі відповідного контейнера;
- біти точного вирівнювання. У цих бітах по необхідності можуть розміщуватись біти навантаження або біти вставки;
- біти управління вирівнюванням, які показують приймачу, що саме в даний момент знаходиться в бітах точного вирівнювання – біти навантаження і біти вставки.

До кожного контейнера С додається трактовий заголовок (Path Overhead - POH). Ця сукупність має назву віртуальний контейнер (Virtual Container - VC) і передається через мережу як незмінна одиниця (рис. 4.4).

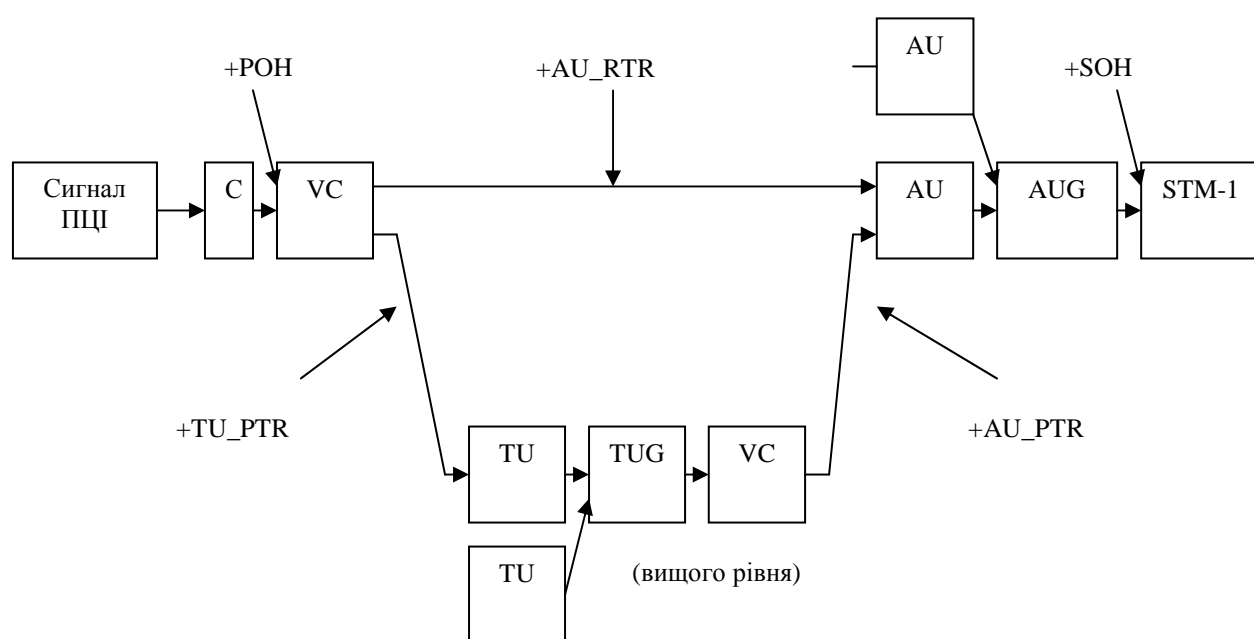


Рис 4.4 Створення структури СЦІ:

AU- адміністративний блок; AUG – група адміністративних блоків; POH- маршрутний заголовок; SOH- секційний заголовок; TU – трибний блок; TUG – група трибних блоків; VC – віртуальний контейнер

В POH знаходиться службова інформація, яка дозволяє відслідковувати надійність транспортування контейнера через мережу від джерела до отримувача. Трактовий заголовок добавляється на початку тракту при формуванні VC і видаляється в кінці тракту при розформуванні контейнера. Крім того, в POH знаходиться службова інформація з метою контролю та управління мережею.

В залежності від розміру віртуальний контейнер може транспортуватися в модулі STM-1 в поодинокі або об'єднаним в більший VC, який потім безпосередньо транспортується в STM-1.

Розрізняють віртуальні контейнери вищого рівня HO (high-order) і нижчого рівня LO (low-order).

Всі контейнери, які передаються в складі одного «великого» контейнера, відносяться до нижнього рівня LO. Контейнерами рівня LO є VC-11, VC-12 і VC-2.

VC-3 відносять до рівня LO, якщо цей контейнер передається в складі VC-4.

Контейнери, які безпосередньо переносяться в модулі STM-1, відносяться до рівня HO. VC-4 – контейнер рівня HO. Те ж відноситься і до VC-3, якщо він передається безпосередньо.

Віртуальні контейнери вищого рівня VC-4 і VC-3 транспортуються безпосередньо в STM-1.

В цьому випадку показники (блок AU_PTR) в складі STM-1 відображають фазові співвідношення між модулем і відповідним віртуальним контейнером. Та частина модуля STM-1, в межах якої може «плавати» VC, називається **адміністративною групою** (Administrative Unit – AU). Відповідний показник, на званий показником AU (AU_PTR), розглядається як частина AU. Трьохбайтові показники AU розміщуються в перші 9 байт четвертого рядка модуля STM-1.

Розрізняють AU-4 і AU-3. В модулі STM-1 можна передати AU-4 або три AU-3.

Передача VC-3 можлива безпосередньо в STM-1 через AU-3 або через AU-4. В другому випадку передача трьох VC-3 повинна бути об'єднана в один AU-4.

Кілька AU можуть бути побайтно об'єднані в одну групу AU (AUG-AU group). AUG являє собою інформаційну структуру, яка відповідає STM-1 без SOH. Додаємо SOH до AUG виходить STM-1. AUG може складатись з одного AU-4 або трьох AU-3.

За виключенням VC-4, все VC можуть бути об'єднані в великі VC і транспортуватись в STM-1. «Менші» VC можуть плавати по фазі всередині «великих» (вищого рівня) VC. Для відображення фазових співвідношень між двома VC використовуються показники, які розміщуються у фіксованому місці VC вищого рівня. **Навантажувальним блоком** (Tributary Unit-TU) має назву інформаційна структура, яка використовується для опису складової контейнера вищого рівня HO, всередині якої може «плавати» VC нижчого рівня LO, і відповідні показники (TU pointer). Стандартизовані навантажувальні блоки TU-11, TU-12, TU-2, TU-3.

Перед об'єднанням в контейнер вищого рівня кілька TU побайтно об'єднуються в одну групу, яка називається **групою навантажувальних блоків** (Tributary Unit Group-TUG) (див. рис. 4.3). Визначені TUG-2 і TUG-3.

В табл.4.3 приведені основні характеристики елементів STM-1, розглянутих вище.

Таблиця 4.3 – Основні характеристики елементів STM-1

Контейнер розмір, байти швидкість, кбіт/с	C-11 25 1600	C-12 34 2176	C-2 106 6784	C-3 756 48384	C-4 2340 149760
Віртуальний контейнер розмір, байти швидкість, кбіт/с	VC-11 26 1664	VC-12 35 2240	VC-2 107 6848	VC-3 765 48960	VC-4 2349 150335
Навантажувальний блок розмір, байти швидкість, кбіт/с	TU-U 27 1728	TU-U 36 2304	TU-U 108 6912	TU-U 768 49152	-
Група навантажувальних блоків розмір, байти швидкість, кбіт/с	-	-	TUG-2 108 6912	TUG-3 774 49536	-
Адміністративний блок розмір, байти швидкість, кбіт/с	-	-	-	AU-3 786 50304	AU-4 2358 150912
Група адміністративних блоків розмір, байти швидкість, кбіт/с	-	-	-	-	AUG 2358 150912

Цифрові мережі, які використовують синхронні телекомунікаційні технології, мають загальномережну синхронізацію від центрального опорного джерела (центрального таймера), точність якого не гірше 10^{-9} .

Необхідність вирівнювання швидкостей вихідних потоків тут практично відсутнє, і це забезпечує можливість формування фреймів фіксованого формату з використанням *байт-інтерлівінга* на всіх рівнях мультиплексування. Фіксований формат дозволяє чітко позиціонувати у структурі фрейму розміщення полів, які відповідають каналам зі швидкостями 64 кбіт/с, 2 Мбіт/с і т.п.

В якості основного формату вихідного синхронного потоку прийнято **синхронний транспортний модуль STM-1**, який забезпечує швидкість передавання 155,52 Мбіт/с та дозволяє інкапсулювати (вставляти) в нього всі фрейми європейської PDH-ієрархії (E1, E2, E3 та E4).

В структуру STM введено спеціальні вказівники початку будь-якого інкапсульованого фрагменту. Ці вказівники розміщуються в полі заголовку фрейму STM. Використання вказівників значно спрощує процедуру

виділення потоків, різних швидкостей із загального цифрового потоку та дозволяє гнучко компонувати внутрішній формат STM.

Побудова ієрархії швидкостей SDH засновано також на використанні коефіцієнтів мультиплексування. В SDH ці коефіцієнти мають постійне значення, що дорівнює чотирьом 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 і т.п.

Таким чином, розробникам технології SDH вдалося не тільки забезпечити нарощування швидкостей передавання, але й врахувати наявність стандартів існуючої технології PDH, використовуючи вже відому до того часу технологію інкапсуляції даних. В SDH-технології принцип інкапсуляції отримав розвиток у вигляді технології **віртуальних контейнерів**.

