

**Міністерство освіти і науки України  
Державний університет телекомунікацій  
Навчально-науковий інститут телекомунікації та інформатизації**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Конспект лекцій**  
з навчальної дисципліни “Телекомунікаційні інформаційні мережі”  
(Частина 1)

КИЇВ – 2015

УДК 621.391.13 Гриф надано  
навчально-науковим інститутом  
Телекомунікацій та інформатизації ДУТ  
(протокол № 5 від 26.01.2015 р.)

Рецензенти:

проф., д.т.н. Вишнівський В.В., проф., к.т.н. Гніденко М.П.

Курс лекцій призначений для самостійної роботи студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за кредитно-модульною системою, з навчальної дисципліни — Телекомунікаційні та інформаційні мережі (ТІМ) - циклу дисциплін професійної та практичної підготовки за напрямом 6.050903 Телекомунікації. Навчальна дисципліна — Телекомунікаційні та інформаційні мережі вивчається протягом двох семестрів. Матеріал відповідає програмі дисципліни, сформований у відповідності до першого та другого модулю першого семестру. Він включає наступні теми: *тема 1. Загальні відомості про ТІМ; тема 2. Загальні принципи проектування систем ТІМ; тема 3. Основи моделювання ТІМ; тема 4. Особливості моделювання відкритих систем.*

### **Сєрих С. О. Конспект лекцій з навчальної дисципліни “Телекомунікаційні інформаційні мережі” (Частина 1)**

Конспект лекцій призначений для формування базових знань, необхідних для розуміння широкого кола реальних проблем у сфері телекомунікації; вивчення загальних принципів побудови телекомунікаційних та інформаційних мереж та принципів функціонування на їх базі різноманітних мережних технологій; концепції існуючих мереж зв'язку; напрямків розвитку перспективних мереж та мережних технологій, методів оптимального синтезу та аналізу мереж.

Курс лекцій також може бути корисний для аспірантів, викладачів навчальних закладів відповідних спеціальностей, фахівців, які обслуговують телекомунікаційні мережі зв'язку.

## ЗМІСТ

1. Модуль 1 Основи телекомунікаційних та інформаційних мереж (ТІМ)	4
1.1 ТЕМА 1. Загальні відомості про ТІМ	4
1.1.1 Лекція 1. Вступ до дисципліни ТІМ	4
1.1.2 Лекція 2 Різновиди ТІМ	18
1.1.3 Лекція 3. Основи з'єднання для передавання інформації	29
1.2 ТЕМА 2 Загальні принципи проектування систем ТІМ	39
1.2.1 Лекція 4 Основи системного підходу до проектування ТІМ	39
2. Модуль 2 Моделювання ТІМ	50
2.1 ТЕМА 3. Основи моделювання ТІМ	50
2.1.1 Лекція 5. Тополого-функціональні моделі мереж	50
2.1.2 Лекція 6. Ефективність функціонування мереж зв'язку. Інформаційні потоки в мережах	59
2.1.3 Лекція . 7 Принципи взаємодії відкритих систем	67
2.2 ТЕМА 4 Особливості моделювання відкритих систем	80
2.2.1 Лекція 8 Модель якості роботи мережі	80
2.2.2 Лекція 9 Архітектура інфокомунікаційної мережі	122
Загальні висновки	140

## КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ З КУРСУ “ТІМ”

### Модуль 1 Основи телекомунікаційних та інформаційних мереж (ТІМ)

#### ТЕМА 1. Загальні відомості про ТІМ

#### Лекція 1. Вступ до дисципліни ТІМ

##### ПЛАН

##### *Навчальні питання*

1. Предмет та мета дисципліни. Основні терміни ТІМ.
2. Види зв'язку інфокомунікаційних послуг, потоки інформації та трафіків.
3. Суб'єкти ринку інфокомунікацій.

##### *Виконати самостійне завдання № 1.*

1. Вивчити питання лекції
2. Скласти особистий підручний словник термінології з дисципліни ТІМ.

##### *Література:*

1. Стеглов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001-с.526.
2. ДСТУ 34.601. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Стадії створення с.1-5
3. ДСТУ 34.602. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Технічне завдання на створення автоматизованої системи. с.1-11
4. Оліфер В.Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи. Посібник для Вузів. 2-е вид. –СПБ. Пітер. 2005. -с.648.

### ***Вступна частина***

На сучасному етапі на економіку країни і умови життя людей великий вплив роблять рівень розвитку засобів електрозв'язку і інформатизація. З метою найбільш раціонального використання ресурсів, що вкладаються в розвиток зв'язку, уряд прийняв рішення про створення єдиної мережі електрозв'язку об'єднуючою всі телекомунікаційні мережі (ТМ) країни під управлінням державної структури Укртелеком. Проте поява на ринку приватних операторів, особливо мереж мобільного зв'язку, що швидко розвиваються, мають інвесторів та керівний склад з інших країн і величезні капіталовкладення в галузь зв'язку не погіршують, а стимулюють посилення роботи і поліпшення якості послуг для населення.

Для швидкого і ефективного переобладнання ТМ подальшим поетапним розвитком і нарощування потужностей необхідні величезні, які можна отримати за рахунок раціонального, обміркованого залучення інвесторів. Цим і займається відповідні міністерства, пропонуючи - акціонувати підприємство Укртелеком.

*Відзначимо, що під ТМ розуміється сукупність засобів електрозв'язку, що забезпечують доставку інформації територіально користувачам, а також засобів зберігання і обробки інформації, належного передавання і прийняття інформації.*

Важливим етапом розвитку галузі є ухвалення законів України «Про телекомунікацію», «Про радіочастотний ресурс Україні», скоригована «Програма

реалізації концепції розвитку телекомунікації в Україні до 2010 року». Закони встановлюють правові основи діяльності в області зв'язку, а також права і обов'язки осіб, що беруть участь в наданні послуг або користуються послугами зв'язку.

Питанням побудови і оцінювання мереж зв'язку у всіх країнах приділяється велика увага. В даний час міжнародними організаціями проводиться інтенсивна розробка документів по стандартизації в даному напрямку. Тому вивчення мереж зв'язку стає невід'ємною системою підготовки інженерів електрозв'язку в Державному університеті телекомунікації.

## **1. Предмет та мета дисципліни. Основні терміни ТІМ.**

*Предметом навчальної дисципліни є:*

**телекомунікаційні та інформаційні мережі, мережні технології, концепції реальних мереж, принципи побудови перспективних високошвидкісних мереж та напрямки їх розвитку, методи оптимального синтезу й аналізу мереж.**

*Метою вивчення навчальної дисципліни є:*

**формування базових знань, необхідних для розуміння широкого кола реальних проблем у сфері телекомунікації; вивчення загальних принципів побудови телекомунікаційних та інформаційних мереж та принципів функціонування на їх базі різноманітних мережних технологій; концепції існуючих мереж зв'язку; напрямків розвитку перспективних мереж та мережних технологій.**

*За вивченням матеріалу модуля 1 студенти набувають:*

- уміння аналізувати архітектуру та роботу сучасних телекомунікаційних мереж;*
- уміння виконувати розрахунки основних показників телекомунікаційних мереж їх склад і уміння оцінювати можливість використання в нових телекомунікаційних мережах перспективних мережних технологій;*
- уміння складати технічне завдання проекту мережі доступу та аналізувати потреби і характеристики послуг які вона забезпечує;*
- уміння аналізувати та проводити дослідження кількісних та якісних показників мереж і мережних об'єктів за заданими початковими даними.*

*Модуль 2 формує:*

- уміння виконувати моделювання, синтез та оптимізацію нових мереж і мережних об'єктів;*
- уміння розробляти технічне завдання на проектування мережних об'єктів за розділами, складати структурні схеми мережі доступу міст, виконувати розрахунки потоків;*
- уміння виконувати під керівництвом провідного фахівця основні проектні роботи для телекомунікаційних мереж.*

### Модуль3

- уміння орієнтуватись в можливостях, особливостях та напрямках розвитку сучасних високошвидкісних технологій, варіантах побудови мереж з їх застосуванням;
- уміння проводити дослідження кількісних і якісних характеристик таких мереж доступу та основних економічних показників її.

### Модуль4

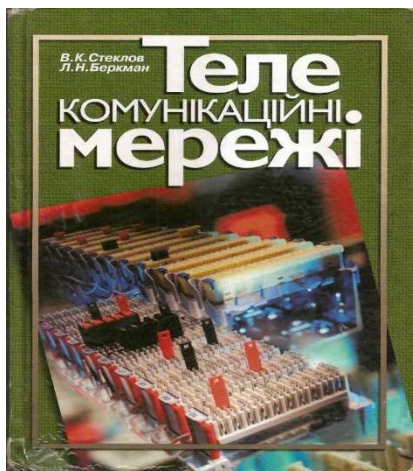
- уміння розподіляти за призначенням, технічними можливостями, якістю надання послуг і особливостями застосування кабельні технології та технології, що використовують системи з радіо доступом;
- уміння виконувати розрахунки зовнішніх зв'язків мережі доступу і їх навантаження, показники надійності для користувачів та операторів аналізувати результати та формулювати висновки проектування мереж доступу.

#### Основні терміни та визначення

- *Адаптер* (англ. *adapteг* пристосовую) - пристрій, за допомогою якого будь-який елемент пристосовується до мережі.
- *Архітектура* - характер будови мережі.
- *Байт* (англ. *byte*) - одиниця кількості інформації, якою цифрова ОМ може оперувати як одним цілим. Байт дорівнює 8 біт.
- *Біт* (англ. *Віпагу* двійковий + *digit* знак, цифра) - одиниця вимірювання кількості інформації в двійковій системі; відповідає інформації, яку одержують при здійсненні однієї з двох рівно ймовірнісних подій.
- *Віртуальний* (лат. *Viгtualis* сильний, здібний) - можливий, той, що може проявитися.
- *Дисперсія* (лат. *Dispeгsus* розсіювання) - міра розсіювання випадкової величини навколо її середнього значення.

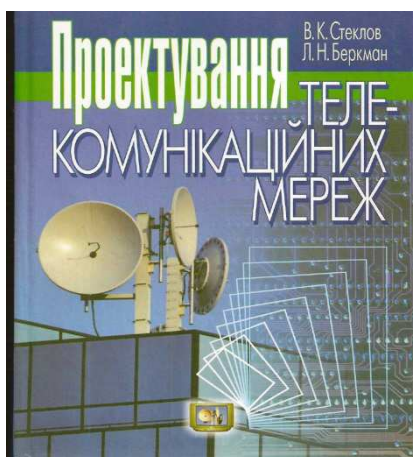
*Література:*

1.



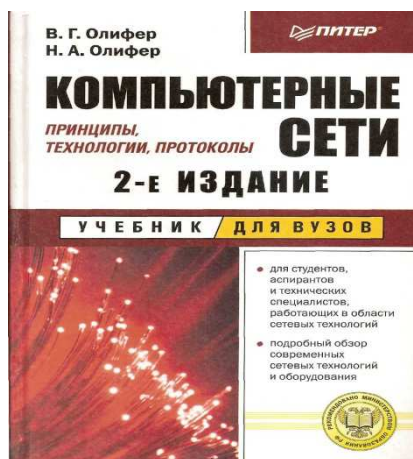
Видавництво Київ «Техніка» 2001р.

2.



Видавництво Київ «Техніка» 2002 р.

3.



Издательство Санкт-Петербург 2005г

Завдяки величезному впливу мереж ЕОМ і мереж зв'язку на життя суспільства протягом кінця 90-х рр. ХХ ст. цей невеликий історичний період прийнято називати "інформаційним століттям".

*Сучасному розвитку техніки зв'язку притаманні дві особливості:*

- *цифрова форма подання всіх сигналів - незалежно від того, який вид інформації передається цими сигналами (мова, текст, дані чи зображення);*
- *інтеграція обслуговування, яка може бути повністю реалізована тільки за умови застосування для зв'язку цифрової техніки.*

Розвиток глобальної інформаційної інфраструктури (ГІІ) ґрунтується на восьми основних принципах:

- *сприянні відкритій конкуренції;*
- *заохоченні приватних інвестицій;*
- *визначенні гнучких регулюючих структур;*
- *забезпеченні відкритого доступу до мереж;*
- *гарантії загального забезпечення доступу до послуг;*
- *забезпеченні рівних можливостей для користувачів;*
- *сприянні різноманітності змісту ГІІ, в тому числі культурного і мовного багатовиду;*
- *визнанні необхідності міжнародного співробітництва, особливо з найменш розвиненими країнами.*

**Кінцевою метою ГІІ** є гарантія для кожного громадянина доступу до інформаційного співтовариства.

*Мінімальний набір вимог при створенні ГІІ*

- **прийнятність** - економічна ефективність використання ресурсів підприємствами, організаціями і споживачами у визначений період часу;
- **доступність** - ступінь доступності до визначеного ресурсу чи групи ресурсів;
- **елемент культури** - спеціальні характеристики мов і загальноприйнятих правил їх вживання (особливо писемною формою), що властиві визначеним суспільствам і географічним регіонам;
- **взаємодія** - здатність двох чи більше систем і допоміжних програмних продуктів обмінюватися інформацією і спільно використовувати інформацію, що стала предметом обміну;
- **керованість** - можливість для кожного підприємства, організації і визначеного споживача контролювати розміщення й використання своїх ресурсів;



- **мінімалізм** - методологія або підхід, який забезпечує приєднання з мінімальною кількістю вимог;
- **мобільність** - можливість доступу до послуг з різних місць і навіть під час руху, здатність мережі визначити і локалізувати джерело надходження запиту;
- **номадизм** - можливість переміщатися з одного місця в інше, зберігаючи при цьому доступ до послуг незалежно від доступності чи недоступності цих послуг у місцевому середовищі, тобто безперервність доступу в просторі та в часі;
- **ефективність** - ступінь виконання системою чи підсистемою своїх функцій, характеризується часом доступу, пропускнуною спроможністю, кількістю операцій за секунду, швидкістю відеоінформації;
- **портативність** - ступінь легкості, з якою програмне забезпечення і дані можуть бути передані з однієї системи в іншу;
- **якість** - надання рівня обслуговування, відповідного сподіванням споживача послуги;
- **надійність** - імовірність того, що продукт або система будуть функціонувати належним чином протягом визначеного проміжку часу;
- **сумісність** - здатність працювати з різними за швидкістю, ємністю і ціною прикладними платформами і середовищами;
- **захист даних** - захист ресурсів (комп'ютерів, програмного забезпечення і даних) від можливості випадкового чи навмисного доступу, використання, зміни, знищення чи виявлення;
- **практичність** - ступінь легкості використання продукту чи системи.

*Основою ГІ є сучасна інформаційна мережа*

*Інформаційну мережу можна уявити як велику систему, до якої входять користувачі, засоби різних видів зв'язку, обладнання для надання послуг і системи керування.*

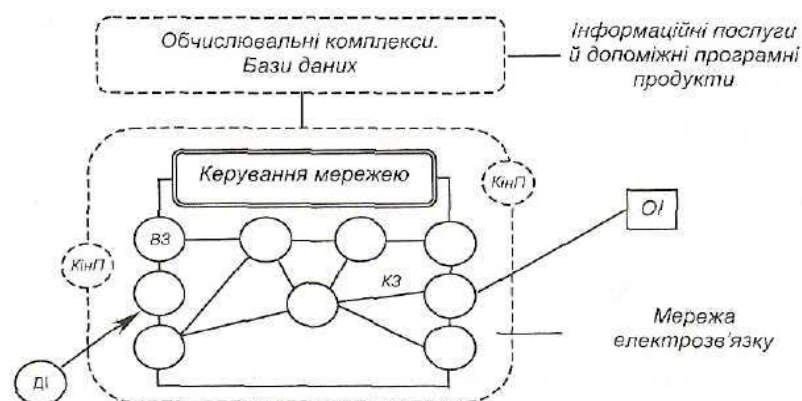


Схема Інформаційної мережі:

КінП - кінцевий пункт; КЗ - канал зв'язку; ВЗ - вузол зв'язку; Д1 - джерело інформації; ОІ - одержувач інформації

Поняття «інформація» має багато різних аспектів і у зв'язку з цим існує і декілька різних підходів до її визначення і оцінок (кількісним, якісним і ін.). Академік А. А. Харкевич [1] під інформацією запропонував розуміти «відомості, зберігання, що є об'єктом, передачі, перетворення». Узявши за основу це визначення, **під інформацією розумітимемо деякі відомості про заданий об'єкт (процесі, події, факті і т. д.).**

Розрізняють два види інформації про об'єкт: інформація про його стан (конкретна) і інформація про його властивості (абстрактна).

*Інформація про стан об'єкту* - це інформація, що відображає його стан (поведінка) як перелік значень (заданих в числовому або іншому вигляді) якихось його параметрів, визначених (зміряних) в деякий момент (період)  $t_0$ . Таким чином, інформація про стан об'єкту у момент  $t_0$  містить відомості про деякі параметри  $a_1, a_2, \dots, a_n$  цього об'єкту, знання яких необхідне для управління або вироблення рішення. Ця інформація представляється вектором  $I_A(t_0) = b_1(t_0), b_2(t_0), \dots, b_n(t_0)$  - набором значень (оцінок)  $b_i(t_0)$  параметрів  $a_i$ , виражених числами або в іншому вигляді. Відмітимо, що  $b_i$  відображує дійсне значення параметра  $a_i$ , як правило, з деяким наближенням, визначуваним як особливістю об'єкту і способом виміру (оцінки), так і системою відображення: мовою, властивістю носія і так далі. Одному і тому ж об'єкту може відповідати безліч різних елементів інформації (векторів), що відрізняються повнотою надання (набором параметрів).

*Інформація про властивості об'єкту* - це інформація, що містить опис властивостей або поведінку об'єкту і співвідношення (закони), що характеризує цей об'єкт.

Цінність інформації (її споживча вартість) полягає в ефекті (матеріальному або якому-небудь другому), який виходить при її використанні, і визначається тим, де і як вона застосована і наскільки вчасно доставлена. **Залежність цінності інформації від часу доставки може бути представлена «функцією цінності» (інколи називають функцією старіння) -  $Q(t)$ .** Вона має вид кривих, показаних на рис. 1.1, де час може вимірюватися як секундами, так і годинником, днями, місяцями і роками, а ефект використання інформації, якщо його обчислювати в грошах, може в одних випадках вимірюватися в копійках, а в інших - мільйонами рублів. Інколи інформацію характеризують не її цінністю, а критичним часом  $T_{кр}$ , після якого вона стає непотрібною або навіть шкідливою.

Обмін інформацією для людей не примха, а така ж природна потреба, як їжа, повітря, сон і так далі. Обмін інформацією включає її передачу і прийом. Коли говорять про передачу інформації, то мають на увазі, що є джерело інформації, одержувач (споживач) інформації і засобу її передачі. Засоби передачі, визначені фізіологічними можливостями людини (наприклад, голосовими можливостями або зорових органів), не можуть вирішити проблему передачі великих інформації на значні відстані. Для її вирішення людина створила і широко використовує технічні засоби зв'язку.

У вузькому сенсі під поняттям зв'язок розуміється технічна база засобів зв'язку, що забезпечує передачу і прийом інформації. Стосунки між зв'язком і інформацією такі ж, як біля транспорту і вантажу, що перевозиться. Засоби зв'язку не потрібні, якщо немає інформації, так само, як не потрібний вантажний транспорт за відсутності вантажу.

У широкому поняття «зв'язок» - процес передачі повідомлень від джерела до одержувача [3].

Для того, щоб інформацію можна було доставити, вона має бути представлена у вигляді повідомлення  $S(I_a)$ , записаного на якому-небудь носіїві з використанням певної мови.

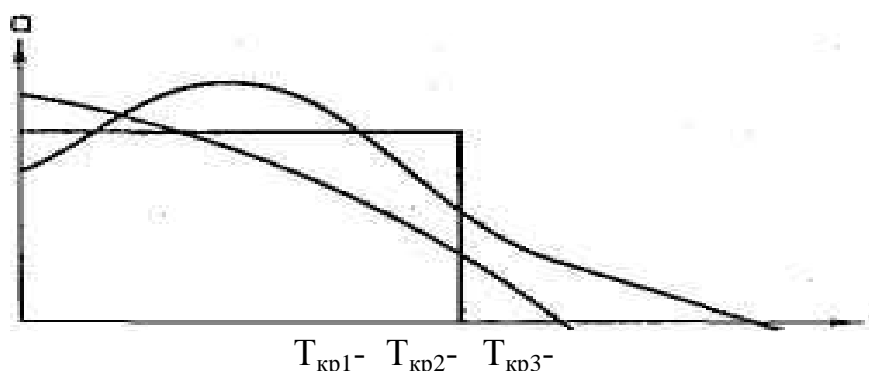


Рис. 1.1. Залежність цінності інформації від часу доставки повідомлення

*Носій інформації* - засіб реєстрації інформації (магнітна стрічка, гнучкий диск і т. і.).

Повідомлення окрім основної інформації повинне включати адресу, вказуючи, куди воно має бути доставлене, відомостей, що дозволяють ідентифікувати як все повідомлення, так і окремі його складові, підпис (адреса відправника) і деяку службову інформацію, що визначає доставки.

Таким чином, **повідомлення - це форма вираження (уявлення) інформації, зручна для передачі на відстань**. Об'єм повідомлення  $V_s$  визначається всією вказаною інформацією і найчастіше оцінюється числом знаків (букв або цифр) або часом його передачі, коли мова йде про телефонних повідомленнях або мовленні програм.

Здатність бачити дозволяє людині сприймати інформацію у формі нерухомих або рухомих зображень, званих оптичними повідомленнями (текст на листі паперу, фотографія і т. д.). Здатність чути допомагає сприймати інформацію, що є механічними коливаннями повітряного, званими звуковими повідомленнями (музика, мова).

Повідомлення у формі зображень або звуків природні і зручні для спілкування між людьми, але сучасне виробництво немислиме без зв'язку людини з електронно-обчислювальними машинами (ЕОМ). З часом людина обов'язково «навчить» ЕОМ розпізнавати звукові образи (звуки), а поки вони сприймають інформацію у формі знаків. Знаки - це букви, цифри і інші символи, з яких складаються повідомлення шляхом їх нанесення на спеціальні носії інформації: перфострічки, магнітні стрічки, барабани, диски і так далі. Повідомлення, **призначені для обробки на ЕОМ або отримані від ЕОМ, прийнято називати - даними**.

Будь-яке повідомлення має змінний параметр, в який «закладена» інформація, що міститься в ній. Цей параметр називається *інформаційним*. По характеру зміни інформаційних параметрів розрізняють безперервні і дискретні повідомлення. Якщо інформаційний параметр повідомлення в процесі зміни може набувати будь-яких значень з деякої безлічі можливих значень, то повідомлення називається *безперервним*. Безперервними є звукові повідомлення. Дійсно, звуковий тиск може набувати будь-яких значень з безперервної безлічі можливих значень.

Будь-які текстові і цифрові повідомлення складаються з певного кінцевого і відомого набору знаків (наприклад, букв алфавіту). Подібні повідомлення прийнято називати *дискретними*.

Повідомлення, що містить інформацію, даремне, якщо воно не передане тому, кому призначено - одержувачеві інформації. Коли повідомлення записане на якому-небудь речовому носіїві, то його можна доставити одержувачеві за допомогою того або іншого виду транспорту. Так поступають при передачі письмових повідомлень в поштовому зв'язку. Проте такий спосіб не є єдино можливим. Для передачі повідомлень можуть бути використані фізичні процеси, що характеризуються здатністю переносити з певною швидкістю від джерела до одержувача повідомлення, що містять інформацію у вигляді звукових або електромагнітних хвиль. **Фізичний процес, що відображує передані повідомлення, називають сигналом.**

Відображення переданого повідомлення забезпечується зміною якої-небудь фізичної величини, що характеризує процес передачі. Її називають інформаційним параметром сигналу.

Принципи і засоби зв'язку, засновані на використанні як переносники повідомлень електричні сигнали як найбільш поширені. Електричні сигнали мають переваг перед сигналами іншої фізичної природи: вони можуть передаватися на великі відстані, їх форму можна перетворювати порівняно простими технічними засобами, швидкість їх близька до швидкості світла. Електричні сигнали, як і повідомлення, можуть бути безперервними і дискретними. В безперервних сигналів від дискретних полягає в тому, що інформаційний параметр безперервного сигналу може набувати будь-яких значень безперервної безлічі можливих значень (наприклад, напруга, сила струму, напруженість електричного або магнітного поля і т. і.). Безперервний сигнал часто називають аналоговим. Дискретний сигнал характеризується кінцевим числом значень інформаційного параметра. Найчастіше цей параметр може приймати одне з двох значень.

## **2. Види зв'язку інфокомунікаційних послуг, потоки інформації та трафіків**

**Процес передачі або прийому сигналів, знаків, текстів, зображень, звуків по дротяній, радіо, оптичною або іншим електромагнітним системам називається - електрозв'язком [1].**

Для кращого засвоєння понять використовуємо системний підхід. **Системний підхід - спосіб проведення досліджень, коли всі явища, об'єкти, предмети і процеси**

**розглядаються як системи.** Системний підхід дозволяє будь-який проміжний елемент крупнішої системи розглядувати як окрему самостійну систему взаємозв'язаних елементів [1]. Такий підхід є досить повним і об'єктивним, що дозволяє сформуванати цілісне уявлення про зв'язок.

Класифікація видів зв'язку приведена на рис. 1.2.

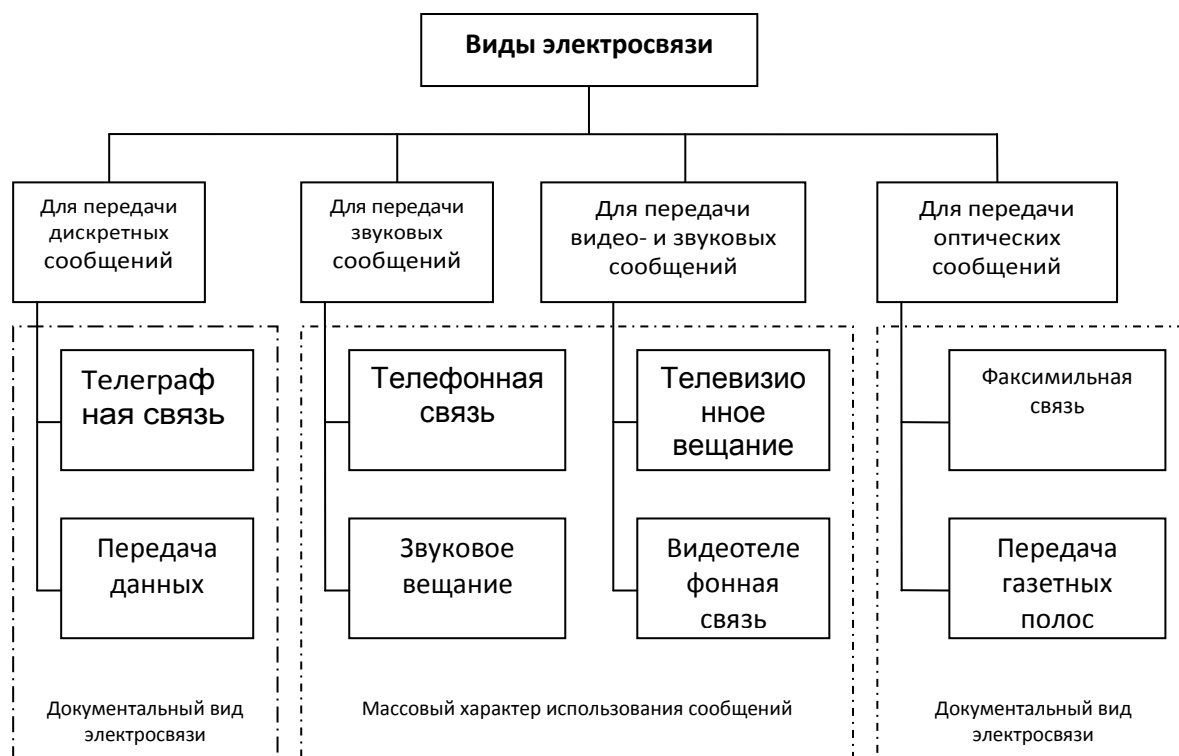


Рис 1.2 Класифікація видів електровз'язку

*Телеграфний зв'язок і передача даних* забезпечують передачу дискретних повідомлень у вигляді текстів (телеграм) і цифрових даних відповідно, причому передача даних забезпечує швидшу і якіснішу передачу повідомлень.

Такі види електровз'язку, як телефонний зв'язок і звукове мовлення, призначені для передачі звукових повідомлень.

*Телефонний зв'язок* - вид електровз'язку, призначений для обміну інформацією переважно шляхом розмови з використанням телефонних апаратів [1].

*Звукове мовлення* - вид електровз'язку, призначений для передачі програм звукового мовлення широкому колу територіально розосереджених слухачів за допомогою радіо і дротяних ліній [4].

Таким чином, телефонний зв'язок забезпечує ведення переговорів між людьми (абонентами), а звукове мовлення - однобічну і високоякісну передачу звукових повідомлень (радіопрограм), призначених одночасно для багатьох слухачів.

*Телевізійне мовлення і зв'язок відеотелефону* здійснюють одночасну передачу оптичних і звукових повідомлень. При цьому телебачення забезпечує одночасну передачу повідомлень для широких мас населення, а зв'язок відеотелефону -



двосторонню передачу індивідуальних повідомлень, дозволяючи вести переговори, при яких співбесідники бачать один одного. Правда, зв'язок відеотелефону не набув широкого поширення із-за щодо великої вартості передачі повідомлень.

*Зв'язок факсиміле* і її різновид - передача газетних смуг - забезпечують передачу оптичних повідомлень у вигляді нерухомих зображень (у тому числі і кольорових).

**Види електрозв'язку, що забезпечують передачу повідомлень, записаних на носії, і прийом цих повідомлень з подальшим записом на носіїві, називають документальними.**

Основні види електрозв'язку, що, охоплюють далеко не всі області її використання в сучасному житті. Для реалізації завдань, що стоять перед зв'язком, необхідна певна система. Поняття «система», як і «інформація», має безліч визначень. **Система - безліч закономірно зв'язаних один з одним елементів, що є певною, цілісною освітою, єдністю** [5]. Тому стосовно зв'язку можна визначити поняття системи зв'язку як сукупності мереж зв'язку з єдиним управлінням і забезпеченням.

*Мережа зв'язку* - частка системи зв'язку, що є сукупністю вузлів і ліній зв'язку, виділена за певною ознакою (вигляду, роду зв'язку, структурної і функціональної автономності і ін.) і призначена для обміну інформацією між абонентами (користувачами) зв'язку.

*Вузол зв'язку* - це організаційно-технічне об'єднання сил і засобів зв'язку, розгорнутих на пунктах управління, в об'єкті (споруді) або заданому районі для забезпечення зв'язку.

*Лінія зв'язку* - елемент системи зв'язку, що забезпечує утворення каналів і групових трактів первинної мережі, що мають спільні середу поширення, а також сили і засоби їх обслуговування [1].

Для будівництва або розгортання ліній зв'язку застосовуються, як правило, однорідні засоби зв'язку. **Лінії зв'язку можуть бути стаціонарними і польовими.**

**По використовуваних засобах зв'язку вони підрозділяються на радіо, радіорелейні, тропосферні, супутникові, дротяні (кабельні), а по призначенню в системі зв'язку - на лінії осей, рокад зв'язку, лінії прямого зв'язку, лінії прив'язки. Крім того, у вузлах зв'язку розгортаються (прокладаються) сполучні, абонентські лінії зв'язку, лінії дистанційного керування і телесигналізації.**

Функціонально в системі зв'язку можуть бути виділені підсистеми зв'язку. **Підсистема зв'язку - це частка системи зв'язку, виділена за певною ознакою, яка володіє певною самостійністю і допускає при необхідності розкладання на складові її елементи** [1]. Наприклад, для ефективного управління і усебічного забезпечення функціонування системи зв'язку за будь-яких умов створюються підсистеми управління і забезпечення функціонування як організаційно-технічні об'єднання органів і об'єктів управління, мереж зв'язку для управління. Назвою «підсистема» підкреслюється, що вона повинна володіти властивостями системи (зокрема властивістю цілісності). Цим підсистема відрізняється від простої групи елементів, для якої не сформульована окрема ціль і не виконується властивість цілісності. Для такої групи використовується назва «компонент», наприклад стаціонарний компонент підсистеми.

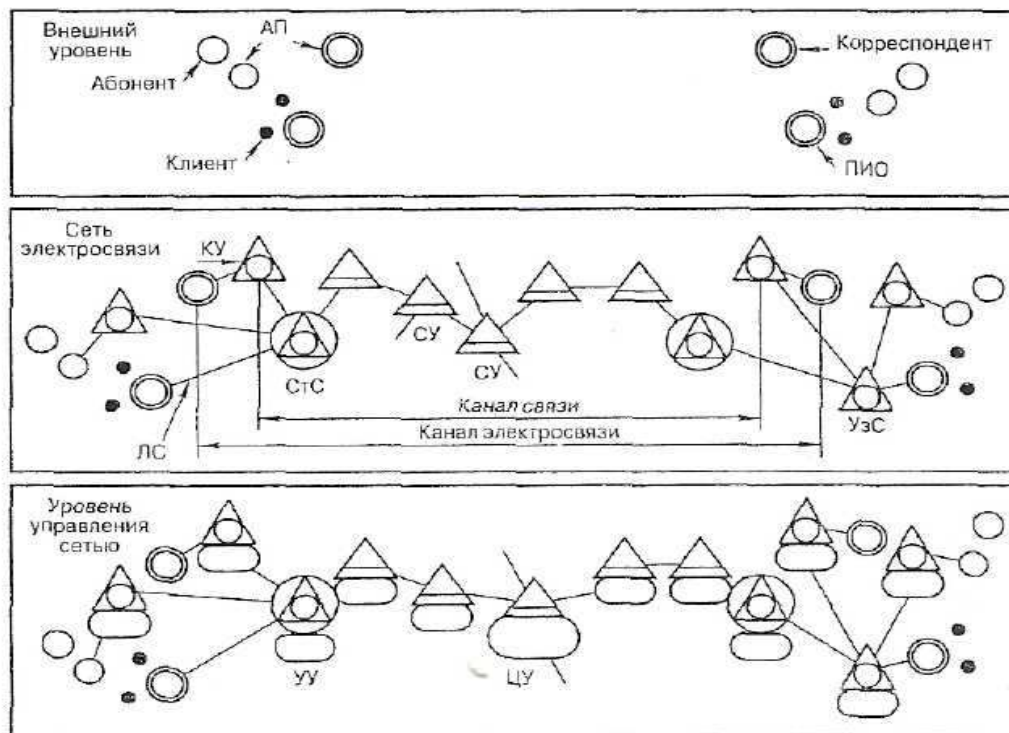
*Елемент* - проста неподільна частка системи зв'язку, що володіє певною самостійністю в діях по відношенню до всієї системи (наприклад, вузол або лінія зв'язку).

Систем електрозв'язку, а, отже, і технічних засобів, потрібний дуже багато, оскільки мова йде про можливість надання послуг електрозв'язку що всім бажає. Наприклад, кожен радіослухач користується «своєю» системою електрозв'язку, що складається з багатьох різних пристроїв формування, посилення, передачі і відтворення сигналів.

Створення системи для будь-якого виду електрозв'язку передбачає організацію каналу електрозв'язку між пунктами передачі і прийому повідомлення. Сукупність цих каналів утворює мережу електрозв'язку, де функції підключення певних абонентських пристроїв виконує спеціальна апаратура комутації, що дозволяє утворити тракт для передачі електричних сигналів.

Таким чином, мережа електрозв'язку є сукупність крайових пристроїв, комутаційних центрів і ліній, що їх пов'язує, і каналів зв'язку [1].

З точки зору системного аналізу мережу електрозв'язку можна представити трьома рівнями:



-перший - зовнішній рівень, що включає абонентів (клієнтів), АП і ППО, в межах якого минає формування повідомлень для передачі в мережі електрозв'язку;

- другий - власне мережа електрозв'язку, що включає лінії зв'язку (ЛЗ), канали зв'язку (КЗ), станції зв'язку (СтЗ) і вузли зв'язки (ВЗ), що забезпечують передачу, розподіл і комутацію повідомлень між АП (ППО) абонентів і кореспондентів;

- третій - елементи управління мережею, що включають пристрої управління (ПУ) вузлів, центри управління (ЦУ) і всю адміністрацію.

До складу мережі електрозв'язку входять

- користувачі (абоненти, клієнти), що є джерелами і споживачами інформації. Вони створюють і сприймають потоки повідомлень і, як правило, визначають вимоги по

доставці і обробці інформації, вибору виду зв'язку (телефонною, телеграфною, мовлення і т. д.) і отриманню різних послуг (видів обслуговування) з дотриманням певної якості;

- *пункти зв'язку*

а) абонентські пункти (АП), що містять апаратуру введення і виводу інформації в мережу електрозв'язку (а зберігання і обробки). Вони в постійному користуванні певних абонентів;

б) пункти інформаційного обслуговування (ПІО) - довідкові служби, різні обчислювальні центри (ВЦ), банки даних, бібліотеки і інші пункти колективного користування, що забезпечують, обробку, зберігання і видачу інформації, і надання користувачам інших послуг, пов'язаних з інформаційним забезпеченням;

- *канали зв'язку*, об'єднані в лінії зв'язку, які забезпечують передачу повідомлень між окремими пунктами мережі;

- *мереживі станції*, забезпечуючи освіту і надання вторинним мережам типових фізичних ланцюгів, типових каналів передачі і мережних трактів, а також їх транзит [1];

- *вузли*:

а) мережеві вузли (МВ), забезпечують і перерозподіл мережеских трактів, типових каналів передачі і типових фізичних ланцюгів, а також надання їх вторинним мережам і споживачам [1];

б) комутаційні вузли (КВ) для розподілу (перемикання) каналів, пакетів або повідомлень;

- система управління, що забезпечує нормальне функціонування і розвиток мережі електрозв'язку і взаємовідношення користувачами.

Пункти інформаційного обслуговування підрозділяються по їх призначенню (довідкова телефонів, бюро замовлень квитків, інформаційний пункт по якій-небудь галузі, обчислювальний центр (ОЦ), оброблювальний економічну інформацію, і т. д.). Залежно від переданої інформації ПІО може мати один або декілька каналів, що його мережею електрозв'язку, а також у нього можуть бути абоненти або виносні ОП, ним прямими каналами. У мережі ПІО можуть як джерела інформації (ДІ) і споживачі інформації (СІ), а також як елементи мережі, оскільки створювані ними потоки повідомлень циркулюють по мережі.

Сукупність пучків, вузлів і ліній (каналів), що їх, утворює структуру (конфігурацію) мережі, що визначає можливість здійснення зв'язку між окремими пунктами і можливі шляхи передачі повідомлень. Для збільшення надійності мережі вона будується так, щоб між окремими вузлами було декілька (зазвичай 2 або 3) незалежних шляхів.