Контейнерами називаються фрейми стандартних розмірів з під'єднаними до них заголовками. В полях заголовку розміщується інформація, яка необхідна для маршрутизації та вказівники початку розміщення потоків різних швидкостей, що надходять із каналів доступу. Ці потоки називаються **трибами**.

Цифрові потоки каналів доступу зі швидкостями передавання, які відповідають стандартному ряду PDH, називаються **трибами PDH**, а потоки каналів доступу зі швидкостями передавання, які відповідають стандартному ряду SDH, - **трибами SDH**.

Кожний триб інкапсулюється у відповідний йому за розміром контейнер, облаштований своїм заголовком. Так, наприклад, контейнер, який формується при інкапсуляції триба 140 Мбіт/с, визначив розмір поля корисного навантаження синхронного транспортного модуля STM-1 в 2349 байт, а додавання до нього полів заголовків – розмір самого STM-1: 2430 байт або $2430 \times 8 = 19440$ біт, що при частоті повторення 8000 Гц визначає швидкість породжуючого члена ряду для ієрархії SDH: $19440 \times 8000 = 155,52$ Мбіт/с.

Контейнери менших розмірів, в свою чергу, можуть розміщуватися у контейнерах з більшою ємністю корисного навантаження, які також облаштовані своїм заголовком, і т.п. Це і є технологія віртуальних контейнерів, що заснована на принципах інкапсуляції. Оскільки контейнери є не фізичними об'єктами, а логічними, вони називаються **віртуальними контейнерами**.

Віртуальні контейнери можуть групуватися по декілька штук для розміщення в полях корисного навантаження контейнерів верхніх рівнів (більшого розміру). На кожний вкладений контейнер заводиться свій вказівник у полі заголовку зовнішнього контейнера. Згідно основної схеми мультиплексування для ієрархії SDH, модулі STM-1 в подальшому можуть мультиплексуватися з коефіцієнтом n , кратним 4, а потім передаватися по лінії зв'язку.

Для реалізації технології SDH розроблені спеціальні термінальні мультиплексори введення/виведення, через які здійснюється доступ до

мережі та вихід із мережі, тобто реалізується функція відгалудження трибних потоків.

Синхронні мережі мають ряд переваг перед плезіохронними, основні з них наступні:

- *спрощення мережі* – в синхронній мережі один мультиплексор введення/виведення дозволяє безпосередньо ввести або вивести, наприклад, потік E1 (2 Мбіт/с) із фрейму STM-1 (155 Мбіт/с), замінюючи тим самим ланцюг мультиплексорів PDH;
- *прозорість для передавання будь-якого трафіку* – це обумовлено використанням віртуальних контейнерів для передавання трафіку, який сформований з використанням інших технологій: Frame Relay, ISDN, ATM;
- *універсальність застосування* – технологія може бути використана для створення окремих високошвидкісних магістралей, глобальних мереж WAN, а також для місцевих MAN та корпоративних мереж кільцевої структури.

З появою SDH-технології, відносно до телекомунікаційних мереж стали застосовуватися поняття „пакування даних”, „транспортування даних”, а за високошвидкісними цифровими синхронними мережами закріпилась назва „транспортні мережі”.

4.4 Передавання та комутація пакетів. Технологія X.25

Телекомунікаційні мережі з комутацією каналів розроблювалися та оптимізувалися для досягнення найвищої якості передавання мовних повідомлень. Навіть те, що дуплексний канал при цьому використовується лише на 50%, вважається цілком допустимим. Низька ефективність використання каналів в мережі з КК пояснюється тим, що після встановлення з'єднання між кінцевими пристроями, ємність скомутованого каналу та його складових частин недоступна іншим прикладенням під час сеансу зв'язку, навіть якщо дані не передаються. При використанні таких телекомунікаційних мереж для передавання даних між комп'ютерами, впливають два вагомих недоліки.

1. При з'єднанні типу *термінал-хост* (наприклад, при взаємодії ПК користувача з мережним комп'ютером) значний термін часу канал може бути вільним, але телекомунікаційна мережа не може використовувати його в цей час для іншого прикладення.

2. Мережа з КК забезпечує передавання даних на постійній швидкості. Це означає, що будь-якій парі термінал-хост буде надана одна й та ж фіксована швидкість, що обмежує можливості мережі при підключенні хостів та терміналів різної продуктивності.

Телекомунікаційна мережа з комутацією пакетів здатна усунути ці недоліки.

Сутність методу передавання пакетів полягає у наступному.

Повідомлення (дані) розбиваються на невеликі блоки (сегменти) (рис.4.5). Кожному блоку присвоюється заголовок $Z_{п}$, який містить адреси джерела та споживача інформації, а також номер блоку в повідомленні та вказівки на його належність даному повідомленню, перевіряючий та виправляючий код і т.п.

Блок повідомлення разом з заголовком називається **пакетом**.

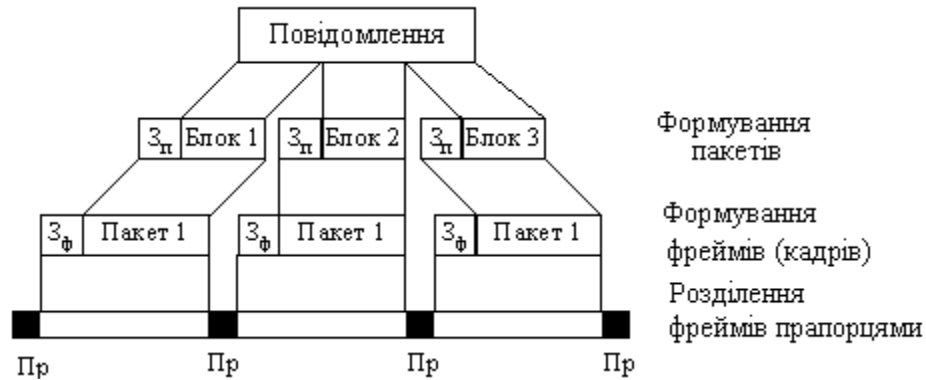


Рис.4.5. Передача повідомлення пакетами

Перед відправленням в лінію, пакети оформляються у вигляді фрейму (кадру), що має свій заголовок $Z_{ф}$, який містить інформацію, яка використовується для маршрутизації пакетів.

Для того, щоб на приймальному кінці лінії зв'язку відокремити один фрейм від іншого при побітовому передаванні їх по каналу, між фреймами вставляються розділювальні флаги $F_{п}$. Флаг – це поле, яке містить 8 біт, наприклад, 01111110. На сусідньому ВК прийнята послідовність бітів групується у фрейм, флаги знищуються і з фрейму дістається пакет. Він розміщується в ЗП та обробляється – перевіряється на відсутність помилок, спотворень. У випадку виявлення помилок та неможливості їх виправлення, ВК запитує повторення передавання. Через деякий час оформлений у вигляді фрейму пакет надходить до вихідного каналу.

На вхідному ВК пакети накопичуються і з їх утворюється повідомлення. Таким чином, функція розбиття повідомлення на пакети здійснюється тільки на вихідному ВК, а збирання – на вхідному ВК.

Розбиття повідомлення на пакети та збір повідомлення з пакетів прийнято називати функцією **розбиття/збору PAD** (Packet Assembler and Disassembler). Функція PAD може виконуватися у будь-якому мережному пристрої або вузлі, який забезпечує доступ до мережі з комутацією пакетів. Необхідно відмітити, що якщо джерелом повідомлення є ЕОМ (робоча станція), функція PAD може виконуватися безпосередньо в ній.

Формування пакетів мовних повідомлень здійснюється наступним чином.

Мовне повідомлення, яке представлено у цифровому вигляді (ІКМ сигнал), є послідовністю байтів (вибірок дискретних відліків амплітуд), що прямують в часовому каналі один за одним через 125 мкс. Особливість реалізації функції PAD при цьому полягає в тому, що при формуванні блоку, довжина якого більше одного байту, необхідно накопичити потрібну

кількість байтів. В цьому випадку, відбувається затримка всіх байтів, що входять до пакету, крім останнього (рис.4.6), на час $\tau = 125 (n-1)$ мкс, де n – кількість байтів у блоці. Перехід до пакету та фрейму залишається тим же.

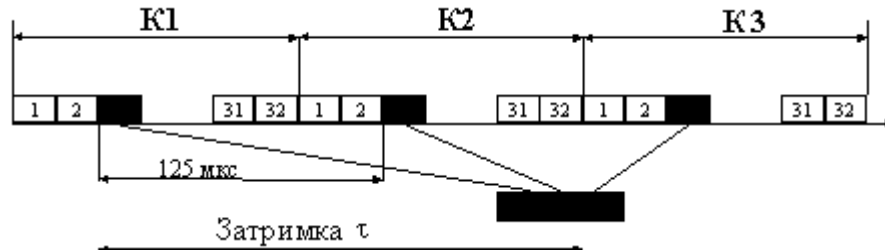


Рис.4.6.Формування пакету мовного сигналу: K1,K2, K3 – кадри

На прийомній стороні (вхідного ВК) для правильного відновлення повідомлення знову відновлюється ІКМ сигнал з відповідним розносом в часі окремих байтів. Крім того, здійснюється узгодження в часі байтів різних блоків.