Система управління мережею забезпечує підтримку в робочому (справному) стані технічних засобів, доставку повідомлень за адресою, розподіл каналів між вторинними мережами (споживачами), розподіл потоків повідомлень, планування і розвиток мережі, будівництво, матеріально-технічне забезпечення, підготовку кадрів, регулювання стосунків користувачами.



### 3. Суб'єкти ринку інфокомунікацій.

Об'єкти ринку інфокомунікацій ті, що надають послуги.

Суб'єкти ринку інфокомунікацій ті, що отримують послуги.

Визначення суб'єктів та об'єктів ринку інфокомунікацій для взаємозв'язаних, складових мереж, інтегральних розглядується слухачами самостійно.

#### *Висновки*

Щоб одержати економічний або будь-який інший ефект (політичний, соціальний), необхідно передати інформацію будь-кому чи будь-чому за допомогою засобів зв'язку.

Отже, роль зв'язку в процесі інформатизації дуже велика, оскільки вона пронизує інформаційний процес від об'єкта спостереження і формування початкової інформації (сприйняття) через її обробку (квантування, кодування, модуляцію), передачу й обробку в приймачі доставки інформації до одержувача в обробленому вигляді.

#### *Завдання на самостійну роботу*

1. Вивчити питання лекції.
2. Скласти особистий підручний словник термінології з дисципліни ТІМ.

#### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, "Техніка", 2001-с.5-13.
2. ДСТУ 34.601. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Стадії створення с.1-5.
3. ДСТУ 34.602. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Технічне завдання на створення автоматизованої системи. с.1-11.
4. Оліфер В.Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи. Посібник для Вузів. 2-е вид. –СПБ. Пітер. 2005. -с.22-34.
5. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, "Техніка", 2002-с. 55-73.

## Модуль 1 Основи телекомунікаційних та інформаційних мереж (ТІМ)

### ТЕМА 1. Загальні відомості про ТІМ

#### Лекція 2 Різновиди ТІМ

##### ПЛАН

##### *Навчальні питання*

1. Класифікація ТІМ.
2. Основні показники ефективності ТІМ.
3. Базові структури ТІМ. Напрямки розвитку зв'язку в Україні.

*Виконати самостійне завдання № 2.*

##### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001.- 526 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003. – 923 с.
3. Стеклов В.К., Костік Б.Я., Беркман Л.Н. Сучасні системи управління в телекомунікаціях/ За заг. ред.. В.К Стеклова.- К.: Техніка, 2005.-400с.
4. Столлингс В. Компьютерные системы передачи данных. Изд. 6-е. М., С-Птб., Киев, “Вильямс”, 2002.- 543с.
5. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 2изд.-СПб.-Питер, 2005.- 864с.
6. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: підручник/П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708с.

##### ***Вступ***

В даний час на Україні в експлуатації знаходиться велика кількість мереж зв'язку, що розрізняються по декількох ознаках, одні з яких визначають місце цих мереж в системі зв'язку, інші - принципи їх побудови і характер функціонування, треті, - економічний або іншого роду ефект, що від їх . Чим більше класифікаційних ознак використовується при описі конкретної мережі зв'язку, тим повніше ця мережа може бути охарактеризована.

### **1. Класифікація ТІМ.**

У літературі [1, 5] мережі зв'язку класифікуються по:

- призначенню;
- характеру і виділення каналів;
- типам комутації;
- устаткуванню і умовам їх розміщення;
- ступеню автоматизації.

Розглянемо детальніше класифікаційні ознаки мереж зв'язку (рис. 2.1).

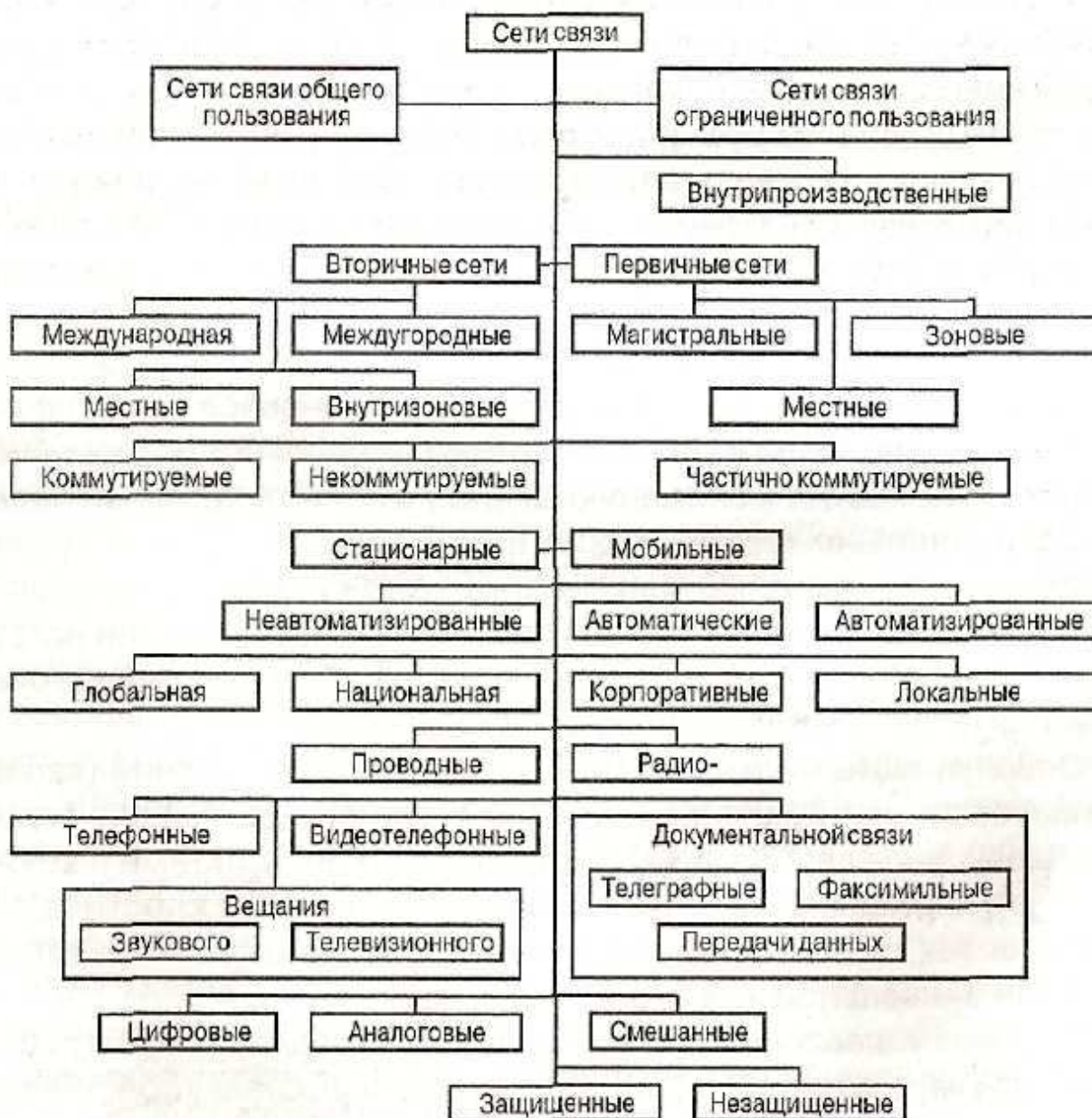


Рис. 2.1 Класифікація мереж зв'язку.

За призначенням мережі зв'язку поділяються на дві великі групи:

- мережі зв'язку загального користування;
- мережі зв'язку обмеженого користування.

*Мережа зв'язку загального користування* створюється для забезпечення послугами зв'язку населення, різних установ, підприємств і організацій.

При побудові *мереж зв'язку обмеженого користування* реалізуються специфічні вимоги, обумовлені характером діяльності того або іншого відомства, на користь якого створюється дана мережа, а також передбачається можливість виходу абонентів в мережу спільного користування. До таких мереж відносяться мережі внутрішнього зв'язку і мережі дальнього зв'язку.

Мережа внутрішнього зв'язку розгортається на пункті управління (ПУ) і забезпечує обмін повідомленнями між абонентами даного пункту управління [1]. Основними елементами даної мережі є комутаційні центри внутрішнього зв'язку (КЦВС), що зв'язують їх сполучні лінії (СЛ), абонентські крайові пристрої і абонентські лінії (рис. 2.2 а).

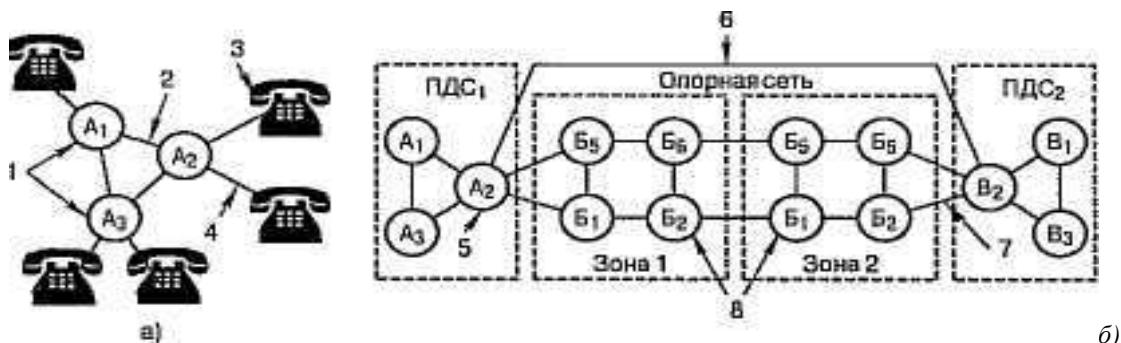


Рис. 2.2. Варіанти структур мережі зв'язку:

- 1 - комутаційні центри внутрішнього зв'язку, 2 - сполучні лінії
- 3 - абонентські крайові пристрої, 4 - абонентські лінії
- 5 - комутаційний центр телекомунікації, 6 - канал телекомунікації
- 7 - лінії прив'язки, 8 - транзитний комутаційний центр

Мережа дальнього зв'язку відноситься до однієї системи зв'язку, розгортається на території функціонування даної системи і забезпечує обмін повідомленнями між абонентами різних пунктів управління [11] (рис.2.2б).

Комутаційні центри далекого зв'язку (КЦДЗ), розташовані на різних ПУ, зв'язуються каналами далекого зв'язку, а розміщені на одному ПУ - сполучними лініями. Сукупність КЦДЗ, розміщених на одному ПУ, і що зв'язують їх СЛ, називається під мережею далекого зв'язку (ПДЗ). На мережі далекого зв'язку (ДЗ) широко застосовуються транзитні КЦ (ТКЦ) без абонентської ємності. Їх місцезнаходження, як правило, не пов'язане з розташуванням ПУ. Сукупність таких ТКЦ і ліній (каналів) зв'язку, що зв'язують їх, утворює опорну мережу зв'язку (ОМЗ). ОМЗ часто розбивається на ділянки, звані зонами опорної мережі зв'язку. Комутаційні центри далекого зв'язку, розташовані на пунктах управління, зв'язуються з транзитними комутаційними центрами опорної мережі однією або декількома лініями прив'язки.

Сукупність крайових пристроїв (КП) і абонентських ліній (АЛ), включених в один КЦ внутрішнього або зв'язку, утворює абонентську мережу даного КЦ, сукупність ОУ і АЛ на ПУ утворює абонентську мережу даного ПУ.

По характеру утворення і виділення каналів зв'язку мережі зв'язку підрозділяються на первинних і вторинних [1].

**Первинна мережа** - сукупність типових фізичних ланцюгів, типових каналів передачі і мережевих трактів, утворена на базі мережевих вузлів, мережевих станцій, крайових пристроїв первинної мережі і ліній передачі, що сполучають їх [5]. При цьому під типовим фізичним ланцюгом і типовим каналом розуміється фізичний ланцюг і канал передачі, параметри яких відповідають прийнятим нормам [6].

**Мережевий тракт** - типовий груповий тракт або декілька послідовно сполучених типових групових трактів з включеною на вході і виході апаратурою утворення тракту.

*Вторинна мережа зв'язку* — сукупність ліній і каналів зв'язку, утворених на базі первинної мережі, станцій і вузлів комутації або станцій і вузлів перемикачів, що забезпечують певний вид зв'язку [1].

Фрагмент взаємозв'язку первинної і вторинної мережі показаний на рис. 2.3.

Головним завданням первинної мережі є утворення типових каналів і групових трактів зв'язку.

Завдання вторинної мережі - доставка повідомлень певного від джерела до споживача.

Спосіб побудови мережі визначається прийнятою системою комутації: довготривалою, оперативною або їх поєднанням.

По типах комутації мережі підрозділяються на комутовані, частково комутовані і некомутовані.

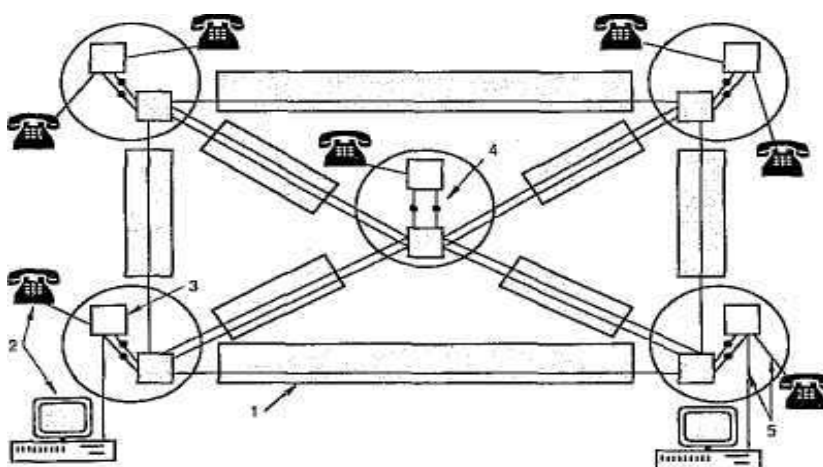


Рис. 2.3 Схема взаємозв'язку первинної і вторинної мережі

- 1 - система передачі первинної мережі, 2 - крайові пункти вторинних мереж  
3 - вузол комутації вторинних мереж, 4 - крапки, що позначають кордони мережі, 5 - абонентські канали або лінії.

Для комутованих і частково комутованих мереж зв'язку характерне використання різних варіантів комутації.

*Довготривалою* називається комутація, при якій між двома точками мережі встановлюється постійне з'єднання.

*Оперативною* називається комутація, при якій між двома точками мережі організовується тимчасове з'єднання.

*Поєднання оперативної і довготривалої комутації* передбачає те, що на одних ділянках інформаційного напрямку мережі зв'язку може застосовуватися довготривала комутація, а на інших - оперативна.

Комутована мережа зв'язку - це вторинна мережа, що забезпечує з'єднання по запиті абонента або відповідно до заданої програми через канал електрозв'язку крайових пристроїв вторинної мережі за допомогою комутаційних станцій і вузлів комутації на час передачі повідомлень [6]. Канали передачі в комутованих мережах є каналами спільного користування.

На частково комутованих мережах зв'язку передбачається використання всіх систем довготривалої і оперативної комутації. Реально існуючі і спроектовані на найближчу перспективу мережі зв'язку відносяться до класу частково комутованих.

До *некомутованих* мереж зв'язку відносяться вторинні мережі, що забезпечують довготривалі (постійні і тимчасові) з'єднання крайових пристроїв (терміналів) через канал електров'язку за допомогою станцій і вузлів перемикань [1]. До некомутованих мереж можна віднести опорну мережу зв'язку.

По устаткуванню і умовам розміщення мережі зв'язку підрозділяються на мобільних і *стаціонарних*. Під мобільними розуміються мережі зв'язку, елементи яких (КЦ, лінійні засоби зв'язку) розміщуються на транспортній базі і можуть переміщатися. Одним з поширених типів мобільних мереж є польова мережа зв'язку військового призначення. Стаціонарні мережі зв'язку створюють на базі вузлів зв'язку, розміщених в стаціонарних спорудах. До складу стаціонарних мереж при необхідності можуть включатися рухливі елементи, наприклад, при заміні стаціонарних елементів, що на короткий час вийшли з буд, тимчасовому розташуванні абонентів на рухливих об'єктах, необхідності тимчасового посилення певних елементів мережі.

По ступеню автоматизації мережі зв'язку діляться на *неавтоматизованих*, *автоматизованих* і *автоматичних*. На неавтоматизованих мережах зв'язку все або переважна більшість основних операцій виконуються людиною. Автоматизованими називаються мережі, в яких переважне число функцій по виконанню певного об'єму операцій здійснюється технічним пристроєм. Такі мережі оцінюються за мірою автоматизації, яка визначається коефіцієнтом  $K_a$ , рівним відношенню об'єму операцій, що виконуються технічними пристроями, до спільного об'єму виконуваних операцій:

$$K_a = n_a / n_s, \quad (2.1)$$

де  $n_s$  - спільний об'єм операцій, що виконуються за певний час,  $n_a$  - кількість операцій, що виконуються автоматами. Можливе визначення подібного коефіцієнта за часом:

$$K_a^t = t_a / t_s, \quad (2.2)$$

де  $t_a$  - сумарний час виконання операцій технічними пристроями протягом певного періоду, а  $t_s$  - сумарний час виконання всіх операцій.

Також може використовуватися показник ефекту введення автоматів:

$$K_a^e = (t_n + t_a) / t_n, \quad (2.3)$$

де  $t_n$  - сумарний час виконання операцій за певний період на неавтоматизованій мережі відповідно.

Автоматичні мережі передбачають виконання всіх функцій по передачі і комутації повідомлень автоматами.

на мережах користування через те, що 60 % устаткування КЦ не відповідає вимогам ЕСЕ України, застосовуються мережі змішаної комутації.

По території, що обслуговується мережі зв'язку розділяють на міжміських, міжнародних, місцевих (сільські, міські), внутрішньовиробничих.



Міжміська мережа зв'язку - мережа зв'язку, що забезпечує зв'язок між абонентами, що знаходяться на території різних областей або різних адміністративних районів однієї області (окрім районів у складі міста) [6].

Міжнародна мережа зв'язку - сукупність міжнародних станцій і каналів, що сполучають їх, що забезпечує міжнародним зв'язком абонентів різних національних мереж [6].

Місцева мережа зв'язку - мережа електрозв'язку, що утворюється в межах адміністративної або визначеної за іншим принципом території, не відноситься до регіональних мереж зв'язку; місцеві мережі підрозділяються на сільських і міських [1].

Сільська мережа зв'язку - мережа зв'язку, що забезпечує телефонний зв'язок на території сільських адміністративних районів [1].

Міська мережа зв'язку - мережа, яка обслуговує потреби великого міста. Функція міської мережі - праця базовою магістраллю для зв'язку локальних мереж всього міста [1].

Внутрішньовиробничі мережі - мережі зв'язку підприємств, установ і організацій, створювані для управління внутрішньовиробничою діяльністю, які не мають виходу на мережу зв'язку спільного користування [1].

Розділення мереж зв'язку по охопту території. Залежно від обслуговуваної території мережі бувають локальними, корпоративними, сільськими, міськими, місцевими, обласними, міжміськими (магістральними для первинної мережі), національними, міжнародними, глобальними (територіальними), змішаними.

Локальна мережа зв'язку - мережа зв'язку, розташована в межах деякої території (підприємство, фірма і т. д.) [5].

Корпоративна мережа зв'язку - мережа зв'язку, об'єднуюча мережі окремих підприємств (фірм, організацій, акціонерних суспільств і т. п.) в масштабі як одного, так і декількох держав [5].

Обласна, або зонава мережа зв'язку, - міжміська мережа електрозв'язку в межах території однієї або декількох областей.

Магістральна мережа зв'язку - міжміська мережа електрозв'язку між центром України Києвом і обласними центрами, а також між центрами областей.

Національна мережа зв'язку - мережа зв'язку даної країни, що забезпечує зв'язок між абонентами усередині цієї країни і вихід на міжнародну мережу [1].

Глобальна (територіальна) мережа зв'язку об'єднує мережі, розташовані в різних географічних областях земної кулі [5]. Одним з прикладів такої мережі може бути *Internet*.

Розділення мереж по роду зв'язку (використовуваній апаратурі). По роду зв'язку (використовуваній апаратурі) мережі зв'язку можуть бути підрозділені на дротяних (кабельні, повітря, волоконно-оптичні) і радіо мережі (радіорелейні, тропосферні, супутникові, метеорні, іоносферні і т. д.).

Розділення мереж по вигляду зв'язки. Залежно від виду зв'язку мережі зв'язку підрозділяють на телефонних, відеотелефонні, телеграфні, факсиміле, передачі даних, мережі звукового і телевізійного мовлення.

Розділення мереж по вигляду переданої інформації. По вигляду переданої інформації розрізняють цифрові, аналогові і змішані мережі зв'язку. Існування змішаних мереж характерне при переході від аналогових мереж зв'язку до цифрових.

Розділення мереж по ступеню захищеності. За цією ознакою мережі зв'язку діляться на захищених (мережі зашифрованого телефонного, зашифрованого телеграфного зв'язку і т. д.) і незахищених. У свою чергу в захищених мережах може використовуватися апаратура гарантованої і тимчасової стійкості.

## 2. Основні показники ефективності ТІМ.

Визначення та математичне представлення показників ефективності ТІМ.

Ступень використання каналів та іншого устаткування залежить від:

- Побудови мережі;
- Стану та справності роботи;
- Рівня завантаження каналів мережі переданими повідомленнями.

Одним з підходів до оцінки корисного використання каналу є розрахунок часу протягом котрого:

1. канал надано користувачеві (занятий абонентом чи зданий в оренду) незалежно від того. Завантажений він чи ні, -  $t_1$ .
2. канал надано користувачеві як і в першому випадку. Але оплачується користувачем, -  $t_2$ .
3. канал «активний», тобто по ньому передається повідомлення, -  $t_3$ .

передається корисна для користувача інформація (за винятком адресної і службової інформації, надлишкової, пере опиту тощо) –  $t_4$ .

$$t_4 < t_3 \leq t_2 < t_1 < t_c$$

Час доставки повідомлення від джерела інформації до споживача і його складова – час проходження повідомлення в мережі від моменту надходження в кінцевий пункт введення інформації в мережу до моменту виведення його з мережі. Особливо важливий при використанні метода комутації пакетів розглянемо в 2 питанні.

Спроможність мережі доставляти повідомлення характеризується наступним показником - *потужність мережі за пропускнуою спроможністю*:

$$D = \sum_{i,j} C_{ij} L_{ij}$$

Якщо пропускна спроможність ребра визначена його ємністю  $v_{ij}$ , то *потужність мережі в канало-кілометрах* дорівнює загальній довжині каналів:

$$\Lambda = \sum_{i,j} v_{ij} L_{ij}$$

Реальна потужність мережі, що враховує коефіцієнт  $\eta_{ij}$  - використання каналів ребра:

$$D_p = \sum_{i,j} \eta_{ij} C_{ij} L_{ij}$$



*Продуктивність мережі:*

$$P = \sum_{i,j} V_{ij} L / T ,$$

де  $V_{ij}$  обсяг переданих за час  $T$  повідомлень (біт чи години-занять) між пунктами. Відношення показує, наскільки добре використовується потужність мережі – її канали.

*Якість передачі (наявність перекручувань, розбірливість, чіткість)* визначається втратами викликів і різними затримками у з'єднанні та доставці, можна охарактеризувати коефіцієнтом корисного використання часу користувачів (абонентів)

$$\eta_{аб} = a_e (t_{e1} + t_{e2}) / (T_1 + T_2 + T_3),$$

де  $a_e$  – коефіцієнт, що враховує втрати часу на паузи, контроль правильності, перезапиту і т. ін.;  $t_{e1}, t_{e2}$  – ефективний час (при телефонії розмові  $t_{e1} = t_{e2} = t_e$ ), який витрачається користувачами на передачу і прийом корисної інформації;  $T_1$  і  $T_2$  – повний час, який витрачається передавальним та приймальним користувачами;  $T_3$  – час, що витрачається третьою особою, яка бере участь у встановленні зв'язку (наприклад замовлення між містами).

Однією з важливих характеристик мережі є *доступність засобів зв'язку користувачеві*.

### **3. Базові структури ТІМ. Напрямки розвитку зв'язку в Україні.**

Мережі зв'язку охоплюють величезне число різних технічних пристроїв, розташованих на великій території. Телефонна мережа, наприклад, об'єднує мільйони телефонних апаратів, десятки тисяч кілометрів ліній зв'язку, велику кількість каналобразуючих і комутаційної апаратури і багато іншого спеціального устаткування, розташованого на території всієї країни. Сотні тисяч телеграфних апаратів і безліч різного об'єднує телеграфна мережа, що також охоплює всю територію країни. Значно менше масштаби мережі передачі даних і зв'язку факсиміле.

*До мереж зв'язку пред'являються певні вимоги.* Найважливішою з них є вимога, що пред'являється користувачами (абонентами): мережа повинна забезпечити кожному абонентові можливість в слушний для нього час зв'язатися з будь-яким іншим абонентом і передати певне повідомлення. Для виконання цієї вимоги мережа має бути побудована по певних принципах; *принцип - основне, керівне правило* [1].

*При побудові мережі зв'язку* можуть бути використані наступні принципи: «кожен з кожним», вузловий, радіальний, радіально-вузловий. Принцип побудови «кожен з кожним», проілюстрований на рис. 2.4, а; мережа будується так, щоб кожен пункт зв'язку  $\{A\}$  був зв'язаний сполучними лініями безпосередньо з будь-яким іншим пунктом. У пунктах зв'язку мережі розміщуються крайові абонентські пристрої систем електрозв'язку, тому ці пункти називаються *крайовими* або *абонентськими*. Сполучні лінії грають роль каналів електрозв'язку між крайовими пристроями. Кожен абонент

такої мережі має постійний і прямий зв'язок зі всіма іншими абонентами. Мережа, побудована за принципом «кожен з кожним», надійна, відрізняється оперативністю і високою якістю передачі повідомлень. Проте на практиці вона застосовується тільки при невеликому числі абонентів. Пояснюється це тим, що із зростанням числа абонентських пунктів швидко зростають число і сумарна довжина сполучних ліній зв'язку. В результаті мережа стає громіздкою, а її вартість непомірно великий.

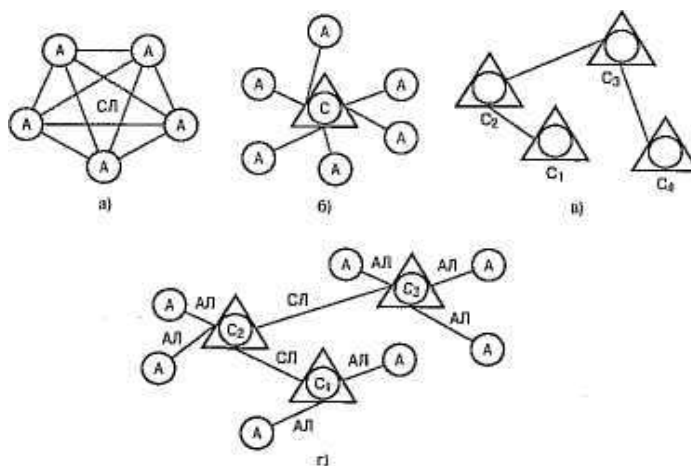


Рис. 2.4 Принципи комутації

Мережа зв'язку, побудована по радіальному (зіркоподібному) принципу (рис. 2.4, б), складається з безлічі абонентських пунктів { А } і одного вузлового пункту (С). На крайових пунктах встановлені абонентські пристрої, а на вузловому - станція комутації, до якої з допомогою яскраво-червоної підключається апаратура кожного крайового пункту.

Станція комутації є сукупністю пристроїв, що виконують електричне з'єднання абонентських ліній. Кожне з'єднання дозволяє створити систему електрозв'язку для передачі повідомлень між відповідними абонентами.

Вузловий принцип побудови мережі (рис. 2.4, в) використовується при обмеженому числі крайових пунктів, розташованих на невеликій території. Якщо число абонентів велике або вони розосереджені на великій території, то різко зростає вартість лінійних споруд із-за збільшення середньої довжини абонентських ліній.

На рис. 2.4, г приведена схема побудови мережі, що має три станції комутації (З, - СЗ), до кожної з яких за допомогою абонентських ліній підключені абонентські апарати близько розташованих абонентів. Апарат кожного абонента є крайовим пунктом зв'язку. Кожен апарат підключений тільки до однієї станції. Всі станції між собою сполучені сполучними лініями. Структура мережі дозволяє встановлювати з'єднання між будь-якими абонентами через одну або дві станції. Подібну структуру мають, наприклад, мережі багатьох міст, якщо число абонентів в них не перевищує 80...90 тис. При цьому число станцій не перевищує десяти.

Телефонні мережі крупних міст зазвичай мають декілька груп телефонних станцій, подібних що розгледіла. Кожна група станцій обслуговує певний район міста, званий вузловим. При цьому зв'язок між абонентами різних вузлових районів здійснюється через спеціальні вузли. На мал. 2.4,д приведена одна з можливих схем побудови

мережі з двома вузловими районами. З метою спрощення малюнка не показані абонентські пункти мережі, пов'язані із станціями за вузловим принципом. Телефонні станції усередині кожного вузлового району зв'язані за принципом «кожен з кожним». Зв'язок між вузловими районами відбувається через спеціальні станції - вузли витікаючих повідомлень (ВВП) і вузли вхідних повідомлень (ВВхП). Такий принцип побудови мереж електрозв'язку отримав назву *радіально-вузловий*.

Мережі документального зв'язку (мережі передачі даних, телеграфні, факсиміле) будуються по радіально-вузловому принципу з адміністративно-територіального розподілення країни, що забезпечує найменшу вартість створення мережі і високу ефективність використання складних і дорогих засобів електрозв'язку.

При побудові окремих мереж можна використовувати два основних організаційно-технічних принципи: утворення прямих зв'язків і вживання базової комутованої мережі.

Утворення прямих зв'язків передбачає побудова ліній зв'язку безпосередньо між пунктами управління, на яких розташовуються комутаційні центри (рис. 2.5).

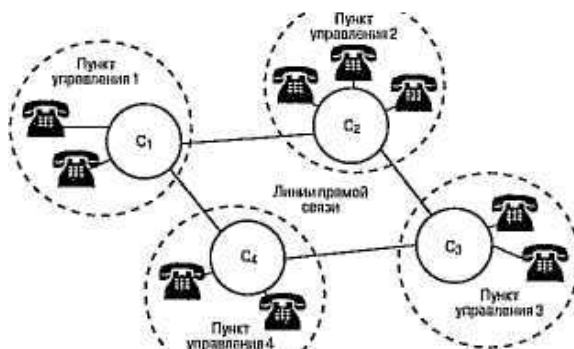


Рис. 2.5. Гіпотетична структура мережі зв'язку, утвореному лініями прямому зв'язку

Особливістю принципу побудови з використанням базової комутації

КЦ на мережі ще одного типа КЦ - транзитного, територіально і функціонально не пов'язаного з пунктами управління (рис. 2.6).

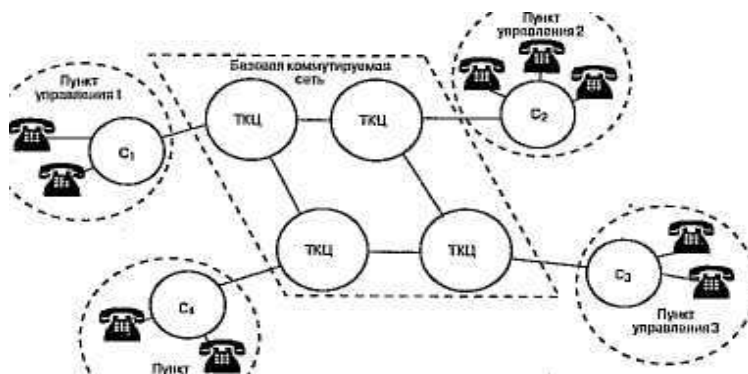


Рис. 2.6. Гіпотетична структура мережі зв'язку, утвореного з використанням базової комутованої мережі

Ці транзитні КЦ, що здійснюють оперативну комутацію каналів, повідомлень або (и) пакетів і які зв'язані між собою гілками, утворюють *базову комутовану мережу*.

### *Висновки*

Таким чином, мережі, призначені для передачі індивідуальних повідомлень, будуються в основному по радіально-вузловому принципу, що забезпечує найменшу вартість створення мережі і високу ефективність використання складних і дорогих засобі електрозв'язку.

### *Завдання на самостійну роботу*

1. Вивчити питання лекції
2. Поширити знання з класифікації ТІМ. Скласти таблицю основних показників ефективності ТІМ.

### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, "Техніка", 2001-с.13-19.
2. ДСТУ 34.602. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Технічне завдання на створення автоматизованої системи. с.1-11
3. Оліфер В.Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи. Посібник для Вузів. 4-е вид. –СПБ.: 2010. -с.39-75.
4. Стеклов В.К., Костік Б.Я., Беркман Л.Н. Сучасні системи управління в телекомунікаціях/ За заг. ред.. В.К Стеклова.- К.: Техніка, 2005.-400с.
5. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: підручник/П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708с.

## Модуль 1 Основи телекомунікаційних та інформаційних мереж (ТІМ) ТЕМА 1. Загальні відомості про ТІМ

### Лекція 3. Основи з'єднання для передавання інформації

#### ПЛАН

##### *Навчальні питання*

1. Комутація каналів та повідомлень.
2. Комутація пакетів, змішана та інтегральна комутація.
3. Різновиди швидкої комутації.

*Виконати самостійне завдання № 3.*

##### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, "Техніка", 2001.- 526 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, "Техніка", 2003. – 923 с.
3. Оліфер В.Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи. Посібник для Вузів. 4-е вид. –СПБ.: 2010. -с.944.
4. Щекотихин В.М. Основы построения систем и сетей передачи информации. М.: Горячая линия-Телеком. 2005.- 382с.
5. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: підручник/П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708с.

#### ***Вступ***

Мережі зв'язку України розгортаються на комутаторах, які будуються на основі застосування одного чи двох способів комутації. **Комутація** - процес створення послідовного з'єднання функціональних одиниць, каналів передачі або каналів зв'язку на той час, яке потрібне для транспортування сигналів. При передачі повідомлень використовуються наступні основні способи комутації: комутація каналів (КК), комутація повідомлень (КС), комутація пакетів (КП), гібридна комутація (ГК). Згідно концепції розвитку телекомунікації на Україні при розгортанні мереж орієнтир взятий на мультисервісні мережі з пакетною комутацією.

#### **1. Комутація каналів та повідомлень.**

**Комутація каналів** застосовується, як правило, на аналогових або одношвидкісних цифрових мережах зв'язку.

На таких мережах здійснюється *статичний розподіл мережевого ресурсу або застосовується фіксована смуга пропускання, виділена для передавання інформації.*

При цьому затримка повідомлень мінімальна і визначається тільки часом встановлення з'єднання.

**Недолік.** Даний спосіб вважається недостатньо гнучким і на його основі практично неможливо побудувати мультисервісну цифрову мережу з великим набором швидкостей.

У цифрових мережах зв'язку різновидами класичної КК є способи:

- багатшвидкісної комутації каналів (БКК);
- швидкої комутації каналів (ШКК).

*Спосіб багатшвидкісної комутації каналів є динамічнішим в порівнянні із звичайною комутацією каналів. При цьому способі канал з мінімальною швидкістю передачі вибирається як базовий; шляхом об'єднання базових каналів формується набір каналів з різними швидкостями, кратними базовою. Як базова можуть бути вибрані, наприклад, швидкості 8 або 64 кбит/с. Потім залежно від вимог користувачеві представляється той або інший складений канал.*

*При здійсненні швидкої або багатшвидкісної комутації оптимально використовуються можливості напівпровідникових елементів комутаційного пристрою, коли у будь-який момент часу канал обміну буде комбінацією декількох каналів з базовою швидкістю.*

Особливістю багатшвидкісної комутації є надання каналу на вимогу в паузах мовного сигналу. Динамічний розподіл смуги пропускання збільшує ефективність мережі зв'язку, але при перевантаженнях мовних відрізків втрачається. Крім того, при реалізації ШКК і БКК смуга результуючого каналу має бути кратна смузі базового каналу.

**Комутація повідомлень** - спосіб комутації, при якому в кожній системі комутації проводиться прийом повідомлення, його накопичення і подальша передача відповідно до адреси.

При використанні способу комутації повідомлень використовується накопичення повідомлення (або його частки) в пам'яті центрів комутації, тому повідомлення крайових пунктів мережі зв'язку передається в центр комутації повідомлень (ЦКП), потім в інший центр і так далі, повідомлення не досягне того ЦКП, з яким безпосередньо пов'язаний крайовий пункт мережі зв'язку (КПМЗ). Подібна поетапна передача повідомлення дозволяє отримати позитивних властивостей для мережі зв'язку, що приводить до переважного використання способу комутації повідомлень в сучасних мережах зв'язку.

В даний час існує декілька варіантів цього способу комутації. *Основними з них є повне переприймання повідомлень і комутація пакетів.*

У першому випадку в центрах комутації здійснюється переприймання повного повідомлення, в другому - лише його (пакету), що забезпечує отримання переваг.

**Комутація пакетів** - спосіб комутації, при якому повідомлення ділиться на частини певного формату, – «пакети», що приймаються, накопичувані і передавані як самостійні повідомлення за принципом, прийнятим для комутації повідомлень.

Кожному пакету привласнюється адреса повідомлення, а у ряді випадків - ознака приналежності певному повідомленню і його порядковий номер. Якщо всі пакети одного повідомлення передаються по єдиному шляху (поодиноці віртуальному каналу), то режим комутації називається *віртуальним*, якщо ж кожен пакет передається по самостійному шляху - *датаграмним*.

**Віртуальний канал** - це логічний канал, що проходить через телекомунікаційну мережу [1].

Спосіб комутації пакетів відповідає механізму динамічного розподілу мережевого ресурсу або змінній смузі пропускання, що змінюється залежно від вимоги абонентів. Проте при цьому мають місце випадкові затримки інформації. Спосіб КП є найбільш прийнятним для передачі даних, особливо при пачковій структурі трафіку.

**Трафік** - сукупність повідомлень, що передаються по мережі електрозв'язку [4].



Рис. 3.1. Класифікація способів комутації

Слід зазначити, що поряд випадковою затримкою інформації вживання способу КП зв'язане іншою проблемою - складністю протоколів.

Одним з різновидів КП є *спосіб швидкої комутації пакетів (ШКП)*, що використовує простіші протоколи. Так само, як і при звичайній КП, в мережі з ШКП організуються віртуальні канали, і інформація в заголовку пакету визначає, який з каналів має бути використаний для передачі пакету. Для реалізації ШКП потрібно будувати мережу зв'язку на волоконно-оптичних лініях зв'язку (ВОЛЗ), включаючи і абонентську мережу, що забезпечує великі швидкості передачі повідомлень і малі значення вірогідності помилки. Крім того, в мережах з ШКП простіше технічно реалізувати вузли комутації в порівнянні з мережами з КП.