Наявність затримок в часі при передаванні та прийманні пакетів може внести суттєве спотворення у мовне повідомлення. У зв'язку з цим, для передавання мови пакетами необхідно використовувати високошвидкісні канали, в яких мовні пакети повинні передаватися з пріоритетом над пакетами даних.

Комутація пакетів (КП) може бути реалізована у ВК телекомунікаційної мережі з використанням таких режимів (рис.4.7): датаграмний режим; режим віртуального виклику; режим віртуального каналу; режим віртуального з'єднання.

Датаграмний режим. При датаграмному режимі кожний пакет рухається по мережі самостійно, без врахування того, як рухаються пакети до або після його. Кожний ВК на основі адресної інформації полів заголовка пакету та власних відомостей про наявність незайнятих вихідних каналів до сусідніх ВК обирає наступний ВК, на який перенаправляється пакет. В результаті пакети одного і того ж повідомлення з однією і тією ж адресою можуть прямувати від місця відправлення до місця призначення різними маршрутами та прийти у переплутаному порядку (рис.4.7,а). Вхідний ВК (кінцевий вузол маршруту) відновлює правильну послідовність пакетів і вже в цій послідовності передає їх до пункту призначення.

Режим віртуального виклику. Відмінною особливістю є той факт, що датаграмний режим доповнюється віртуальним викликом. При цьому фазі передавання пакетів повідомлення передуює фаза посилення службового пакету в АП одержувача із указанням повного об'єму повідомлення, з метою резервування достатнього буфера пам'яті для його приймання. Після резервування достатньої області пам'яті, в АП у зворотньому напрямку надходить службовий пакет із підтвердженням готовності прийому повідомлення. Сеанс передавання пакетів починається лише після отримання пакету підтвердження прийому.

Обмін службовими пакетами перед сеансом передавання повідомлення називається **посилкою віртуального виклику**. Режим віртуального виклику

зменшує ймовірність блокування роботи окремих ВК і ймовірність виникнення безвихідних ситуацій на мережі, що стримують проходження датаграм, але в той же час з'являються додаткові витрати часу на послілку віртуального виклику.

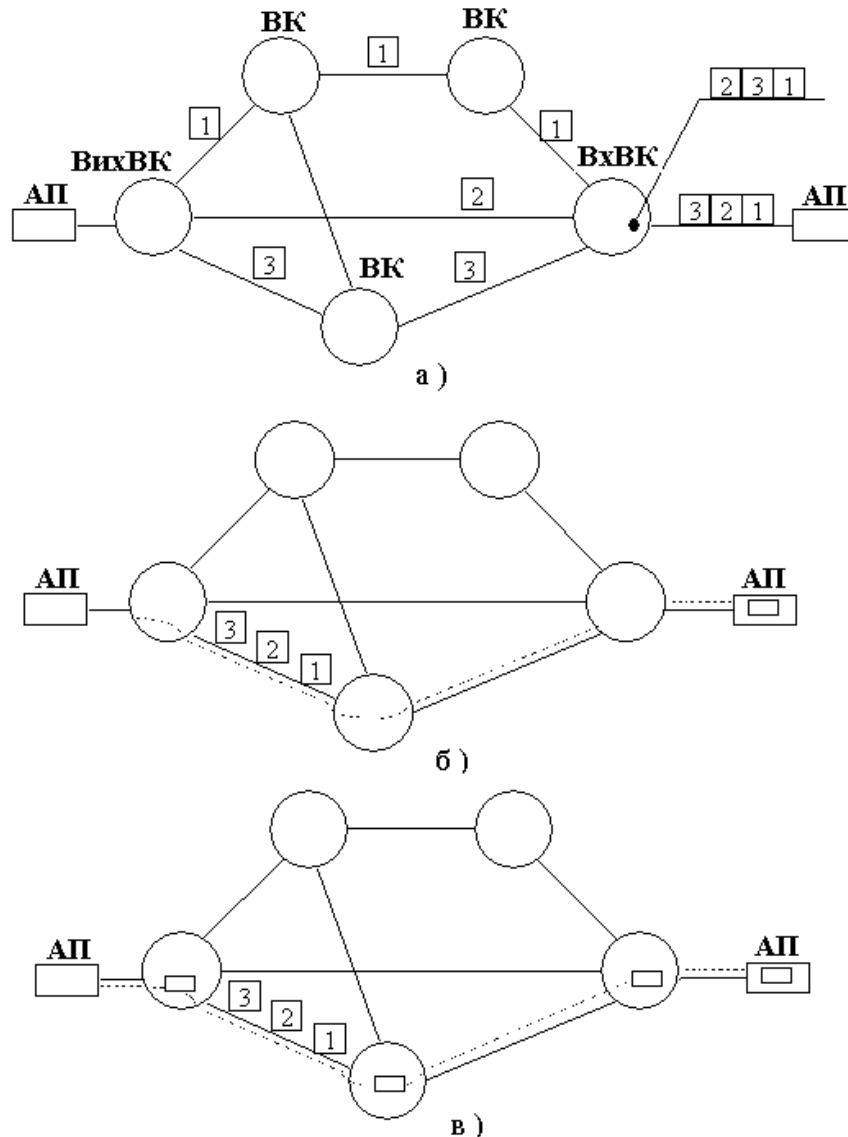


Рис.4.7. Режими комутації пакетів: а) датаграмний, б) віртуального каналу, в) віртуального з'єднання. ВК- вузол комутації

Режим віртуального каналу. Цей режим характеризується тим, що фазі передавання пакетів повідомлення передують фази встановлення логічного з'єднання між кореспондуючими АП, яке називається **віртуальним каналом** (рис.4.7,б). Фаза встановлення віртуального каналу включає обмін службовими пакетами, при якому, як і в попередньому режимі, здійснюється резервування пам'яті для прийому повідомлення в АП одержувача, а також визначається фіксований маршрут прямування в мережі пакетів передаваного повідомлення. Кожний пакет облаштовується ідентифікатором віртуального каналу, який розміщується в полі заголовка. Всі проміжні ВК, через які проходить маршрут віртуального каналу, тепер не

приймають самостійних рішень по маршрутизації пакетів, а спрямовують пакети у відповідності з ідентифікаторами віртуального каналу. Оскільки пакети рухаються по фіксованому маршруту, у випадку зайнятості вихідного напрямку вони затримуються у ВК та накопичуються у вихідних буферах. Якщо вихідний буфер переповнюється, виникає блокування ВК. Блокування можуть викликати недопустимі затримки пакетів в мережі, а також безвихідне становище, що блокує роботу всієї мережі. Цей недолік усувається в режимі віртуального з'єднання, в якому забезпечується резервування ресурсів пам'яті у всіх проміжних ВК по маршруту прямування пакетів передаваного повідомлення.

Режим віртуального з'єднання. Режим характеризується тим, що у фазі встановлення віртуального каналу здійснюється резервування буферів в ЗП ВК, які входять до маршруту передавання пакетів, достатніх для проходження пакетів без затримок (рис.4.6,в). Цей режим наближений за принципом встановлення зв'язку до методу КК. Якщо при встановленні зв'язку будуть зарезервовані і тайм-слоти в транзитних лініях, то відміна від КК буде лише у розмірі пакету та способі корекції помилок (при КК це робиться на вхідному ВК, а при КП – на всіх ВК, які входять до маршруту віртуального каналу).

Комутація пакетів має деякі переваги над комутацією часових каналів:

- ефективність використання ліній при КП набагато вище, оскільки ресурси ліній та вузлів мережі можуть динамічно розподілятися між багатьма пакетами від різних прикладень;
- в мережі з комутацією пакетів може здійснюватися перетворення швидкості передавання даних. Це забезпечує можливість обміну повідомленнями АП, які підключені до мережі каналами різної пропускної спроможності (смуги пропускання);
- користувачам не може бути відмовлено у з'єднанні навіть, якщо мережа перенавантажена. При цьому лише можуть виникнути затримки з доставленням пакетів або зменшена швидкість передавання;
- у мережах з КП можна використовувати систему пріоритетів. Пакети з високим пріоритетом будуть доставлятися з меншими затримками.

Перша мережа передавання пакетів ARPA була введена в експлуатацію в кінці 60-х років в США. Фінансування проекту здійснювалося Управлінням перспективних наукових досліджень (Advance Research Project Agency) США. Максимальний розмір пакету складав в мережі ARPA 1024 біт (128 байт). Мережа могла передавати та приймати повідомлення довжиною, що не перевищує 8 пакетів.

Міжнародна організація по стандартизації (ISO) та МСЕ (ITU-T) затвердили метод передавання та комутації пакетів у вигляді Рекомендацій Х.25. Крім пакету розміром 128 байт, який приймається по умовчання, допускаються також і інші розміри пакету: 16, 32, 256, 512, 1024, 2048, 4096

байт. Крім довжини пакетів, рекомендовані також формати пакетів та кадрів (фреймів), а також протокол їх передавання та прийому.