Нижче розглянемо докладніше за процедуру передачі повідомлення між крайовими пунктами відправника КППЗ<sub>В</sub> і одержувача КППЗ<sub>О</sub> при вживанні різних способів комутації на прикладі використання фрагмента мережі зв'язку, Z, що містить, послідовно сполучених каналами зв'язку центрів комутації ЦК<sub>1</sub>, ЦК<sub>2</sub>, ..., ЦК<sub>Z</sub> (рис. 3.2).



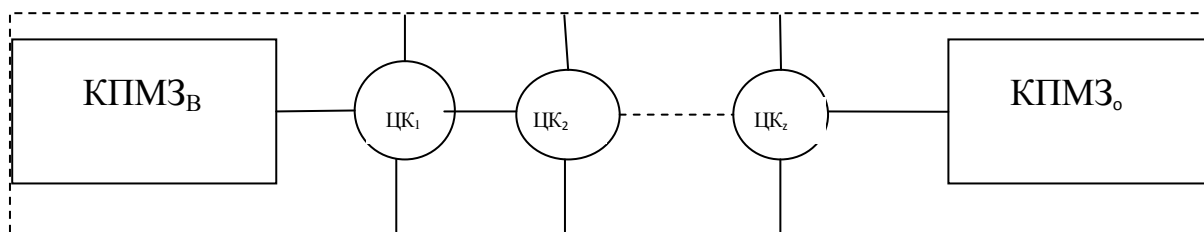


Рис.3.2

**Комутація каналів.** Суть способу комутації каналів (КК) при передачі повідомлень полягає в наступному. У момент часу  $t_1$ , (рис.3.3) від КППМЗВ - відправника повідомлення в центр комутації ЦК<sub>1</sub>, поступає заявка на з'єднання з крайовим пунктом мережі зв'язку (КППМЗО) одержувача. Протягом часу встановлення з'єднання  $t_{yc}$  проводиться встановлення з'єднання в ЦК<sub>1</sub>, потім передається сигнал  $C_1$  в ЦК<sub>2</sub>, де також встановлюється з'єднання. Процедура продовжується до тих пір, поки не будуть проведені всі з'єднання в центрах комутації (момент часу  $t_z$ ), і тоді відправникові посилається сигнал готовності і після його отримання - від КППМЗВ передається повідомлення, яке для цифрових мереж зв'язку вимірюється в  $L$  біт. Час передачі повідомлення  $t_p = L/R_6^3$ , де  $R_6^3$  - ефективна швидкість передачі бітів повідомлень по цифровому каналу.

На рис. 3.3 через  $t_p$  позначений час поширення сигналу на ділянці між двома ЦК.

Процес передачі закінчується після прийому повідомлення одержувачем у момент часу  $t_k$ . Слід зауважити, що в спільному випадку час встановлення з'єднання в центрах комутації є величиною випадковою для різних центрів. Для спрощення оцінок вважаємо, що  $t_{yc}$  є середнім часом встановлення з'єднань.

час доведення повідомлення відповідно до показаної на рис.3.3 тимчасовою діаграмою визначається

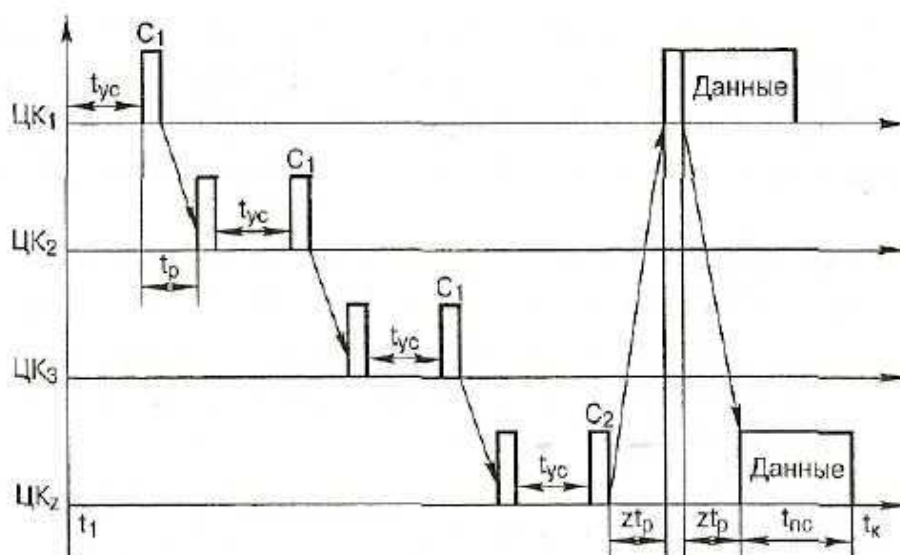


Рис. 3.3 Сутність способу КК

Слід зауважити, що час заняття каналу різний. Характеризуватимемо ефективність використання ділянки каналу  $i$  між ЦК <sub>$i$</sub>  і ЦК <sub>$i+1$</sub>  коефіцієнтом ефективності використання ділянки каналу  $R_{исп*i*}$ , що дорівнює відношенню часу,



протягом якого передаються дані, до спільного часу заняття каналу. Неважко переконатися, що

$$t_{\text{дов}} = zt_{\text{yc}} + 3t_{\text{p}}(z-1) + L/R_6^3 = (t_{\text{yc}} + 3t_{\text{p}})z + L/R_6^3 - 3t_{\text{p}}. \quad (3.1)$$

де  $i = (1, 2, \dots, (z-1))$ . Нехтуючи значеннями  $t_{\text{p}}$ ,  $zt_{\text{p}}$ ,  $2zt_{\text{p}}$ , які як правило, істотно менше  $t_{\text{yc}}$  і  $L/R_6^3$ , отримаємо

$$R_{\text{исп } i} = \frac{L/R_6^3}{(t_{\text{yc}} + t_{\text{p}})(z-1) + 2zt_{\text{p}} + L/R_6^3} \quad (3.2)$$

З цього виразу виходить, що коефіцієнт використання ділянки каналу  $R_{\text{исп } i}$  - залежить від часу встановлення  $t_{\text{yc}}$  і різний для різних ділянок каналу  $i$ . Найефективніше використовується остання ділянка каналу  $(z-1)$ . Причиною низької ефективності перших ділянок є необхідність створення прямого тракту до початку передачі повідомлення. За відсутності вільного каналу на якій-небудь ділянці встановлені раніше з'єднання руйнуються, а втрати часу на подібні не обслужені виклики є основною причиною неефективного використання пропускнув спроможності каналів в мережах комутації каналів.

Метод КК широко застосовується в телефонних мережах, що надають користувачам діалоговий зв'язок. Окремим випадком КК є кросова комутація, якою відповідають довготривалі з'єднання в ЦК, що дозволяють організувати прямий (не комутований) канал ОП.

Цифрові мережі КК діляться на **синхронних** і **асинхронних**.

У синхронних цифрових (SDH) мережах КК устаткування, що передає і комутаційне, синхронізуються від єдиного тактового генератора, що дозволяє спростити і інтегрувати процеси передачі і розподілу інформації в системах тимчасовим ущільненням, але вимагає створення складної системи мережевої синхронізації.

У асинхронних цифрових мережах КК, що передає і комутаційне, незалежно синхронізуються автономними тактовими генераторами, що забезпечує певну гнучкість у виборі апаратури і узгодження і існуючими мережами передачі даних (наприклад, телеграфними). Проте при цьому з'являються труднощі, пов'язані із забезпеченням завадостійкості передавання.

**Комутація повідомлень.** При використанні цього способу повідомлення відправника передається в ЦК<sub>1</sub>, де запам'ятовується і передається в наступний ЦК. Процедура повторюється до тих пір, поки повідомлення не досягне ЦК<sub>z</sub>, звідки через канал зв'язку воно поступає в КПМЗ одержувача (рис.3.4).

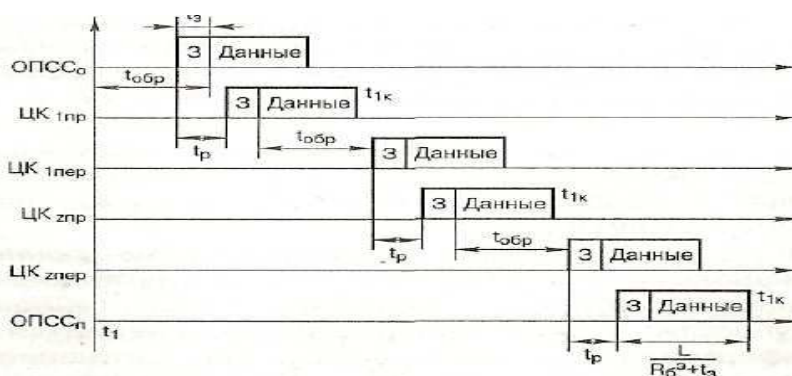


Рис. 3.4 Сутність способу Кп.  $t_3$  - час передачі заголовка

Початком циклу передачі є момент часу  $t_1$ , починаючи з якого апаратурою КПМЗ відправника проводиться обробка повідомлення (аналіз адреси і категорії терміновості, вибір вихідного тракту і т. д.). Час обробки є величиною випадковою і залежить від стану каналів зв'язку, завантаження КПМЗ і центрів комутації і інших чинників. Для отримання наближених оцінок цього часу використовується середній час обробки повідомлення в КПМЗ або центрі комутації  $t_{обр}$ . Після надання вихідного тракту передаються заголовок і дані, що містяться в повідомленні. Процес передачі від КПМЗ до ЦК, закінчується у момент  $t_{1к}$ . При передачі від ЦК<sub>1</sub> до ЦК<sub>2</sub> і так далі все повністю повторюється. Останній етап містить передачу повідомлення з ЦК<sub>z</sub> в КПМЗ одержувача.

Процес передачі складається з  $(z + 1)$  однакових циклів, кожен з яких має тривалість  $t_{ц} = (t_{обр} + t_p + t_3 + L/R_6^3)$ . Отже, спільний час доведення повідомлення від КПМЗ<sub>В</sub> до КПМЗ<sub>О</sub>

$$t_{дов} = (z + 1) t_{ц} = (z + 1)(t_{обр} + t_p + t_3 + L/R_6^3) \quad (3.3)$$

Перетворюючи цей вираз, отримаємо

$$t_{дов} = (z + 1)t_{ц} = (z + 1)(t_{обр} + t_p + t_3) + (z + 1)L/R_6^3. \quad (3.4)$$

Різні ділянки напрямку передавання повідомлення при цьому способі займаються по черзі лише на час передавання повідомлення. Тому коефіцієнт використання каналів однаковий для всіх ділянок і дорівнює:

$$R_{исп} = \frac{L/R_6^3}{t_p + t_3 + L/R_6^3} = 1 - \frac{t_p + t_3}{t_p + t_3 + L/R_6^3} = 1 - \frac{I_3}{L + I_3}, \quad (3.5)$$

де  $I_3 = t_3 R_6^3$  - довжина заголовка в бітах.

Таким чином, характерною особливістю способу комутації повідомлень при повному переприйомі повідомлень в центрах комутації є почергове заняття каналів і центрів комутації на маршруті передачі повідомлення. Формати повідомлень визначаються оптимізацією процедур обміну повідомленнями між відправниками і одержувачами. Внаслідок цього об'єм повідомлень, як правило, не оптимальний з точки зору процедур обміну в мережі зв'язку. Повне переприймання повідомлень, що мають в більшості випадків довжину, у багато разів оптимальну, що перевищує, приводить до тривалих затримок в центрах комутації і необхідності мати пристрої

вельми великої ємкості, що там запам'ятовують. Ці обставини і зумовили широке вживання способу комутації пакетів.

## 2. Комутація пакетів, змішана та інтегральна комутація.

**Комутація пакетів.** При цьому способі обмін повідомленнями між відправниками і одержувачами реалізується при використанні двох протоколів. *Протокол обміну повідомленнями* є протоколом вищого рівня і забезпечує безпосередній обмін повідомленнями заданого формату між двома КПМЗ. Протоколом нижчого рівня є *протокол пакетної комутації*, що забезпечує доставку пакетів з місця розділення повідомлень на пакети в місце їх формування. Оптимальний вибір об'єму пакету дозволяє зменшити ємкість пристроїв, що запам'ятовують, і час затримки пакетів в центрах комутації.

Доставка повідомлення від відправника до одержувача в мережі зв'язку пакетною комутацією включає:

- процедури отримання повідомлення від відправника;
- утворення пакетів;
- передачі пакетів по мережі;
- формування повідомлення;
- видачі його одержувачеві.

Процедура утворення пакетів з повідомлення і зворотна процедура формування повідомлення з пакетів, що приймаються, можуть здійснюватися або КПМЗ відправника і одержувача повідомлень, або в центрах комутації, з якими безпосередньо пов'язані КПМЗ відправника і одержувача повідомлень.

У першому випадку базова мережа зв'язку реалізує лише протокол пакетної комутації, а протокол обміну повідомленнями здійснюється засобами КПМЗ, обмін яких з центрами комутації також проводиться пакетами. У окремому випадку, коли відправник здійснює введення повідомлень у формі пакетів, можна обходитися і без автоматизації процедур перетворення повідомлень в пакети.

У другому випадку ОП мережі зв'язку видає в ЦК повідомлення, тобто обмін між КПМЗ і ЦК реалізується по протоколу обміну повідомленнями, в рамках якого, природно, може бути застосовано і розбиття на пакети. Потім реалізується процедура передачі пакетів в ЦК одержувача, в якому здійснюється збірка повідомлення, що видається в КПМЗ одержувача.

Використання пакетної комутації дозволяє реалізувати різні протоколи управління процесом доставки пакету від відправника до одержувача. Найбільшого поширення набули датаграмний спосіб, і спосіб зі встановленням віртуального каналу.

При датаграмному способі кожен пакет при переміщенні в мережі розглядається як самостійний блок, що доставляється одержувачеві (точніше, в елемент мережі зв'язку, що реалізовує процедуру формування повідомлень з пакетів, що приймаються) відповідно до приписаної йому адреси. Процес передачі пакетів по одному маршруту датаграмним способом показаний на рис. 3.5.

Передбачається, що процедури формування пакетів (повідомлень) реалізуються в КПМЗ. Перший пакет повідомлень передається таким самим чином, як і при комутації

повідомлень. При передачі другого пакету на ділянці КПМЗ<sub>В</sub> – ЦК<sub>1</sub> напряму передачі повідомлень одночасно передається пакет на ділянці ЦК<sub>1</sub> – ЦК<sub>2</sub>. З моменту передачі пакету з номером  $z$  ведеться одночасна передача пакетів на всіх ділянках напряму передачі повідомлень між КПМЗ відправника і КПМЗ одержувача повідомлень. Спосіб комутації пакетів наближається по характеристиках до способу комутації каналів, зберігаючи всі переваги комутації повідомлень.

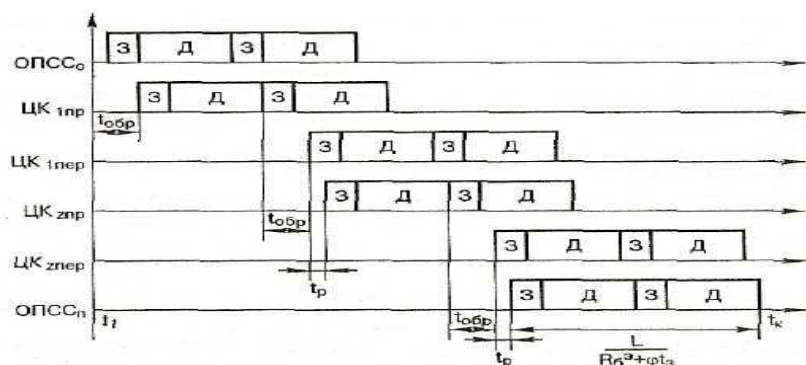


Рис. 3.5 Діаграма, що пояснює суть датаграмного способу комутації  
З - заголовок, Д - дані,  $\varphi$  - кількість пакетів

Для визначення часу доведення повідомлення з  $z$  пакетів можна використовувати отримане раніше виразі (3.4), що дозволяє визначити час передачі першого пакету ( $t_k - t_1$ ) і врахувати тривалість передачі останніх ( $\varphi - 1$ ).

Таким чином

$$t_{\text{дов}} = (t_{\text{обр}} + t_p + t_z)(z + 1) + \frac{L}{\varphi R_0^3}(z + 1) + \left( \frac{L}{\varphi R_0^3} + t_z \right) (\varphi - 1). \quad (3.6)$$

При передачі пакетів одного повідомлення по декількох паралельних напрямках, що проходять через різні центри комутації мережі, час доведення може бути зменшений. Проте при будь-якому числі каналів воно не може бути менше суми двох перших доданків формули (3.6). Як і при комутації повідомлень, ділянки маршруту займаються лише на час передачі повідомлення і коефіцієнт їх використання дорівнює:

$$R_{\text{исп}} = \frac{L/R_0^3}{t_p + t_z + L/R_0^3} = 1 - \frac{\varphi t_z}{L + \varphi t_z} = 1 - \frac{t_z}{L_{\text{п}} + t_z}, \quad (3.8)$$

де  $L_{\text{п}}$  - об'єм повідомлень з формату пакету в бітах ( $L_{\text{п}} = L/\varphi$ ).

Датаграмний спосіб відносно простий в реалізації і забезпечує мінімізацію часу доведення повідомлення одержувача.

До недоліків способу слід віднести:

1. Можливість порушення прибуття в ОП користувача пакетів довгого повідомлення незалежності їх маршрутів в мережі, що вимагає сортування пакетів в потрібній послідовності.
2. Наявність різних затримок пакетів через відсутність попереднього резервування пам'яті в ОП користувача для багатопакетних повідомлень, що приводить до перевантаження пам'яті ЦК користувача.
3. Поява тупикових ситуацій, що знижує використання технологічних ресурсів. У

мережі КП датаграмним режимом такі ситуації виникають за умови, потік пакетів, поступає в мережу із перевищенням допустимого.

Для виключення вказаних недоліків в мережі КП застосовуються різні методи резервування ресурсів (перш за все пам'яті ОП користувача або ЦК). Так, якщо датаграмний спосіб доповнити віртуальним викликом, коли перед передачею основної інформації ОП джерела посилає службовий пакет в ОП одержувача, запрошує ресурси (необхідний об'єм пам'яті ОП одержувача), на який отримує у відповідь пакет готовності, то це значно зменшує вірогідність тупикових ситуацій із-за перевантаження ЦК користувача. При діставанні відмови ОП джерела не передає повідомлення і тим самим не завантажує мережу.

Фіксуєчи додатково шлях передачі пакетів в маршрутних таблицях тих вузлів, через які пройшов службовий пакет виклику, можна значно зменшити вірогідність порушення ладу дотримання пакетів довгого повідомлення. *Цей різновид КП називається комутацією пакетів зі встановленням віртуального каналу.* При цьому виключається циркуляція пакетів («петлі») і з'являється можливість контролю перевантажень за рахунок встановлення допустимого числа віртуальних каналів в мережі. Заголовки пакетів (окрім першого) при використанні способу зі встановленням віртуального каналу можуть мати менший об'єм, чим при способі датаграм, *оскільки замість повної адреси досить мати лише відомості про приналежність до заданого маршруту, тобто зведення про умовний номер віртуального каналу.*

**Гібридна або змішана комутація.** Поєднання достоїнств способів КК і КП забезпечується в гібридній комутації, що комбінує: - комутацію каналів для повідомлень, що передаються в реальному масштабі часу (мова, сигнали телекерування і телеметрії, повідомлення факсиміле), і комутацію пакетів для даних.