Протокол передавання даних з комутацією пакетів (технологія X.25) стає одним з найбільш широко розповсюджених та популярних протоколів, що дозволяють вирішувати проблеми „поганих” каналів зв’язку з великим рівнем завад, якими, наприклад, є аналогові телефонні лінії.

Для забезпечення необхідної достовірності передавання інформації в технології X.25 використовується багаторівнева система виявлення та коректування помилок. Кожний ВК мережі X.25 на шляху прямування пакету перевіряє цілісність пакету, читає контрольну суму, яка міститься у заголовку пакету, обчислює її нове значення та порівнює їх. При невеликій кількості помилок ВК здатний відновити пакет та передати його далі. При цьому вузол надсилає підтвердження попередньому вузлу про коректний прийом пакету. Якщо ж відновити пакет неможливо, робиться запит на його повторне передавання.

Великий рівень завад на лініях призводить до падіння швидкості передавання, з цієї причини гранична швидкість передавання в мережах X.25 складає 64 кбіт/с. Крім того, ця швидкість не залишається постійною величиною і залежить від рівня завад та викликаних ними помилок.

Метод передавання та комутації пакетів реалізований не лише в протоколі X.25, але й, наприклад, в протоколі TCP/IP, який також вперше був введений на мережі ARPA, після чого вона стала називатися Internet. Широке розповсюдження цього протоколу забезпечене великою популярністю мережі Internet, яка охоплює багато країн світу.

4.5. Передавання та комутація кадрів. Технологія Frame Relay

У сучасних швидкісних телекомунікаційних мережах, які використовують волоконно-оптичне середовище для передавання даних, рівень помилок різко знизився, порівняно з каналами аналогової телефонії. В результаті велика надлишковість кодування (застосування складних кодів, які виявляють та виправляють помилки) пакетів стає непотрібною, спрощується система заголовків, яка була перенасичена вмістом інформації для відновлення пакетів.

В 90-х роках МСЕ утверджує новий протокол з родини протоколів X.25, який отримав назву протоколу **передавання та комутації кадрів (фреймів) – Frame Relay**. В цьому протоколі немає тієї надлишковості, яка характерна для X.25, по-перше, тому що він спеціально розроблювався для використання на лініях зв’язку з низьким рівнем завад, по-друге, в ньому немає системи контролю помилок всього фрейму. Замість цього, лише перевіряється цілісність отриманого фрейму і тільки для адресного поля здійснюється контроль помилок. Завдяки цьому Frame Relay забезпечує підключення користувачів телекомунікаційної мережі на швидкості 2 Мбіт/с. Головною перевагою технології Frame Relay є низька надлишковість службової

інформації у пакеті, що помітно збільшило продуктивність передавання даних у мережі (в 4 рази відносно X.25). В іншому, протокол Frame Relay багато в чому співпадає з протоколом X.25. Розміри фреймів можуть мати змінну довжину, так як самі пакети допускають використання різних довжин і, як наслідок, варіації затримок при передаванні фреймів. Це не зовсім допустимо для передавання мовних та відеоповідомлень, які вимагають регулярних швидкостей передавання.

Областю більш ефективного застосування технології Frame Relay є взаємодія локальних мереж LAN через глобальні телекомунікаційні мережі, а також забезпечення високошвидкісних інтерфейсів користувачів, що значно вигідніше арендованих каналів.

Будучи різновидом протоколів X.25, Frame Relay добре поєднується з мережами X.25. Можливо створення гібридних мереж, які включають ВК з FR та ВК з КП, а також ВК-шлюзи, які забезпечують перетворення протоколів. Передавання фреймів по мережі здійснюється з використанням режимів віртуального каналу та віртуального з'єднання, а також діаграмного режиму.

До недоліків технології Frame Relay відноситься неможливість керування потоками фреймів при перевантаженні мережі. В зв'язку з цим, на мережах FR застосовується система „кредитів”. Кредит CIR (Committed Information Rate) видається користувачу у вигляді дозволу на передавання даних зі швидкістю, яка не перевищує задану таким кредитом. При цьому CIR, який вимірюється кілобітами за секунду, визначається в термінах дозволеного обсягу даних B , який може бути надісланий користувачем до мережі за час T : $CIR = B/T$.

Значення CIR є середнім гарантованим мережею значенням швидкості передавання даних при відсутності перевантажень на мережі. Кредит CIR, який видається адміністратором мережі, може бути однаковим для всіх користувачів або враховувати запит користувача.

4.6. Технологія ISDN

Технологія ISDN відома як *комутація каналів на різних швидкостях*, або *сумісна комутація каналів та пакетів*.

Традиційна комутація при часовому розподілі каналів являє собою дуже негнучку процедуру, так як тривалість тайм-слоту однозначно визначає швидкість передавання в каналі зв'язку.

Цифрова мережа інтегрального обслуговування ISDN (Integrated Services Digital Network) представляє собою систему зв'язку з комплексом послуг з передавання як даних, так мови і відео. Вимоги різних служб до швидкості передавання тут можуть бути дуже різними – від дуже низьких (1 кбіт/с для телеметрії) до дуже високих (140 Мбіт/с – TV високої чіткості). Для задоволення цих вимог був розроблений варіант об'єднання комутації каналів з мультиплексуванням, який забезпечує широкий діапазон швидкостей передавання даних.

Система передавання з багатошвидкісною комутацією каналів використовує такий же метод часового мультиплексування, що й система із звичайною комутацією каналів. Але в одному з'єднанні (широкосмуговому каналі) може використовуватися $n(n>1)$ цифрових каналів DS0 (64 кбіт/с). Таким чином, кожне з'єднання може бути кратним швидкості 64 кбіт/с.

Системи комутації, які забезпечують високошвидкісну комутацію каналів, є більш складними у порівнянні з системами із звичайною комутацією каналів CS, оскільки всі канали окремих ланок, що утворюють з'єднання, є синхронними.

Важливою проблемою для систем з високошвидкісною комутацією каналів є вибір базової швидкості передавання. МСЕ визначив в якості основних два інтерфейси доступу до ISDN:

- базовий доступ (Basic Rate Access) 144 кбіт/с, який забезпечує два розмовних канали типу В зі швидкістю 64 кбіт/с та один сигнальний канал типу D зі швидкістю передавання 16 кбіт/с (2В+D);
- первинний доступ PRA (Primary Rate Access), який дозволяє працювати з каналами T1 (1,5 Мбіт/с) та E1 (2 Мбіт/с), які розділені на 23 та 30 каналів типу В відповідно, і, окрім цього, мають один сигнальний D канал зі швидкістю 64 кбіт/с (23В+D або 30В+D). Виділена лінія може використовувати як окремий канал В, так і їх комбінацію для досягнення великої швидкості. Як встановлення, так і роз'єднання зв'язку між абонентами здійснюються через сигнальний канал та відбуваються майже одночасно.

Вибрана швидкість каналу повинна дорівнювати або перевищувати пікову швидкість передавання джерела під час всього сеансу зв'язку, хоча середня швидкість передавання може бути дуже низькою. Це характерно для передавання мови та відео, так названого **ізохронного потоку**, який характеризується зміною швидкості передавання – „вибуховим” (пачечним) режимом роботи джерела, коли відеокартинка, яка повільно змінюється, раптом замінюється новим кадром. Аналогічна картина спостерігається при передаванні мови.

Таким чином, під час „вибухового” трафіку не забезпечується ефективно використання пропускної спроможності каналу навіть при високошвидкісній комутації каналів.

Дана технічна проблема вирішується використанням *сумісної комутації* каналів та пакетів. Передавання потоків різної інформації (дані, мова) є відмінною особливістю мереж ISDN. Залежно від вимог, які пред'являються до якості обслуговування різних потоків, для їх передавання можна вибирати той або інший спосіб комутації.

На теперішній час відомо три варіанти сполучення КК з КП: гібридна, адаптивна та змішана комутації.

Гібридна комутація. Основна ідея полягає в тому, що пропускна спроможність лінії зв'язку, тобто кадр (фрейм) ділиться на дві області (рис.4.8). При цьому m тайм-слотів у кожному кадрі відводиться для часових

каналів, а та частина, яка залишилася – для передавання пакетів (в даному прикладі трьох повідомлень: C_1 , C_2 та C_3). У вільній від часових каналів частині кадру 1 передаються пакети $P_1(C_1)$, $P_1(C_2)$ та частина пакету $P_1(C_3)$. У наступному, кадрі 2, аналогічно після m часових каналів закінчується передавання першого пакету $P_1(C_3)$ повідомлення C_3 , а потім прямує другий пакет $P_2(C_1)$ повідомлення C_1 та частина другого пакету $P_2(C_2)$ повідомлення C_2 і т.д.

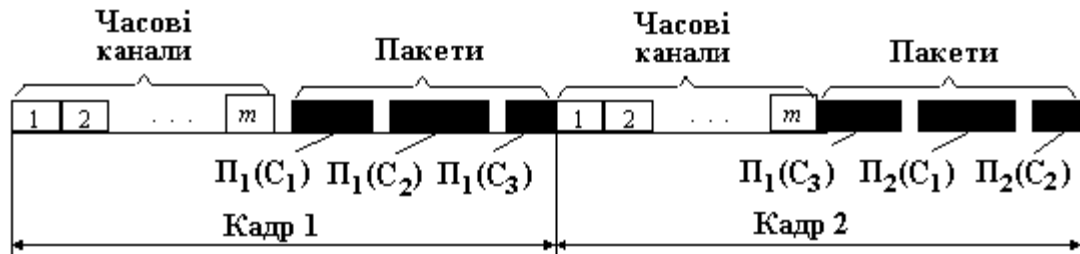


Рис.4.8. Структура кадру при гібридній комутації

Адаптивна комутація. Основана за принципом статистичного ущільнення зайнятого з'єднання в режимі КК пакетами в паузах при передаванні мови або між передаванням даних. При цьому може бути значно збільшена пропускна спроможність лінії зв'язку. Відомо, що частина пауз при передаванні мови складає біля 60%, а при діалоговому зв'язку людини з ЕОМ вона може перевищувати 90%. Крім того, пакети можуть передаватися і по вільним каналам.

Змішана комутація каналів та пакетів. На ВК відбувається встановлення каналу при передаванні інформації як методом КК, так і методом КП. Тому метод можна було б розглядати як метод КК. Але, на відміну від методу КК, тут встановлення каналу у ВК від входу до виходу відбувається не на весь час сеансу зв'язку, а лише на час передавання пакету. На час всього сеансу для передавання пакетів встановлюється віртуальний канал, як і на мережі комутації пакетів, тобто фактично фіксується лише шлях передавання пакетів.

Після встановлення віртуального каналу для кожного пакету, який надійшов, встановлюється часовий канал, як при встановленні з'єднання під час комутації каналів, тобто часовий канал існує тільки на протязі часу проходження пакету крізь ВК. Як тільки пакет надійде до вихідного буферного ЗП, часовий канал може бути використаний для передавання іншого пакету або встановлення часового каналу для сеансу зв'язку інших абонентів.

Цифрові мережі ISDN на теперішній час широко розповсюджені як альтернатива традиційним аналоговим мережам із застосуванням модемів, які виділені лініям, окремим службам глобальних мереж. При значно більшій гнучкості, порівняно з простою комутацією каналів, в технології ISDN все ж зберігається фундаментальне обмеження: хоча користувач має можливість вибору швидкості передавання, сам набір швидкостей залишається цілком визначеним (фіксованим).

Системи комутації, розроблені для високошвидкісної комутації каналів, містять набір окремих комутаторів, кожний з яких виконує комутацію каналів із визначеною швидкістю. Інформація, яка надходить з абонентської лінії (АЛ), перед надходженням на різні комутатори демультимплексується, а інформація, яка надходить від комутатора до АЛ, навпаки, мультимплексується.

Не дивлячись на всі переваги технології ISDN, мережні ресурси продовжують використовуватися ефективно. Так, наприклад, якщо низькошвидкісні комутатори всі зайняті, то додаткове низькошвидкісне з'єднання не може бути утворене, не дивлячись на те, що можуть бути не задіяні високошвидкісні комутатори.

4.7. Технологія АТМ

Технологія АТМ (асинхронний режим перенесення) (Asynchronous Transfer Mode) є дійсною альтернативою всім існуючим мережним технологіям. На сьогодні АТМ є єдиною розповсюдженою технологією, яка дозволяє повноцінно передавати інтегральний трафік (голос, відео, дані) при одночасному задоволенні цілком несумісних вимог до умов передавання.

Сутність технології АТМ полягає у транспортуванні всіх видів інформації пакетами фіксованої довжини 53 байта, з яких 48 байт визначають розмір інформаційного поля та 5 байт відводяться для заголовку. Такий пакет отримав назву *комірки* (cell). Комірки передаються без додаткового оформлення в кадр (фрейм) і для їх обробки використовуються більш прості протоколи, порівняно з передаванням пакетами по протоколу Х.25. Крім того, фіксована довжина та регулярність потоку, який вони створюють, не вимагає включення флагу між ними для відокремлення однієї комірки від іншої. Комірки фіксованої довжини передаються по каналу неперервно. У тому випадку, коли інформаційні комірки відсутні, по каналу передаються „вільні” комірки стандартної величини, тобто комірки, які не містять дані в полі інформації, на що вказується в заголовку. Пусті комірки необхідно передавати для того, щоб не порушити *покоміркову дискретизацію* в каналі. Покоміркова дискретизація нагадує часову дискретизацію у синхронному режимі передавання. Але, якщо при синхронному режимі тривалість тайм-слоту (часового каналу) залежала від швидкості передавання імпульсів (бітів) по каналу, то при асинхронному режимі тривалість інтервалу часу, що витрачається на передавання комірки, залежить лише від кількості імпульсів (бітів), необхідних для передавання комірки, але не від швидкості їх передавання. Таким чином, за допомогою комірок здійснюється як би часова дискретизація в каналі, у зв'язку з чим асинхронний режим передавання ще називають **асинхронним часовим мультимплексуванням**.

Відмінність асинхронного часового мультимплексування (АВМ) від синхронного часового мультимплексування (СВМ) полягає в тому, що комірки, що належать різним інформаційним повідомленням, можуть

прямувати у довільному порядку, тоді як тайм-слоти при СВМ, відведені для передавання різних повідомлень, розміщуються на осі часу (у структурі кадру) у визначеній фіксованій послідовності відносно початку цикла дискретизації (початку кадрів) (рис.4.9).

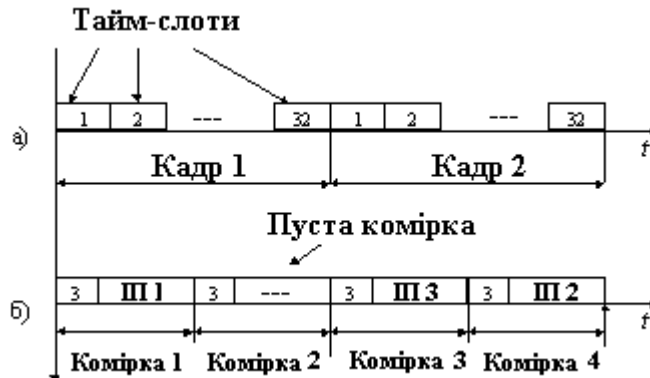


Рис.4.9. Принцип асинхронного мультиплексування: а) синхронне, б)асинхронне мультиплексування. ІІ- інформаційне повідомлення

Передавання комірок по мережі здійснюється в режимі віртуального з'єднання, у зв'язку з чим фази передавання передуює фаза встановлення віртуального з'єднання, під час якої здійснюється перевірка достатності обсягу мережних ресурсів як для якісного обслуговування вже встановлених віртуальних з'єднань, так і для того, що створюється знову. Якщо мережних ресурсів недостатньо, кінцевому пристрою видається відмова у встановленні з'єднання. Таким чином, в мережі АТМ реалізується функція контролю та захисту від перевантажень.

З метою зменшення часових затримок у вузлах комутації, функції заголовку пакету АТМ обмежуються. Основною функцією заголовку є ідентифікація віртуального з'єднання та забезпечення гарантії правильної маршрутизації. Заголовок також дає можливість мультиплексування різних віртуальних з'єднань в одному цифровому тракті. Оскільки помилка в заголовку може призвести до неправильної маршрутизації, передбачено виявлення та виправлення помилок у заголовку пакету АТМ.

Із-за обмеження функцій, які виконуються заголовком пакету АТМ, його обробка вважається відносно простою процедурою та може здійснюватися на дуже високих швидкостях, що забезпечує незначну затримку комірок в чергах буферних пристроїв комутаторів АТМ. Продуктивність комутаторів АТМ вже сьогодні становить 10 Гбіт/с.

Комутатори АТМ є основними пристроями мережі АТМ. До їх функцій входить не лише встановлення віртуального з'єднання між кінцевими пристроями користувачів, але й забезпечення **режиму якісного обслуговування QoS (Quality of Service)** для цього з'єднання. Параметри режиму QoS встановлюються користувачем при замовленні на встановлення зв'язку у фазі формування віртуального з'єднання.

В рекомендаціях ІТУ-Т передбачені наступні види QoS:

- CBR (Constant Bit Rate) – виділення каналу з фіксованою пропускною спроможністю, гранично допустимою затримкою та іншими характеристиками, замовленими користувачем. Такий вид QoS в основному використовується під час передавання розмови.
- RT-VBR (Real Time Variable Bit Rate) – виділення каналу з пропускною спроможністю в заданих межах (min-max), з жорсткими вимогами до затримки та іншими параметрами на замовлення користувача. RT-VBR ідеально підходить для передавання відео та мови.
- NRT-VBR (Not Real Time Variable Bit Rate) – VBR з послабленими вимогами до затримки передавання. Може застосовуватися для передавання відео та мови, які не вимагають режиму вільного часу.
- ABR (Available Bit Rate) – надання користувачу частини фізичного каналу, яка залишилася не використаною. При встановленні з'єднання користувач задає лише межі допустимих змін швидкості передавання. Величина затримок передавання не контролюється. Режим застосовується при передаванні даних.
- UBR (Unspecified Bit Rate) – самий низькопріоритетний режим передавання. Полягає у наданні користувачу зайняття будь-якого каналу без будь-яких гарантій якості передавання.
- UBR+ - модифікований UBR, який передбачає тимчасову зупинку передавання комірок повідомлення під час виникнення перевантаження в мережі. Застосування UBR+ дозволяє розвантажити фізичні канали.