Розподіл змішаного трафіку визначається в цьому випадку під час виклику ОП джерела в мережу, в якій при цьому частка пропускної спроможності магістральних каналів відводиться під Трафік, що передається в режимі КК, а інша частка - під трафік, що передається в режимі КП. Платою за широкі можливості способу ГК є збільшення апаратно-програмних витрат на реалізацію  $L$ .

З рис. 3.6 видно, що для коротких повідомлень ( $L < L_1$ ) немає відмінностей між способами повного переприйому повідомлень (ППС) і комутацією пакетів.

### 3. Різновиди швидкої комутації.

*Швидка комутація пакетів.* У мережах з комутацією пакетів функції комутації виконуються спеціальними комутаційними ЕОМ, що утворюють в мережі вузли (центри) комутації пакетів. У КП традиційних мереж пакетної комутації (мереж Х. 25) пакети обробляються в багатопрограмному режимі процесором.

Швидка комутація пакетів (ШКП) характеризує наступне покоління мереж з комутацією пакетів - мереж АТМ і відрізняється тим, що за рахунок використання в комутаторах багатопроцесорних комутаційних систем (комутаторів АТМ) з численними входами і виходами в них забезпечується паралельна обробка великої кількості одночасно комутуваних пакетів (осередків АТМ).

Метод ШКП є найбільш досконалим методом комутації пакетів, що забезпечує за рахунок паралельної обробки осередків високу продуктивність КК. Метод ШКП може використовуватися в комутаційних системах КК як електронними, так і з оптичними комутаторами. Комутаційні системи ШКП поділяються на три типи:

- комутатори з колективною пам'яттю;
- комутатори з загальної середовищем;
- комутатори з просторовим розділенням.

Незалежно від типу комутатора на його входах і виходах встановлюються контролери. У функції входних контролерів (ВхК) входять демультимплексування входних потоків осередків, що входять заголовка, визначає маршрут її руху всередині комутатора. Осередок ліній зв'язку, і введення в кожному клітинку деякого, доповнена таким заголовком називається швидким пакетом (ШП). Вихідний контролер (ВихК) пересилає ШП з виходу комутаційної системи у вихідну лінію зв'язку, здійснюючи мультимплексування. При цьому в ШП видається додатковий заголовок - і ШП перетворюється знову в клітинку. Для уникнення втрати ШП у разі виникнення конфлікту (дві і більше осередків направляються до одного і того ж виходу) контролери можуть містити входні і вихідні буферні запам'ятовуючі пристрої (БЗП).

#### *Висновки:*

Перевагою комутації каналів є малий час доведення повідомлення по вже обраному каналу, а також низькі вимоги до структури повідомлень і їх форматів. Внаслідок цього спосіб комутації каналів також може використовуватися в цифрових мережах інтеграцією обслуговування і в мережах передачі даних часто із способом комутації пакетів. При забезпеченні обміну повідомленнями конкретній ситуації може вибиратися найбільш доцільний спосіб комутації. Наприклад, при передачі великих інформації, як правило, ефективніше спосіб комутації каналів, а для передачі короткого сигналу - спосіб пакетної комутації.

#### *Завдання на самостійну роботу*

1. Вивчити питання лекції
2. Поширити знання з видів комутації особливо ШКП.
3. Провести порівняння способів комутації у кількісних показниках за наведеними формулами.

#### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, "Техніка", 2001-с.20-36.
2. Оліфер В.Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи. Посібник для Вузів. 4-е вид. –СПБ.: 2010. -с.77-106.
3. Щекотихин В.М. Основы построения систем и сетей передачи информации. М.: Горячая линия-Телеком. 2005.- 45-57с.

## Модуль 1 Основи телекомунікаційних та інформаційних мереж (ТІМ)

### Тема 2 Загальні принципи проектування систем ТІМ

#### Лекція 4 Основи системного підходу до проектування ТІМ

##### ПЛАН

##### *Навчальні питання*

1. Основні поняття, визначення та характеристики складних систем.
2. Етапи процесу проектування складних систем.
3. Науково-технічне супроводження проектування, будівництва та експлуатації ТІМ.

##### *Виконати самостійне завдання № 4.*

1. Вивчити питання лекції.
2. Скласти технічне завдання на проект мережі доступу міста згідно завданню лабораторної роботи № 2.

##### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001.- 526 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003. – 923 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 2изд.-СПб.-Питер, 2005.- 864с.
4. Барабаш Т.Н. Проектирование телекоммуникационных сетей: учебное пособие. Часть 1. Т.Н. Барабаш, И.Н Соловская /Одеса ОНАС: 2009 – 64с.

##### *Вступ*

Швидка еволюція сучасних телекомунікаційних технологій майже щоденно створює нові послуги, які сприяють удосконаленню методів прогнозування розвитку засобів і мереж зв'язку (тобто систем), їх проектування та експлуатації.

Поняття **система** не випадково стало однією з найважливіших категорій сучасної науки. Визначення системи змінювалось не тільки за формою, але і за змістом.

Прямий переклад з грецької (συστήμα) — утворення або склад, значна кількість закономірно пов'язаних один з одним елементів, що становлять певне цілісне утворення, єдність. З урахуванням глибокого аналізу, проведеного вченими світу, до категорії **система** відносяться як до категорії **відображення** теорії пізнання. Таким чином, у понятті **система**, як у будь-якій категорії теорії пізнання, об'єктивне і суб'єктивне складають єдність, тому слід визначитися про підходи до об'єктів дослідження і проектування як до систем.

### **1. Основні поняття, визначення та характеристики складних систем.**

Суб'єктивний зміст поняття системи полягає в наступному. Дослідник,

розпочинаючи вивчення деякого об'єкта або групи об'єктів, виділяє з зовнішнього середовища ті елементи або явища, які, з одного боку, відповідають меті дослідження, а з іншого, — легше і доступніше аналізуються чи проектуються.

Об'єктивний зміст поняття системи пов'язаний з тим, що система, як правило, має просторову або функціональну замкненість. Це означає, що можна провести межу або з простору (середовища) виділити компонент (елемент) цієї системи, або розглядати її функції, з одного боку якої буде система, а з іншого — зовнішнє середовище. При цьому властивості системи відмінні від властивостей зовнішнього стосовно неї середовища.

Дослідники проблеми описування систем указують, що для визначення поняття системи є два підходи.

Перший з них розглядає систему як комплекс елементів, що характеризує деяку цілісність, яка складає єдине ціле в тому або іншому підношенні. Недоліком такого підходу є нечітке поняття *цілісність*, яке саме вводиться через поняття *система*.

Другий підхід визначає систему як комплекс взаємодіючих елементів. При дослідженні, проектуванні та удосконаленні системи насамперед потрібно проаналізувати ситуацію за допомогою найповнішого визначення системи, а потім, виділяючи найвагомші компоненти, прийняти робоче визначення системи. У практичному розумінні термін система трактується в більшості випадків так.

*Визначення* Під системою розуміємо упорядковану певним чином множину елементів, взаємозалежних між собою і утворюючих деяку цілісну єдність, деяке об'єднання її складових частин, елементів, які розглядаємо як визначене єдине ціле для досягнення певної мети.

У технічній літературі [2] система визначається так.

*Під системою S об'єктів ми будемо розуміти (непусту) множину, клас або область (або декілька таких множин) об'єктів, між якими установлені деякі співвідношення.*

Визначення системи варто доповнити відомим визначенням множини. *Під множиною ми розуміємо будь-яке об'єднання в одне ціле M визначених цілком розпізнаваних об'єктів t із нашого сприйняття або думки (називаються елементами M).*

Два даних визначення виключають недолік першого підходу до визначення поняття система і роблять більш правильним другий підхід.

При формуванні поняття *велика система* виникають значніші труднощі, ніж при визначенні терміну *система* взагалі. Дійсно, не так просто провести розподільну межу між системами простими і складними, великими і малими, хоча необхідність у цьому є не тільки пізнавальною, але й прикладною, оскільки складні (великі) системи мають свою специфіку.

*Складна система* є множиною взаємозв'язаних і взаємодіючих між собою елементів і підсистем.

*Простою* вважається *система*, якщо вона має незначну кількість елементів.

Ураховуючи це положення — наявність специфіки великих систем — ряд авторів пропонують не стільки займатися формуванням єдиного визначення великої системи, скільки описати її специфічні, характерні для неї сторони і цим показати її



відмінність від простої. Так, наприклад, А. І. Кухтенко характеризує специфіку великої системи декількома ознаками, основні з яких:

- багатовимірність;
- різнорідність структури системи;
- багатозв'язність елементів системи (взаємозв'язність підсистем в одному рівні і між різними рівнями ієрархії);
- розмаїття природи елементів;
- багатократність зміни складу і стану системи (змінність структури, зв'язків і складу системи);
- багатокритеріальність системи;
- багатоплановість.

Аналізуючи ці ознаки, приходимо до висновку, що дві з них є основними — це багатовимірність і багатозв'язність.

Розглянемо поняття, які тісно пов'язані між собою, доповнюють і уточнюють одне одного, дають уяву про систему, характеризують її будову і функціонування.

*Елемент* — це мінімальний неподільний об'єкт. Поділення системи на елементи є одним із перших кроків при побудові її формального описування, тобто математичної моделі. При цьому елемент є об'єктом, який при даному розгляді складної системи не підлягає подальшому поділенню на частини.

Неподільність елемента — це поняття, але не фізична властивість.

*Підсистема* є сукупністю елементів. Формально будь-яку сукупність елементів системи з їх зв'язками можна розглядати як підсистему. Проте використання цього поняття найбільш ефективно, якщо підсистема є достатньо самостійною частиною складної системи, але мета її функціонування підпорядкована загальній меті функціонування системи.

Розбиття складних систем на підсистеми називається *декомпозицією* систем. Правильне виділення підсистем дає можливість спростити алгоритм аналізу системи.

*Функція системи* — це алгоритм одержання результатів, продиктованих метою (призначенням) системи. Визначаючи функцію системи, її поводження описують з використанням деяких понять: відношень між змінними, векторами, множинами. Функція встановлює призначення системи для досягнення поставленої мети без відношення до фізичних засобів (елементів, зв'язків), що складають саму систему, і не визначає, як побудована система. Функції системи можуть описуватися з різним ступенем деталізації.

*Структура системи* — це фіксована сукупність елементів і зв'язків між ними. Серед систем із паралельними, послідовними, ієрархічними структурами, зворотними зв'язками частіше розглядають ієрархічні.

Термін *ієрархія* (багаторівнева, розташування частин або елементів цілого в порядку від вищого до нижчого) визначає упорядкованість компонентів за ступенем вагомості. Між рівнями ієрархічної структури можуть бути взаємовідношення строгого підпорядкування компонентів нижчого рівня одному з компонентів вищого рівня. Такі ієрархії називають *сильними*. Проте між рівнями ієрархічної структури можуть бути зв'язки й у межах одного рівня ієрархії. Такі структури на

чи маються ієрархічними структурами зі слабкими зв'язками.

Поняття *рівновага* визначають як здатність системи при відсутності зовнішніх збурених або постійних діянь зберігати свій стан якомога довше.

*Стабільність* — це здатність системи повертатися до стану рівноваги після того, як вона була виведена з цього стану під впливом зовнішніх збурених факторів.

Поняття *мета* пов'язано з поняттями *цілеспрямованості*, *доцільності*. В практичному значенні поняття *мета* — це *ідеальна спрямованість*, яка дає можливість передбачити перспективу або реальні можливості, що забезпечують своєчасність завершення певного етапу на шляху до *ідеального спрямування*.

*Ефективність* — це ступінь відповідності системи своєму призначенню. З двох систем ефективнішою вважається та, котра точніше відповідає своєму призначенню. Оцінка ефективності систем — одна із задач їхнього аналізу.

*Показник ефективності (якості)* — це міра однієї властивості (характеристики) системи в числовому виразі, тобто вимір деякої її властивості.

За показники ефективності можна приймати, наприклад, продуктивність, вартість, надійність, габаритні розміри системи.

*Критерій ефективності* — це міра ефективності системи в цілому, яка виражається кількісно і вимірює ступінь ефективності системи, узагальнюючи усі її властивості однією інтегральною оцінкою — значенням критерію ефективності. Ефективність систем, утворюваних для однієї мети, оцінюється за одним критерієм, загальним для цього класу систем. Розходження в призначеннях систем пояснюється тим, що для оцінки їхньої ефективності використовуються різні критерії. Якщо при збільшенні ефективності значення критерію зростає, то критерій вважається прямим; якщо значення критерію зменшується, то — інверсним. З двох систем ефективнішою вважається та, яка відповідає найбільшому значенню прямого критерію (менше значення інверсного).

*Оптимальна система* — це система, яка відповідає максимальному (мінімальному) значенню прямого (інверсного) критерію ефективності в множині реальних варіантів побудови систем.

Таким чином, під показником ефективності складної системи доцільно розуміти її числову характеристику, що оцінює ступінь пристосованості системи до виконання поставленої задачі. Тільки вибір показника ефективності робить опис мети і задач функціонування системи цілком закінченим. Показник ефективності має визначатися процесом функціонування системи.

## **2. Етапи процесу проектування складних систем.**

Основою створення будь-якого об'єкта є процес проектування. Під проектуванням розуміють комплекс робіт, який складається із пошуку, досліджень, розрахунків та конструювання з метою отримання описування, достатнього для створення нового виробу чи реконструкції старого, що відповідає заданим вимогам. Це описування отримують при перетворенні деякого первинного описування, поданою у вигляді технічного завдання (ТЗ).

Прогрес науки і техніки, потреби суспільства, що розвивається, у нових промислових виробках обумовлюють необхідність виконання проектних робіт великого обсягу. Вимоги

до якості проектів, до термінів виконання стають все більш жорсткими відповідно до ускладнення об'єктів, що проектуються. Задовольнити ці вимоги за допомогою збільшення кількості проектувальників неможливо. Розв'язання можливе на основі автоматизації проектування із використанням обчислювальної техніки.

Проектування, яке здійснюється людиною при взаємодії з електронною обчислювальною машиною (ЕОМ), називають *автоматизованим*.

Мета автоматизації проектування – підвищення якості, зменшення витрат, скорочення термінів проектування.

Процес проектування можна поділити на етапи, які у свою чергу поділяються на процедури та операції.

*Проектна процедура* — формалізована сукупність дій, що закінчується проектним рішенням.

*Проектне рішення* — проміжне чи остаточні описування об'єкта проектування, необхідне і достатнє для визначення подальшого і прямування чи закінчення проектування.

*Проектна операція* — дія чи сукупність дій, що складають частину проектної процедури, алгоритм яких залишається незмінним для ряду проектних процедур.

*Етап проектування* — умовно виділена частина процесу проектування, яка складається з однієї чи кількох проектних процедур.



Описування складного технічного об'єкта має, як правило, декілька аспектів — функціональний, конструкторський, технологічний.

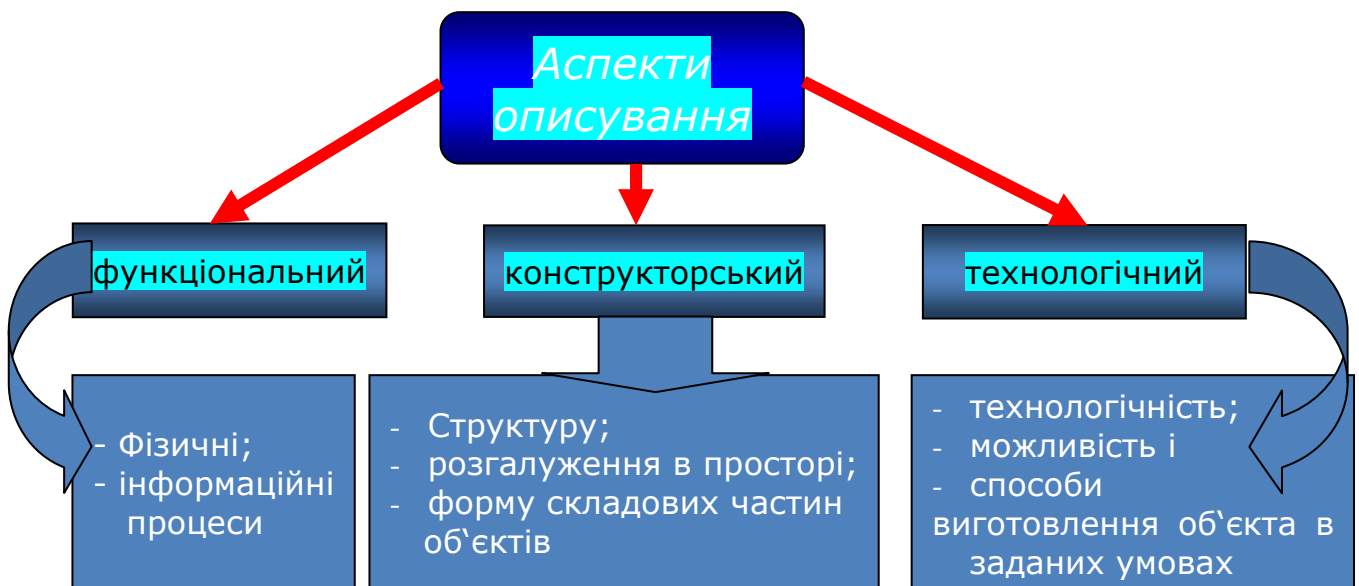
*Аспекти описування* — поділення уявлень про об'єкт за властивостями, що характеризують цей об'єкт.

*Функціональний аспект* характеризує фізичні та (або) інформаційні процеси, що відбуваються в об'єкті при його функціонуванні; *конструкторський аспект* — структуру, розташування в просторі та форму складових частин об'єкта; *технологічний* — технологічність, можливості та способи виготовлення об'єкта в заданих умовах.

У кожному аспекті виділяються свої рівні абстрагування. У функціональному аспекті — системний (структурний); функціонально-логічний; схемо технічний; компонентний.

На *системному рівні* як системи фігурують комплекси, наприклад ЕОМ,

радіолокаційна станція, системи автоматичного телефонного зв'язку, мережі передавання даних між обчислювальними центрами, а як елементи — блоки (пристрої) апаратури, наприклад процесор, модем, передавач. На *функціонально-логічному рівні* ці блоки розглядаються як системи, що містять елементи — функціональні вузли: підсилювачі, модулятори, лічильники, дешифратори тощо. На *схемотехнічному рівні* функціональні вузли описуються як системи з радіоелементів (компонентів схеми — транзисторів, резисторів, конденсаторів, трансформаторів тощо). На *компонентному рівні* розглядаються процеси, що відбуваються у схемних компонентах.



Конструкторський аспект має свою ієрархію конструктивів, яка містить рівні описування стояків, рам, панелей, дискретних компонентів, мікросхем тощо.

У технологічному аспекті розрізняються ієрархічні рівні описування технологічних процесів у вигляді принципових схем, маршрутів, сукупності операцій та переходів.

Кожному аспекту та рівню абстрагування властиве використання певного математичного апарату, характерних математичних моделей. Іноді застосовуються зображення різних рівнів абстрагування для різних елементів загальної моделі системи. Такі моделі систем називають *багаторівневими*. Використання їх дає змогу задовольнити суперечливі вимоги досягнення високої точності й економічності проєктованого об'єкта.

При проєктуванні задачі вищих ієрархічних рівнів розв'язують раніше, ніж задачі нижчих ієрархічних рівнів – це спадна послідовність. При висхідному проєктуванні послідовність протилежна. Функціональне проєктування складних систем частіше є спадним, конструкторське проєктування — висхідним. У процесі проєктування зверху вниз складна система поділяється (декомпозиується) на простіші пристрої (рис. 4.1). Далі процес декомпозиції та формування окремого технічного завдання (ОТЗ) повторюються для простіших пристроїв. Оскільки конкретно сформулювати окремі задачі за більш загальними легше, ніж загальні за окремими, то проєктуванню зверху вниз надається пере-

вага перед проектуванням знизу вверху.