Забезпечення режиму QoS є значною відміною технології ATM від усіх існуючих мережних технологій. Це має принципове значення при інтеграції передавання даних з передаванням відео та мови, які надто чутливі до затримки.

Єдиним протоколом, що забезпечує QoS, є протокол PNNI Phase 1.0 (Private Network – to – Network Interface). Протокол досить складний, для роботи, тому що треба в 10 разів більше процесорного часу, ніж для відомого протоколу OSPF, який використовується в маршрутизаторах.

Технологія ATM, або режим асинхронної передачі (РАП і АРП). – одна із перспективних технологій при створенні мереж зв'язку. Основне призначення мереж ATM - це забезпечення високошвидкісної передачі сигналів різного класу: комп'ютерних даних, аудіо-, відео- і телевізійних.

У технології ATM реалізований принцип передачі всіх видів інформації пакетами, фіксованої й дуже маленької довжини. Довжина пакета, названа коміркою (Cell), становить 53 байта (5 + 48), з яких 5 байт використовується під заголовок, а 48 байт - під робоче навантаження.

Технологія ATM розроблялася спочатку як частина технології *B-ISDN* — широкосмугової цифрової мережі з інтеграцією служб/обслуговування. Через затримку із впровадженням технології *B-ISDN* у цілому ATM стала розвиватися самостійно. ATM не має недоліків мереж ПЦІ й СЦІ, а основною

перевагою технології ATM є можливість транспортувати інформаційні потоки незалежно від швидкості передачі.

Швидкості передачі, реалізовані системами ATM, перекривають у цей час діапазон від 64 кбіт/с до 40 Мбіт/с і відповідають ряду: 64, $n * 64$, 1,5/2, 6/8, 13, 26, 32, 34/45, 52, 98, 100, 140, 155, 622 Мбіт/з, 2, 5, 10 й 40 Гбіт/с або у стандартному позначенні DSO : $л * DSO_i$, T_1/E_1 , T_2/E_2 , $FLRIBM$, $LRIBM$, $DSJ3$, T_3/E_3 , $OC-1$, $DSJ4$, $FDD1$, E_4 , $STM-1$, $STM-4$, $STM-16$, $STM-64$ й $STM-256$. У мережах ATM з'єднання кінцевого вузла з мережею здійснюється індивідуальною лінією зв'язку, а комутатори з'єднуються між собою каналами з ущільненням, які передають пакети всіх вузлів, підключених до відповідних комутаторів.

Мережа ATM має структуру, схожу на структуру телефонної мережі — кінцеві станції з'єднуються з комутаторами нижнього рівня, які у свою чергу з'єднуються з комутаторами більш високих рівнів. Комутатори ATM користуються адресами кінцевих вузлів для маршрутизації трафіку в мережі А.1.1— адреса станції (20 байт) комутаторів. Комутація пакетів відбувається на основі ідентифікатора віртуального каналу (*Virtual Channel Identifier* — *VCL*), що призначається з'єднанням при його встановленні й знищується при розриві з'єднання. Віртуальні з'єднання встановлюються на підставі довгих 20-байтів адрес кінцевих станцій. Така довжина адреси розрахована на дуже великих мережах, аж до всесвітніх. Адреса має ієрархічну структуру, подібну до номера в телефонній мережі й використовує префікси, що відповідають кодам країн, міст і т.п.

ATM є технологією, розрахованою на встановлення з'єднань між користувачами послуг мережі. Для встановлення з'єднань використовується посилка з 20-байтовим адресою. Після встановлення фізичного з'єднання або фізичного ланцюга виявляється сформований шлях між користувачами і стає можлива організація віртуальних ланцюгів або логічних з'єднань, шляхом використання адресної частини заголовка.

Робоче навантаження, отримане від джерела, адаптується відповідно до вимог ATM -технології й розділяються на 48-байтові блоки з подальшим їхнім поділом. У функції ATM також входить корекція помилок, запобігання втрат комірок, відновлення часу й ін. Функції адаптації вводяться на обладнанні кінцевих станцій, які передають і приймають інформацію. Тому фактично для передачі корисного навантаження виділяється менш 48 байт. Черга властива технології ATM, фактично — ATM стоїть в черзі. Оскільки технологія ATM має певну тривалість, вона може переповнитися, якщо високо інтенсивність трафіка, що перевищує очікування мережі. Це приводить до втрати комірок одного й більше з'єднань. Практично ж у мережі ATM допускається також тривалість черги, що робить імовірність втрати з'єднань дуже маленькою.

Мультиплексування й комутація. Мультиплексування в ATM може здійснюватися ієрархічно двома рівнями: нижнім — мультиплексування віртуальних каналів, верхнім — мультиплексування віртуальних каналів.

Число віртуальних каналів дорівнює $2^{16} = 65\,536$, число віртуальних каналів — $2^8 = 256$, що дає можливість сформувати $16\,777\,216$ віртуальних ланцюгів, що проходять через інтерфейс *UNI*. Ці можливості істотно розширюються в процесі маршрутизації, якщо врахувати, що існує ще одина ступінь — адреса портів, на які приймаються й з яких відправляються АТМ-потoki.

Організація мережі АТМ. Мережа АТМ має симетричну базову схему організації. У цій схемі проглядається необхідність двох видів кожного типу інтерфейсів (використані позначення P_b і P_r):

мережний інтерфейс *NNI* (або P_b -*NNI*) — інтерфейс між комутатором загальної мережі АТМ;

користувальницький інтерфейс *UNI*, що складається фактично із двох типів інтерфейсів: **приватний інтерфейс *UNI* — P_r -*UNI* (*PUNI*)** — між користувачем і комутатором приватної мережі АТМ; **загальний інтерфейс *UNI* — P_b -*UNI*** — між комутаторами приватної й загальної мережі АТМ. Схема організації мережі АТМ може бути повною, якщо вона включає різні групи користувачів (ГП).

4.8. Швидка комутація пакетів

В мережах з комутацією пакетів функції комутації виконуються спеціальними комутаційними ЕОМ, які утворюють в мережі вузли (центри) комутації пакетів. У ВК традиційних мереж пакетної комутації (мереж X.25) пакети оброблюються у багатопрограмному режимі в основному одним процесором.

Швидка комутація пакетів (ШКП) характеризує наступне покоління мереж з комутацією пакетів – мереж АТМ і відрізняється тим, що за рахунок використання у ВК багатопроцесорних комутаційних систем (комутаторів АТМ) з багатьма входами та виходами в них забезпечується паралельна обробка великої кількості пакетів, які комутуються одночасно (комірок АТМ).

Метод ШКП є найбільш досконалим методом комутації пакетів, який забезпечує за рахунок паралельної обробки комірок високу продуктивність ВК.

Метод ШКП може використовуватися в комутаційних системах ВК як з електронними, так і з оптичними комутаторами.

Комутаційні системи ШКП поділяються на три типи:

- комутатори з колективною пам'яттю;
- комутатори із загальним середовищем;
- комутатори з просторовим розподілом.

Незалежно від типу комутатора на його входах та виходах встановлюються контролери. До функцій вхідних контролерів (ВхК) входять: демультіплексування вхідних потоків комірок, що надходять по входам заголовку, який визначає маршрут їх руху всередині комутатора. Введення до кожної комірки доповнення таким заголовком називається

швидким пакетом (ШП). Вихідний контролер (ВихК) пересилає ШП з виходу комутаційної системи до вихідної лінії зв'язку, здійснюючи мультиплексування. При цьому в ШП знищується додатковий заголовок – і ШП перетворюється знову в комірку. Для уникнення втрати ШП у випадку виникнення конфлікту (дві та більше комірок прямують до одного і того ж виходу) контролери можуть містити вхідні та вихідні буферні запам'ятовуючі пристрої (БЗП).

Комутатори з колективною пам'яттю. Високошвидкісні комутатори з колективною пам'яттю є найбільш простим видом комутаторів АТМ. Принципи їх побудови багато в чому схожі з побудовою традиційних комутаторів пакетів мереж X.25.

Структура комутатора з колективною пам'яттю приведена на рис.4.10.

Всі вхідні та вихідні контролери безпосередньо з'єднані із загальним запам'ятовуючим пристроєм, який доступний для запису із всіх вхідних контролерів та читання для всіх вихідних контролерів. В пам'яті можна реалізувати як вхідні, так і вихідні БЗП. Швидкість запису/зчитування для колективної пам'яті повинна бути досить великою, щоб можна було обслуговувати одночасно вхідний та вихідний трафіки. Швидкість запису/зчитування визначається як $2NV$, де $2N$ – кількість портів (входів та виходів), V – швидкість обміну через один порт. Так, для 32-канального комутатора з каналною швидкістю 150 Мбіт/с швидкість запису/зчитування повинна складати не менше 9,6 Гбіт/с.

Комутатори із загальним середовищем. В комутаторі із загальним середовищем всі ШП, які надходять по вхідним каналам, синхронно мультиплексуються у загальне середовище з високою швидкістю передавання, в якості якої може бути використана загальна шина (рис.4.11) з розподілом в часі або кільце (рис.4.12).

Відмінність комутаторів із загальним середовищем від комутаторів з колективною пам'яттю полягає в тому, що в них здійснюється повністю роздільне використання пам'яті вихідними чергами, яке реалізується у вигляді БЗП вихідних контролерів. Це призводить до незалежного формування вихідних черг ШП з дисципліною обслуговування „першим прийшов – першим обслуговується” (Fi-Fo).

Комутатори з просторовим розподілом. Протилежно варіантам архітектури із загальною пам'яттю та загальним середовищем, для яких характерно мультиплексування вхідного трафіку всіх вхідних каналів до єдиного швидкісного потоку з наступним розподілом його по виходам, в комутаторі з просторовим розподілом від входів до виходів встановлюється декілька з'єднань всередині комутаційної системи, швидкість передавання по кожному з яких може дорівнювати швидкості передавання по одному вхідному каналу.

Передавання швидких пакетів всередині комутаційної системи відбувається по віртуальним каналам, аналогічно тому, як комірки рухаються в мережі АТМ. Комутація швидких пакетів здійснюється в

комутаторі на основі аналізу управляючої інформації, яка міститься в заголовку ШП.

Управління комутатора може бути як централізованим, так і розподіленим.

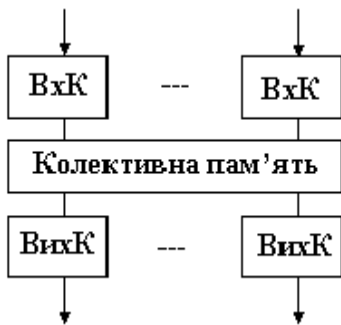


Рис. 4.10. Комутатор з колективною пам'яттю

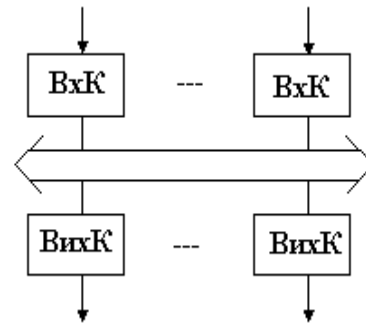


Рис.4.11. Шинна структура

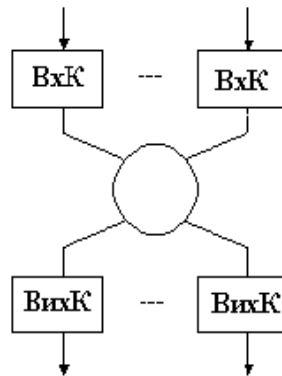


Рис. 4.12. Кільцева структура

Комутатори з даним видом архітектури мають недоліки. В залежності від визначеного виду внутрішньої архітектури може бути неможливим встановлення всіх необхідних з'єднань. Ця особливість отримала назву *внутрішнього блокування*. Вона обмежує пропускну спроможність комутатора та являє серйозну проблему при створенні комутаторів АТМ з просторовим розподілом.

Комутатори з просторовим розподілом можуть бути розділені на дві групи: *матричні* та *типу бан'ян*. Розглянемо принципи реалізації кожної з них.

Матричні комутатори. В основі комутаційної структури матричного типу – квадратний масив з N^2 елементів комутації (ЕК), по одному на кожну пару „вхід-вихід” (рис.4.13).

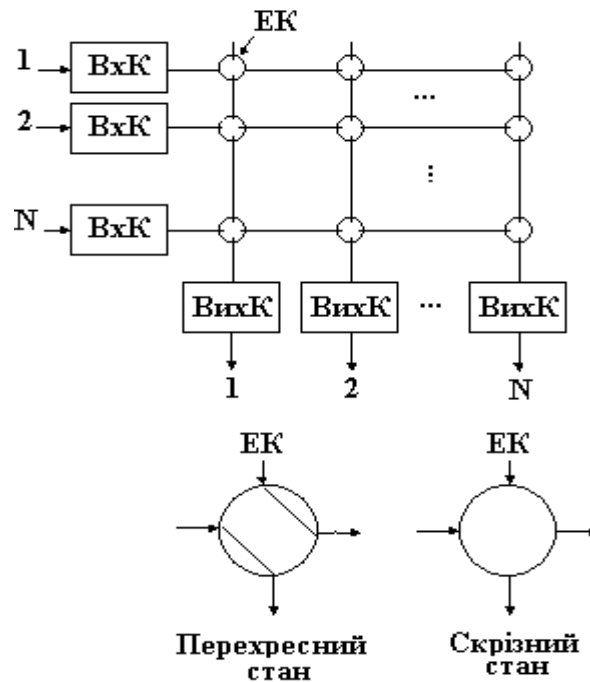


Рис. 4.13. Комутатори матричної структури

Замикання ЕК, який знаходиться в точці перемикання, утворює фізичне з'єднання i -го входу з j -м виходом. ЕК може знаходитися в двох станах: *скрізному* або *перехресному*. Припустимо, що на початку всі ЕК знаходяться в скрізному стані. Для з'єднання i -го входу з j -тим виходом достатньо привести (i,j) -й ЕК в перехресний стан, а інші ключі залишити в скрізному стані. Необхідне переключення ЕК в перехресний стан може бути здійснено самим швидким пакетом індивідуально, якщо в ньому міститься номер необхідного виходу. Глобальної інформації відносно всіх ШП та необхідних для них виходів для цього не потрібно. Ця властивість називається *самомаршрутизацією*. Вона дозволяє суттєво спростити управління комутаційною структурою за рахунок розподілу функцій управління по всім ЕК.

Збільшення N (більше двох десятків) значно ускладнює роботу комутатору матричного типу.

Комутатори типу бан'ян. Комутатори цього типу є альтернативою матричним комутаторам та ґрунтуються на багатокаскадних мережах. Основними структурними компонентами багатокаскадних мереж є *розгалуджувачі* та *концентратори*, які реалізуються за допомогою елементарних (2×2) перемикачів, які можуть знаходитися в двох станах – скрізному та перехресному.

Розгалуджувач (рис.4.14) на $N=2^k$ виходів може бути побудований у вигляді двійкового дерева з k розгалудженнями на $N-1$ перемикачі. В цьому дереві існує єдиний шлях від входу до кожного з виходів. Звичайно, що такий розгалуджувач має властивість *самомаршрутизації*.

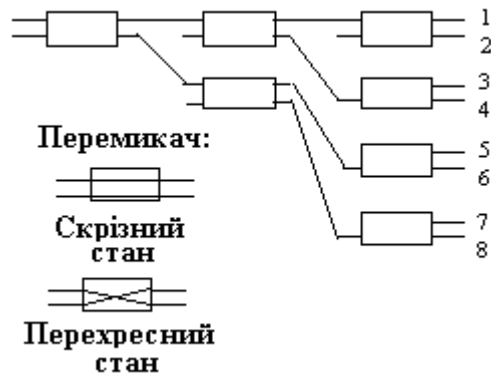


Рис. 4.14. Двійкове дерево, яке з'єднує вхідний канал з вихідним, за допомогою перемикачів

Конструкція концентратора така ж як і розгалужувача, тільки в якості входу використовується вихідний канал та встановлення перемикачів здійснюється починаючи від входу (вхідного каналу).

Можливе спільне використання перемикачів декількома розгалужувачами та концентраторами. Шляхом додавання пар вхідних каналів до вже існуючої структури можна з'єднати між собою N входів та N виходів, використовуючи всього лише $(N/2) \log_2 N$ перемикачів (рис.4.15).

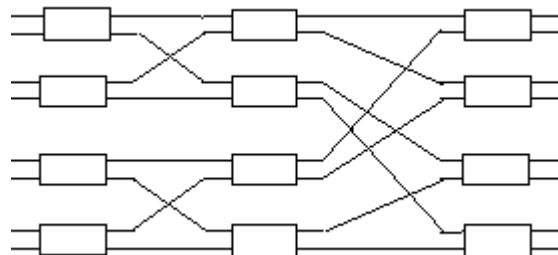


Рис.4.15. Комутатор типу бан'ян , на 8 входів та 8 виходів

Існує дуже велика кількість різних багатокаскадних структур. За останні два десятиріччя спеціалісти різних країн проводили дослідження багатокаскадних КС та напрацювали комплекс типових рішень, які реалізуються ведучими фірмами-виробниками обладнання АТМ мереж.

Але, незалежно від визначеного різновиду, всі $N \times N$ багатокаскадні КС мають наступні основні властивості:

- існує єдиний шлях в КС, який з'єднує вхідний канал з вихідним;
- встановлення з'єднання може здійснюватися децентралізовано з використанням процедури самомаршрутизації;
- у всіх структурах можливе одночасне встановлення не більше N з'єднань;
- структура КС є регулярною, що забезпечує зручність її реалізації;

- структура КС є модульною, що дозволяє нарощувати її без необхідності модифікації фізичного компонування або алгоритмів.