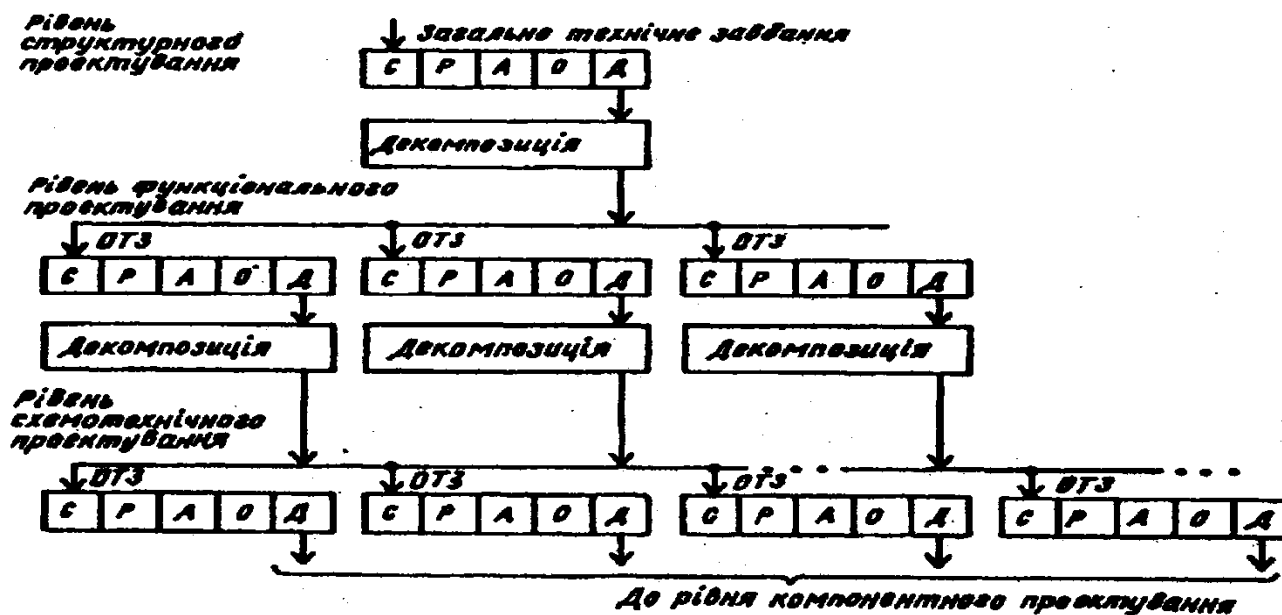


Рис. 4.1 Типова ієрархічна схема проектування складного об'єкта має вигляд:  
 Умовні позначення проектних процедур: С - синтез, Р - розрахунок А - аналіз,  
 О - оптимізація, Д - випуск документації. ОТЗ - окреме технічне завдання

На кожному рівні проектування розв'язуються основні задачі проектування - синтез та аналіз.

*Синтез* — це частина процесу проектування, коли створюється який-небудь варіант об'єкта, не обов'язково остаточний, тобто синтез у процесі проектування може виконуватись кілька разів. При синтезі створюються також варіанти структури об'єкта (*структурний синтез*) і значення внутрішніх параметрів (*параметричний синтез*).

*Оптимізація* — визначення найкращих у тому чи іншому розумінні значень вихідних параметрів і характеристик цілеспрямованою зміною внутрішніх параметрів об'єкта проектування чи його структури.

*Аналіз* - це визначення зміни вихідних параметрів і характеристик об'єкта проектування залежно від зміни його внутрішніх та вхідних параметрів.

Мета аналізу перевірка працездатності об'єкта.

Отже, *синтез* — це створення нових варіантів, а аналіз — оцінка цих варіантів. Тобто синтез та аналіз у процесі проектування знаходяться в діалектичній єдності.

Часто задача аналізу формулюється як задача встановлення відповідності двох різних описувань одного й того самого об'єкта. При цьому одне з описувань вважається первинним, і його коректність припускається установленною. Друге описування належить до більш докладного рівня ієрархії чи до іншого аспекту, і його правильність треба встановити зіставленням з первинним описуванням. Таке зіставлення називається *верифікацією*.

Розв'язання задач одноваріантного аналізу дає змогу дістати інформацію про параметри об'єкта в заданій точці (або в заданому стані). Звичайно, розв'язання зводиться до

одноразового дослідження макета (розв'язання системи рівнянь).

Типові задачі одноваріантного аналізу: аналіз статичного стану; аналіз перехідного процесу; аналіз частотних характеристик; аналіз стійкості; аналіз стаціонарного режиму коливань.

Аналіз

Синтез

Одноваріантний	Багатоваріантний	Параметричний	Структурний
- Статики - Динаміки - В частотній області Стійкості стаціонарних режимів коливань	- Чутливості  - Статистичний  - Розрахунок залежностей вихідних параметрів від внутрішніх і зовнішніх параметрів	- Розрахунок внутрішніх параметрів - Оптимізація параметрів - Оптимізація допусків *- Оптимізація технічних вимог	Оптимізація структури

Одноваріантний аналіз полягає у визначенні вектора вихідних параметрів  $Y$  при заданих структурі системи, значеннях векторів параметрів елементів  $X$  та зовнішніх параметрів  $Q$ . Структура системи задана, якщо задані перелік типів елементів та спосіб їх взаємозв'язку в складі системи. За відомою структурою і значеннями  $X$  та  $Q$  можуть бути утворені моделі - фізична (макет) або математична.

*Математичні моделі* застосовуються при автоматизованому проектуванні, *фізичні* — при експериментальній обробці, макетуванні.

Типовий процес проектування на черговому рівні ієрархії зображено на рис. 4.3.

Якщо підбір багатьох варіантів не дає позитивного результату, тобто кількість варіантів  $N$  перевищує гранично допустиме значення, то здійснюється перехід до попереднього рівня проектування.

Відповідно до просування спадною гілкою проектування, описування об'єкта все більш деталізується, що дає змогу уточнити проектні рішення, прийняті на попередніх рівнях. На кожному рівні блочно-ієрархічного проектування вихідними даними є дані ТЗ, а результатами — технічна документація на блоки даного рівня та ТЗ на блоки наступного рівня. Проектування зводиться до розв'язання групи задач, які належать до задач синтезу або аналізу.

Для дискретних об'єктів задача синтезу є задачею визначення структури. Для неперервних об'єктів розв'язання задачі синтезу приводить до визначення структури та числових значень внутрішніх параметрів розроблюваних пристроїв. Якщо серед варіантів структури знайдеться не будь-який прийнятний варіант, а найліпший у певному розумінні (відповідний заданому критерію), то таку задачу синтезу називають *структурною оптимізацією*.

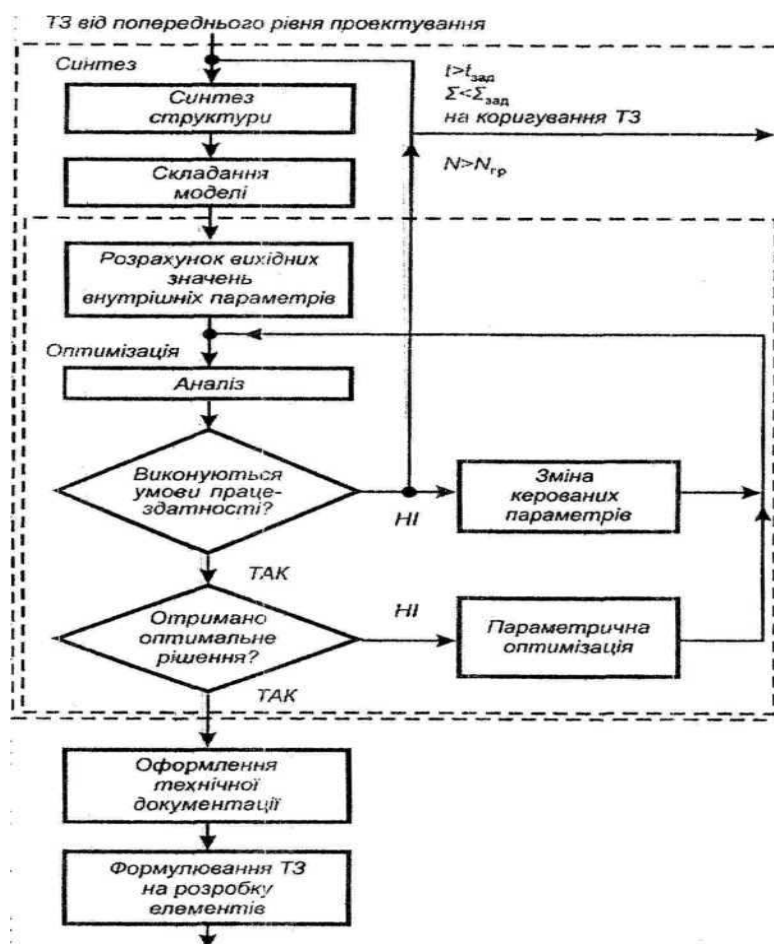


Рис. 4.3. Схема типового процесу проектування на черговому рівні ієрархії

Оскільки вибір методів проектування має провадитися за такими головними критеріями: якістю проектування; вартістю проектування; термінами розробки; кількістю зайнятих фахівців-розробників.

То кращі результати дає застосування методів, що мають велику економічність, точність, універсальність. Спираючись на досвід передових, з позицій застосування САПР, галузей промисловості та враховуючи сучасні тенденції науково-технічного прогресу, слід відзначити, що САПР займають надійне місце в проектних організаціях. При цьому найкращі результати досягаються при розумному виборі ступеня автоматизації проектування.

Реальний процес автоматизованого проектування радіоелектронної апаратури, як правило, складається з двох етапів: неавтоматизованого синтезу структури та ескізного, звичайно теж неавтоматизованого, за спрощеними формулами розрахунку її параметрів, з метою отримання працездатного варіанта, який є початковим наближенням. і доведення триманого варіанта у відповідність до ТЗ за допомогою програм автоматизованого проектування.

### 3. Основні етапи проектування

Проектування складних систем, об'єктів різноманітного призначення починається з формування ТЗ на проектування і містить етапи (стадії) науково-дослідних робіт (НДР),

ескізного проектування чи експериментально-конструкторських розробок (ЕКР), технічного проектування, робочого проекту, випробувань досліджуваного зразка.

**Етап НДР** пов'язаний з пошуком принципових можливостей побудови системи, дослідженням нових принципів, структур, технічних засобів, обґрунтуванням найбільш загальних рішень.

Його можна поділити на стадії перед проектних досліджень, технічного завдання, технічної пропозиції. На цих стадіях досліджуються фізичні, інформаційні, конструктивні та технологічні принципи побудови виробів і можливості реалізації цих принципів, прогноуються можливі значення характеристик і параметрів об'єктів. Результатом НДР є формулювання ТЗ на розробку нового об'єкта.

На **стадії ЕКР** перевіряються, конкретизуються та коригуються принципи та положення, встановлені на стадії НДР, виконується детальний аналіз можливості побудови системи; результатом є ескізний проект.

Звичайно перед початком проектування технічна (елементна) база системи відома. Необхідно з елементних баз вибрати одну, яка б задовольняла вимогам. До початку проектування відома і сукупність типових архітектонічних рішень, за якими вибирається або синтезується рішення, яке відповідає поставленій меті. Кількість факторів, що впливають на хід розробки в цілому на даному етапі, настільки велика, що обов'язково треба звертатися до ЕОМ (розрахунок елементів, наближена оцінка характеристик структур). Весь цей етап має характер дослідницької роботи.

На етапі ескізного проектування створюються схеми побудови проектованої системи, провадиться поступова деталізація проекту до рівня, коли можна приступити до технічного проектування. Основною задачею цього етапу проектування є синтез через аналіз різних варіантів проектів. Етап ескізного проектування є найзмістовнішим етапом. Орієнтовані варіанти загальної архітектоніки деталізують далі.

Внаслідок цього маємо конкретні числові характеристики функціонування моделі системи. На цьому етапі створюються функціональні схеми, будуються вузли і пристрої відповідно до прийнятих алгоритмів їх функціонування. Потім здійснюється повторне моделювання й уточнення характеристик моделі системи. Результатами даного етапу є одержання описування функцій, виконуваних окремими пристроями, створення функціональних і принципових схем пристроїв з урахуванням, наприклад, фронтів і затримок поширення сигналів, навантажувальної спроможності елементів, побудова уточнених часових діаграм роботи пристроїв для найбільш несприятливих ситуацій і системи в цілому, розробка тестів тощо.

На **стадії технічного проектування** виконується ретельний аналіз усіх схемних, конструкторських і технічних рішень; результатом є технічний проект.

На **стадії робочого проекту** утворюється повний комплект конструкторсько-технологічної документації, достатньої для виготовлення об'єкта.

На **стадії випробувань досліджуваного зразка** (чи пробної партії при багатосерійному виробництві) отримують результати, які дають змогу виявити можливі помилки та недоробки проекту, вживаються заходи щодо їх усунення, після чого документація передається на підприємства, що займаються серійним виробництвом.

Часто до проектування належать також виготовлення й експлуатація пробної серії, оскільки вона дає корисну інформацію для поліпшення проекту. Застосування САПР є



характерним для ескізного та технічного проектування.

### *Висновки*

Таким чином процес проектування є не тільки першим, важливим етапом функціонування систем та мереж, а і впливовим на усі наступні етапи їх життєвого циклу. Зменшення терміну цього етапу підвищує час інших, наприклад, етапу експлуатації, що є бажаним та економічно доцільним.

Необхідною умовою уніфікації при проектуванні є пошук спільних рис та положень в моделюванні, аналізі та синтезі різнорідних об'єктів. Помилка на етапі моделювання, чи ітерації стають найбільш проблемними або затриманими.

При виборі технічних засобів та математичного забезпечення системи необхідним є правильне урахування спроможності сучасної обчислювальної техніки, обчислювальної математики, можливостей проектних підприємств.

### *Виконати самостійне завдання № 4.*

1. Вивчити питання лекції.
2. Скласти технічне завдання на проект мережі доступу міста згідно завданню лабораторної роботи № 2.

### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001.- с. 168-176.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003. – с. 6-25.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 2изд.-СПб.-Питер, 2005.- с. 543-570.
4. Барабаш Т.Н. Проектирование телекоммуникационных сетей: учебное пособие. Часть 1. Т.Н. Барабаш, И.Н Соловская /: Одеса ОНАС: 2009 – 64с.

**Модуль 2 Моделювання ТІМ**  
**Тема 3. Основи моделювання ТІМ**

**Лекція 5. Тополого-функціональні моделі мереж**

ПЛАН

*Навчальні питання*

1. Необхідність моделювання та розробки модельних схем мереж.
2. Моделювання мереж великого масштабу.
3. Еталонні топології та технологічні схеми та сценарії.

*Виконати самостійне завдання № 5.*

1. Вивчити питання лекції.
2. Виконати моделювання мереж доступу згідно завданню лабораторного заняття № 1.

*Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001.- 526 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003. – 923 с.
3. Стеклов В.К., Костік Б.Я., Беркман Л.Н. Сучасні системи управління в телекомунікаціях/ За заг. ред.. В.К Стеклова.- К.: Техніка, 2005.-400с.
4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 2изд.-СПб.-Питер, 2005.- 864с.
5. Барабаш Т.Н. Проектирование телекоммуникационных сетей: учебное пособие. Часть 1. Т.Н. Барабаш, И.Н Соловская /: Одеса ОНАС: 2009 – 323с.

*Вступ*

На рівні самого загального уявлення інформаційна мережа складається з сукупності пунктів і з'єднують їх ліній. Взаємне розташування пунктів і ліній характеризує зв'язність мережі і здатність до забезпечення доставки інформації в різні пункти.

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

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

**1. Необхідність моделювання та розробки модельних схем мереж.**

Для дослідження топологічних особливостей мережі її зручно зобразити у вигляді точок і з'єднують їх дуг. Така геометрична фігура носить назву граф. Точки

в графі називаються вершинами, а дуги, якщо не враховується їх спрямованість, - ребрами. Граф є топологічною моделлю структури інформаційної мережі.

Вибір топології мережі є головною задачею, розв'язуваною при її побудові, і визначається такими вимогами, як економічність і надійність зв'язку.

Завдання вибору топології мережі вирішується порівняно нескладно, якщо відомий набір стандартних топологій, з яких вона може бути складена.

Розглянемо ряд базових топологій та їх особливості. Топологія «крапка-крапка» є найбільш простим прикладом базової топології і являє собою сегмент мережі, що зв'язує фізично і логічно два пункти (рис. 5.1).

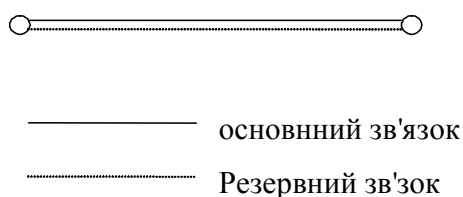


Рис. 5.1 – Топологія «крапка-крапка»

Надійність зв'язку в такому сегменті може бути підвищена за рахунок введення резервного зв'язку, що забезпечує стовідсоткове резервування, зване захистом типу 1 + 1. При виході з ладу основний

мережа зв'язку автоматично переводиться на резервну.

Незважаючи на всю простоту, саме ця базова топологія найбільш широко використовується при передачі великих потоків інформації по високошвидкісних магістральних каналів, наприклад, трансокеанськими підводних кабелів, обслуговуючим цифровий телефонний трафік. Вона ж використовується як складова частина радіально-кільцевої топології (як радіусів). Топологія «крапка-крапка» з резервуванням типу 1 + 1 може розглядатися як вироджений варіант топології «кільце».

**Деревовидна топологія** може мати різні варіанти (рис. 5.2).

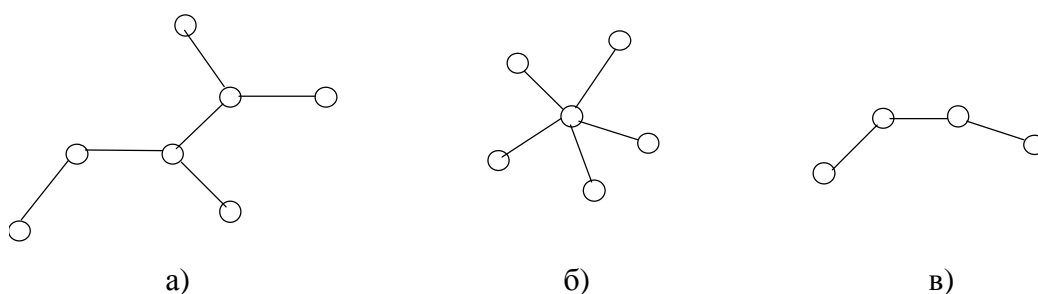


Рис.5.2 – Деревовидна топологія: а – дерево, б – зірка, в – лінія

Особливістю сегмента мережі, має деревоподібну топологію будь-якого з перерахованих варіантів, є те, що зв'язність  $n$  пунктів на рівні фізичної топології тут досягається числом ребер  $R = n - 1$ , що забезпечує високу економічність такої мережі. На логічному рівні, кількість з'єднувальних шляхів передачі інформації між кожною парою пунктів в такому сегменті завжди дорівнює  $n = 1$ . З точки зору надійності, це досить низький показник. Підвищення надійності в таких мережах досягається введенням резервних зв'язків (наприклад, захисту типу 1 + 1).