Основними способами запобігання внутрішніх блокувань та збільшення пропускної спроможності комутаторів типу бан'ян є:

- розміщення в місцях виникнення конфліктів буферів (використання буферизованої бан'яноподібної структури КС);
- використання вхідної буферизації комірок на вході за допомогою керуючих сигналів, що формуються при виявленні конфлікту;
- паралельне або тандемне використання групи бан'яноподібних з'єднувальних шляхів, що збільшує кількість можливих шляхів між входами та виходами.

Використання бан'яноподібних КС дозволило привести до мінімуму кількість точок комутації в комутаторних АТМ.

Використання технології АТМ (яку називають технологією мереж ХХІ століття) дає можливість створювати мультисервісні мережі, які працюють в асинхронному режимі, що дозволяє вирішувати багато телекомунікаційних задач практично відразу, не дочекавшись реалізації до кінця цілого ряду таких важливих аспектів, як сигналізація, маршрутизація, адресація і т.п.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМООЦІНКИ РІВНЯ ЗНАНЬ

1. Як формуються потоки DS1, DS2, DS3, DS4?
2. Представити формат синхронного транспортного модуля STM – 1
3. Характеристика технологій PDH та SDH.
4. Які рівні та швидкості передавання мають синхронні транспортні модулі?
5. Які особливості побудови має синхронна ієрархія?
6. Основні характеристики елементів STM-1?
7. Які переваги мають синхронні мережі порівняно з плезіохронними?
8. Принципи технології X.25?
9. У чому полягає принцип передавання та комутації пакетів?
10. Яким чином здійснюється передавання повідомлення пакетами?
11. Яким чином здійснюється формування пакетів мовних повідомлень?
12. Порівняння датаграмного режиму комутації пакетів та режиму віртуального виклику?
13. Переваги та недоліків принципів комутації пакетів та комутації каналів?
14. Характеристика технологій Frame Relay, ISDN, АТМ?
15. У чому полягає принцип асинхронного мультиплексування?
16. Які існують види QoS?
17. Призначення комутаторів. Типи комутаторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нікітюк Л.А. Телекомунікаційні технології цифрових мереж: Навч. посібник / за редакцією М.В. Захарченка.- Одеса: УДАЗ ім. О.С. Попова, 2000. – 60 с.
2. Мережі та системи телекомунікацій: Т.1: Інформаційні мережі. Стандарти та рекомендації ЄНСМУ. Аналогові та компютерні мережі / М.В. Захарченко, Г.С. Гайворонська, А.І. Єщенко та ін. – 2000. – 304 с.
3. Никитюк Л.А., Шерепа И.В. Телекоммуникационные и информационные сети: Навч. Посібник / за редакцією М.В. Захарченка.- Одеса: УДАЗ ім. О.С. Попова, 2000. – 112 с.
4. Телекоммуникационные сети и технологии: Учебн.пособие/В.Г.Кривуца, С.Н.Скляренко, А.П.Улеев и др.: Под ред.В.Г.Кривуцы. – Харьков: ООО «КомпанияСМИТ», 2007. – 324 с.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

AP – Application Protocol – прикладний протокол;
 API – Applied Program Interface – інтерфейс прикладної програми;
 ARPA – Advance Research Project Agency – Управління перспективних наукових досліджень;
 ATM – Asynchronous Transfer Mode – асинхронний режим перенесення;
 AU – Administrative Unit – адміністративний блок;
 AUG – Administrative Unit Group – група адміністративних блоків;
 BPI – Bases Interface Programs – інтерфейс баз програм;
 CAN – Customer Access Network – мережа абонентського доступу;
 CBR – Constant Bit Rate – виділення каналу з фіксованою пропускнуою спроможністю;
 CIR – Committed Information Rate – узгоджений інформаційний рівень;
 CTM – Synchronous Transport Module – синхронно – транспортні модулі;
 DSO – Digital Service/ Signal of Level 0 – потік нульового рівня;
 FDDI – Fiber Distributed Data Interface — волоконно – оптичний інтерфейс передачі даних;
 FR – Frame Relay – мережа з ретрансляцією кадрів;
 FTTC – Fiber to the Curb – «волоконно до розподіленої шафи»;
 FTTH – Fiber to the Home – «волоконно до квартири»;
 GII – Global Information Infrastructure – глобальна інформаційна інфраструктура;
 H – Hard ware – апаратне забезпечення;
 HO – High-order – вищий рівень;
 ISDN – Integrated Services Digital Network – Цифрова мережа з інтеграцією службами (послугами);

ISO – International Organization for Standardization – Міжнародна організація по стандартизації;

IN – Interactive Network – Інтерактивна мережа;

ITU-T – International Telecommunication Union – Міжнародний Союз Електрозв’язку .

LAN – Local Area Network – локальна мережа;

LO – Low-order – нижчий рівень;

MAN – Metropolitan Area Network – місцева мережа;

MCI – Media Control Interface – інтерфейс керування пристроями;

MP – Protocol middleware software – протокол проміжного програмного забезпечення;

MUX – Multiplexor – мультиплексор;

NCN – Node Connection Network – Мережа міжвузлового зв’язку;

PAD – Packet Assembler and Disassembler – функція збору(розбиття) повідомлення з пакетів;

PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy – плезіохронна цифрова ієрархія (ПЦІ);

POH – Path Overhead) – трактовий заголовок;

PSTN – *Public Switched Telephone Network* – мережа передавання даних з комутацією пакетів;

QoS – Quality of Service – режим якісного обслуговування;

S – Software – програмне забезпечення;

SDH – Synchronous Digital Hierarchy – синхронна цифрова ієрархія;

SOH – Section overhead – секційний заголовок;

SONET – Synchronous Optical Network – синхронна оптична мережа;

STM – Synchronous Transfer Mode – синхронний режим перенесення;

TMN – Telecommunication Management Network – мережа управління телекомунікаціями;

TU – Tributary Unit – трибний блок;

TUG – Tributary Unit Group – група трибних блоків;

VC – Virtual Container – віртуальний контейнер;

VCL – Virtual Channel Identifier – ідентифікатор віртуального каналу;

WAN – Wide Area Network – глобальна мережа;

AIM – амплітудно – імпульсний сигнал;

АЛ – абонентська лінія;

АП – абонентські пункти;

АТС – автоматична телефонна станція;

АЧМ – асинхронне часове мультиплексування;

БЗП – буферний запам’ятовуючи пристрій;

БС – базова станція;

ВВС – взаємодія відкритих систем;

ВД – вузол доступу;

ВихК – вихідний контролер;

ВК – вузол комутації;

ВОК – волоконно-оптичний кабель;
ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку;
ГО – генераторне обладнання;
ДВО – додаткові види обслуговування;
ДкодП – декодувальний пристрій;
ДП – дисплейний процесор;
ДС – диференційна система;
ДФ – дисплейний файл;
ЕК – елемент комутації;
ЕКл – електронний ключ;
ЕОМ – електронна обчислювальна машина;
ЄЕС – Європейське Економічне Співтовариство;
ЗК – загальне коло;
ЗЛ – з'єднувальна лінія;
ЗЛСП – з'єднувальна лінія системи передачі;
ЗП – запам'ятовуючий пристрій;
ЗТПІ - з'єднувальний тракт передавання інформації;
Зф – заголовок фрейму;
І – інтерфейс;
ІКМ – імпульсно – кодова модуляція;
ІП – інформаційне повідомлення;
К – концентратор;
КерП – керувальний пристрій;
КінП – кінцевий пункт;
КК- комутація каналів;
КЛЗ – кабельна лінія зв'язку;
КодП – кодувальний пристрій;
КП – комутація пакетів;
КТМЗК – комутуєма телефонна мережа загального користування;
ЛАЦ - лінійно – апаратний цех;
ЛКС – лінійно-кабельна споруда;
ЛОМ – локальна обчислювальна мережа;
ЛТП – лінійний тракт передавання;
МД – магістральна ділянка;
МККТТ – Міжнародний Консультативний Комітет по Телеграфії та Телефонії;
ОВ – опорний вузел;
ОП – опорний пункт;
ОПС – опорна станція;
ОПТС – опорно – транзитна станція;
ПД – передача даних;
ПЗ – програмне забезпечення;
ПК – персональний комп'ютер;
ПНЧ – підсилювач нижніх частот;

ПЦІ – плезіохронна цифрова ієрархія;
ПРД – передача даних;
РГ – регенерація;
РД – розподілена ділянка;
РРЛ – радіорелейна лінія;
СКБД – система керування базами даних;
СЦІ – синхронна цифрова ієрархія;
СЧМ – синхронне часове мультиплексування;
ТА – телефонний апарат;
ТВ – транзитний вузол;
ТгЗК – телеграфна мережа загального користування;
ТС – транзитна станція;
ФНЧ – фільтр нижніх частот;
ЦМІО – цифрова мережа інтегрального обслуговування;
ЦСП – цифрова система передавання;
Час РК – часовий розподіл каналів;
ЧРК – частотний розподіл каналів;
ШКП – швидка комутація пакетів;
ШП – швидкий пакет.