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

Топологія «кільце» (рис. 5.3) характеризує мережу, в якій до кожного пункту приєднані дві і тільки дві лінії. Кільцева топологія широко використовується в локальних мережах, в сегментах міжвузлових з'єднань територіальних мереж, а також у мережах абонентського доступу, організованих на базі оптичного кабелю.

Число ребер графа, що відображає фізичну топологію, дорівнює числу вершин:  $R = n$  і характеризує порівняно невисокі витрати на мережу.

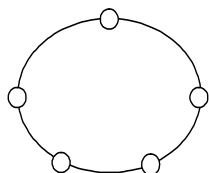


Рис. 5.3 – Топологія «кільце»

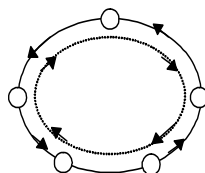


Рис. 5.4 – Топологія «подвійне кільце»

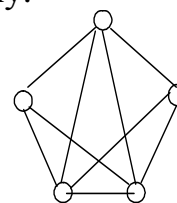


Рис. 5.5 – Повнозв'язна топологія

На логічному рівні між кожною парою пунктів можуть бути організовані  $h=2$  незалежних маршрутів шляху (прямий і альтернативний), що забезпечує підвищення надійності зв'язку в такому сегменті, особливо при використанні резервування типу  $1 + 1$ , так званого подвійного кільця (рис. 5.4).

Подвійне кільце утворюється фізичними з'єднаннями між парами пунктів, за яких інформаційний потік направляється в двох протилежних напрямках (східному і західному), причому один напрям використовується як основний, другий - як резервний.

Повнозв'язна топологія (рис. 5.5) забезпечує фізичне і логічне з'єднання пунктів за принципом «кожен з кожним».

Граф, що містить  $n$  вершин, містить  $R = n(n - 1)/2$  ребер, що визначає високу вартість мережі. Кількість незалежних шляхів зв'язують між кожною парою пунктів в такому сегменті мережі дорівнює  $h = n - 1$ . Повнозв'язна топологія на логічному рівні володіє максимальною надійністю зв'язку, завдяки можливості організації великої кількості обхідних шляхів. Така топологія характерна для територіальних мереж при формуванні сегментів базових і опорних (магістральних) мереж. Максимальна надійність зв'язку в сегменті досягається при використанні на обхідні напрямки альтернативних середовищ поширення сигналів (наприклад, волоконно-оптичний кабель та радіорелейна лінія).

Ячеїчна топологія (рис. 6.6). Кожен пункт сегмента має безпосередній зв'язок з невеликою кількістю пунктів, найближчих по відстані.

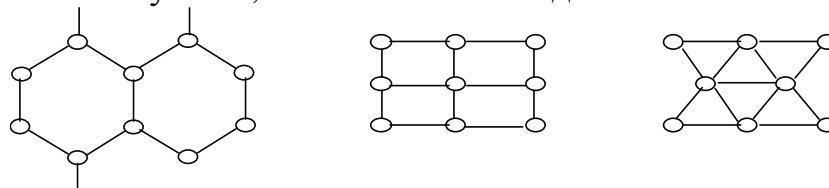


Рис. 5.6 – Ячеїчна топологія

При великій кількості вершин число ребер  $R \approx r \cdot n/2$ , де  $r$  - число ребер, інцидентних кожній вершині. Ячеїчні сегменти володіють високою надійністю зв'язку при меншому числі ребер порівняно з повнозв'язним сегментом.

Використання повнозв'язної і ячеїчної топологій доцільно лише в сегментах з високою концентрацією трафіку, так як їх реалізація пов'язана зі значними витратами.

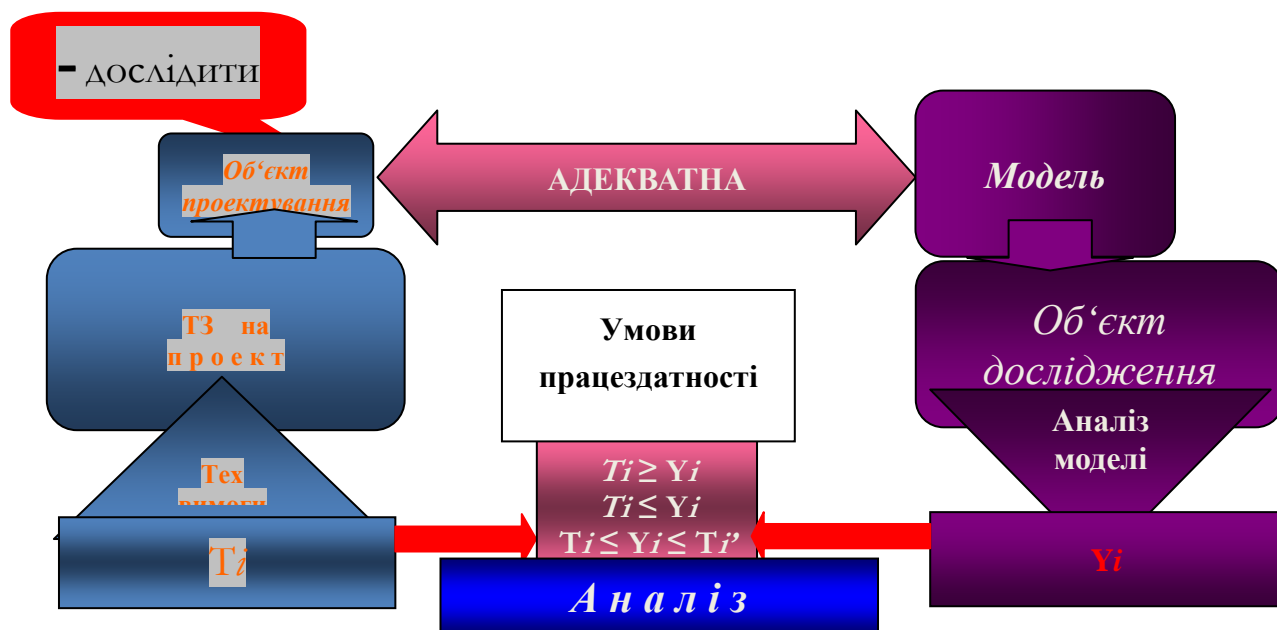
## 2. Моделювання мереж великого масштабу.

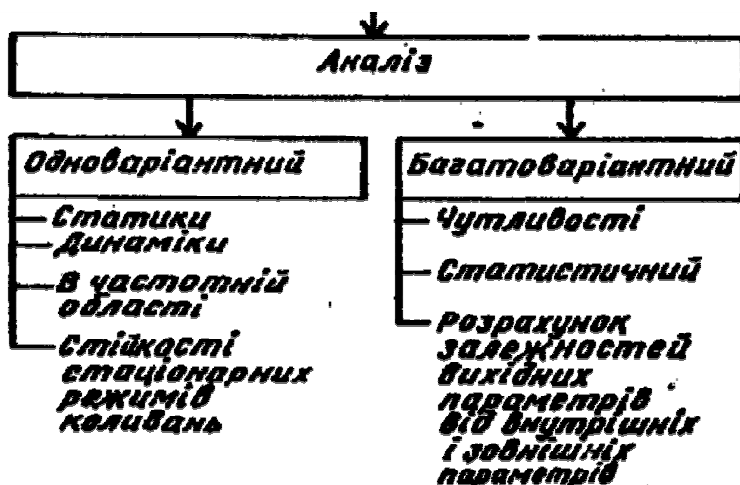
Проектування пов'язане з інженерною діяльністю, спрямованої на створення нових об'єктів, методів, теорій

- Проте це не тільки створення ідеї побудови об'єкта, але й обґрунтування способу його реалізації,
- розробка моделі об'єкта з урахуванням наслідків, до яких призведе його створення, використання або зняття з виробництва

Проектування як один із видів інженерної діяльності володіє рядом *специфічних особливостей* :

- *продуктом проектування* є модель об'єкта, реально ще не існуючого в період проектування;
- *процедури проектування* реального об'єкта представляються як процедури перетворення його вихідного опису в деякому кінцевому просторі;
- *проектований об'єкт* входить в упорядковану ієрархію об'єктів і виступає, з одного боку, як частина системи більш високого рівня, а з іншого боку як система для об'єктів більш низького рівня; у зв'язку з цим процес проектування складається з двох етапів: *зовнішнього проектування* (об'єкт - частина системи більш високого рангу) і *внутрішнього проектування* (об'єкт - сукупність компонентів);
- проектування, як правило, носить ітераційний багатоваріантний характер.





**Проектна процедура** — формалізована сукупність дій, що закінчується проектним рішенням.

**Проектне рішення** — проміжний чи остаточний опис об'єкта проектування, необхідний і достатній для визначення подальшого спрямування чи закінчення проектування.

**Проектна операція** — дія чи сукупність дій, що складають частину проектної процедури, алгоритм яких залишається незмінним для ряду проектних процедур.

### 3. Еталонні топології та технологічні схеми та сценарії.

Загальне поняття про задачі синтезу і аналізу мереж зв'язку.

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

«Синтез» в перекладі з грецького означає «з'єднання, складання».

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

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

До приватних задач синтезу можна віднести задачі вибору оптимальної топології мережі, вибір оптимальної кількості та місця розташування вузлів комутації і т. і.

Завдання аналізу актуальні для існуючої (синтезованої мережі).

До них відносяться задачі знаходження оптимальних шляхів передачі інформаційних повідомлень, визначення сукупності шляхів заданої транзитності, оцінки пропускної здатності мережі, ймовірності встановлення з'єднання між пунктами.

У класі задач аналізу розглядаються також питання розрахунку характеристик і параметрів мережі в цілому, так і окремих її елементів. До таких характеристик відносять якість обслуговування мережі, параметри надійності і живучості.

Для того щоб вирішити конкретну задачу синтезу або аналізу телекомунікаційної мережі, її необхідно формалізувати, тобто записати у вигляді схеми: що дано, що необхідно визначити і за яких обмежень.

Формалізацію можна виконати у словесній формі (така форма називається вербальною моделлю задачі) або у вигляді математичної моделі, що описує задачу в термінах тієї чи іншої теорії (наприклад, теорії графів, теорії оптимальних рішень тощо)

Здійснення формалізації вимагає не тільки розуміння посталої проблеми, але і вибору відповідної моделі самого об'єкту (мережі зв'язку). Модельне (спрошене) представлення об'єкта синтезу або аналізу дозволяє виявити і відобразити найбільш суттєві з точки зору посталої проблеми елементи об'єкта і зв'язки між ними, не відволікаючись на деталі.

Для модельного подання мереж зв'язку найбільш часто використовуються графові моделі. На основі моделі об'єкта і її параметрів (кількості пунктів і ліній мережі, відстаней між пунктами, пропускну здатності вузлів і ліній мережі, вартісних параметрів тощо) можна побудувати математичну модель, що відображає залежність між шуканими параметрами і незалежними змінними задачі у вигляді математичних функцій.

В задачах синтезу і аналізу мереж зв'язку найчастіше використовуються математичні моделі оптимізації, де мета рішення задачі записується у вигляді так званої цільової функції, для якої необхідно відшукати екстремум (мінімум або максимум). На вхідні в неї параметри можуть накладатися обмеження, які вказують, в яких межах можуть бути змінені значення шуканих параметрів.

**Завдання, в яких відшукується екстремум (мінімум або максимум) деякої цільової функції, що відбиває критерій оптимальності рішення задачі, називаються екстремальними.**

Характерною особливістю екстремальних задач синтезу й аналізу телекомунікаційних мереж є їх велика розмірність. Формулювання цих завдань в термінах графових і мережевих моделей дозволила отримати ряд ефективних, з точки зору подолання обчислювальної складності, методів і алгоритмів їх вирішення, орієнтованих на застосування ЕОМ.

Під алгоритмом розуміється процедура, що забезпечує отримання оптимального рішення задачі, виконання якої можна доручити ЕОМ. Розрізняють алгоритми точні і наближені, так звані евристичні.

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

Однак точні алгоритми, як правило, досить трудомісткі з обчислювальної точки зору. Тому на практиці часто використовують більш прості алгоритми, що забезпечують швидке отримання рішення з прийнятною для практики точністю. Такі алгоритми будуються з використанням раціональних, з точки зору логіки

людини, правил виконання обчислень. Ці правила називають евристичними і, як показує практика, дозволяють отримати рішення, близьке до оптимального. Наприклад, задача визначення замкнутого контуру найменшої довжини, що забезпечує обхід всіх пунктів мережі, може бути вирішена шляхом повного перебору всіх можливих контурів з вибором серед них контуру найменшої довжини, тобто точним алгоритмом. Відомо, що для мережі, що містить  $n$  пунктів, кількість можливих контурів становить порядку  $n!$ , отримання яких для мережі розміром  $n > 30$ , представляє значні труднощі. Однак використання евристики: "на кожному кроці рухаємося тільки до найближчого пункту" забезпечує отримання прийняттого рішення за час, необхідний для побудови всього лише одного контура.

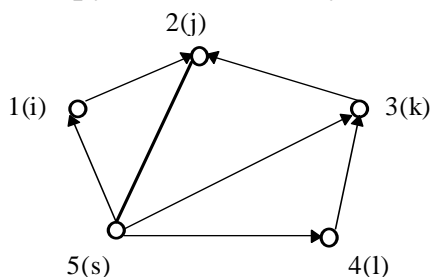
Евристичні алгоритми використовуються також у тих випадках, коли побудувати точний алгоритм не вдається через складність математичної моделі задачі (її нелінійності, дискретності тощо).

Мережа зв'язку (телекомунікаційна мережа) як об'єкт синтезу і аналізу являє собою сукупність пунктів мережі і з'єднують їх ліній. В якості математичної моделі такого об'єкта використовують граф.

*Визначення.* Графом називається деяка сукупність точок і зв'язують їх стрілок.

Точки називаються вершинами графа, 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 малими 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.



Граф, у якому задається напрямок дуг, називається орієнтованим, в іншому випадку - неорієнтованим. Неорієнтовані дуги називаються ребрами.

Між двома вершинами, сполученими дугою (ребром), існує відношення суміжності (для орієнтованого графа вершини  $i$  та  $j$  суміжні, лише якщо дуга починається в  $i$  і спрямована на  $j$ ).

Між вершиною  $i$  сполученими з нею дугами (ребрами) існує відношення інцидентності.

Граф, кожній дузі (ребром) якого поставлено у відповідність деякі числові характеристики, звані вагами, являє собою зважений граф. При необхідності ваги можуть бути приписані також вершин графа.

Зважений граф прийнято називати мережею (в даному випадку мається на увазі мережна модель, а не сама мережа як об'єкт). В якості вагових характеристик мережі можуть виступати відстані, пропускну здатність, вартість.



Крім геометричного зображення у вигляді точок і ліній, граф може бути представлений у дискретній формі. Саме ця форма використовується при введенні графової моделі в ЕОМ.

Одним з найбільш поширених дискретних представлень графа є матриця суміжностей. Це матриця  $A=[a_{ij}]$ , розміром  $(n*n)$  елементів, які можуть приймати значення:

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

$a_{ij} = 0$  - у протилежному випадку.

Матриця суміжностей графа, наведеного вище 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 щодо головної діагоналі, і, отже, в пам'яті ЕОМ може зберігатися лише один з її трикутників, що дозволить економити пам'ять, але ускладнює її обробку на ЕОМ.

Якщо пронумерувати в довільному порядку дуги (ребра) графа  $G$  і поставити ці номери у відповідність номерам рядків деякої матриці  $=[b_{ij}]$ , а номери стовпців залишити без змін відповідними номерами вершин графа, то в такій матриці можна відобразити відношення інцидентності елементів графа  $G$ . Елементи матриці  $B_{ij}$  можуть приймати значення  $\{0, 1\}$ .

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

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 в дискретному вигляді представлений матрицею ваг  $W=[w_{ij}]$ , де  $w_{ij}$  - вага дуги (ребра), якщо вона існує в графі  $G$ . Ваги неіснуючих дуг (ребер) вважають рівними \* або 0 в залежності від умов задачі, в якій вони розглядаються.

Якщо граф є розрідженим (має малу кількість дуг (ребер)), то можливо більш компактне представлення графа  $G$  - списком дуг (ребер). Цей список може бути реалізований двома одновимірними масивами розмірністю  $m$ , в першому з яких записані початкові вершини дуг (ребер), а в другому - кінцеві, або двовимірним масивом розмірністю  $(2, m)$ . Наприклад,

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

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

$$R = \begin{array}{|cccccc|} \hline 1 & 3 & 4 & 5 & 5 & 2 & 5 \\ \hline 2 & 2 & 3 & 4 & 1 & 5 & 3 \\ \hline \end{array}$$

При організації подання графа у вигляді дискретного масиву з плаваючими межами, тобто у випадку, коли необхідно передбачити можливість додавання або видалення вершин графа, доцільно використовувати структуру суміжностей. Остання являє собою список суміжних вершин для кожної вершини графа. Структура суміжностей для графа, зображеного раніш, має вигляд

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

### *Висновок*

Для визначення міст розташування об'єктів МД необхідно знати геометричну модель міст уміти розраховувати її показники з метою оптимізації як самої моделі так і її складових.

Важливим кроком є прив'язка елементів МД до існуючих об'єктів міста, що зменшує вартість МД завдяки ефективному використанню споруд та устаткування, що ще не відпрацювало свій термін.

Одним з головних та складних етапів проектування є розробка структурної схеми МД міста, що виконується за ієрархією від простого до складного та взаємними зв'язками.

Все це потребує використання сучасних математичних методів моделювання на основі теорії графів і дозволяє за синтезом і аналізом виконувати оптимізацію.

### *Завдання на самостійну роботу*

1. Вивчити питання лекції.
2. Виконати моделювання мереж доступу згідно завданню лабораторного заняття № 1.

### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, "Техніка", 2001-с.16-21.
2. Оліфер В.Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи. Посібник для Вузів. 2-е вид. –СПБ. Пітер. 2005. -с.112-174.
3. Щекотихин В.М. Основы построения систем и сетей передачи информации. М.: Горячая линия-Телеком. 2005.- 58-77с.
4. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, "Техніка", 2003. – с. 96-133.
5. Барабаш Т.Н. Проектирование телекоммуникационных сетей: учебное пособие. Часть 1. Т.Н. Барабаш, И.Н Соловская /: 2009 – 323с.

## Модуль 2 Моделювання ТІМ

### Тема 3. Основи моделювання ТІМ

#### Лекція 6. Ефективність функціонування мереж зв'язку. Інформаційні потоки в мережах

##### ПЛАН

##### *Навчальні питання*

1. Ефективність функціонування систем и мереж зв'язку.
2. Показники якості і критерії оцінювання.

*Виконати самостійне завдання № 6.*

1. Вивчити питання лекції.
2. Виконати порівняльну оцінку методик визначення ефективності мереж доступу за завданням лабораторного заняття № 2.

##### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001.- 526 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003. – 923 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 2изд.-СПб.-Питер, 2005.- 864с.
4. Барабаш Т.Н. Проектирование телекоммуникационных сетей: учебное пособие. Часть 1. Т.Н. Барабаш, И.Н Соловская /: Одеса ОНАС: 2009 – 323с.

##### *Вступ*

Життя сучасного суспільства немислима без широкого використання різноманітних систем передачі інформації. Ці засоби постійно удосконалюються і розвиваються. Обсяги інформації з кожним роком зростають, збільшується дальність зв'язку, підвищуються вимоги до якості передачі. У зв'язку з цим на передній план висувається завдання управління складними системами (СС).

Під управлінням розуміється процес формування раціональної поведінки складної системи на різних етапах її функціонування. Сутність управління складають процеси підготовки та прийняття рішень відповідними посадовими особами, його деталізація в ході планування зв'язку, розгортання і застосування сил і засобів, організація взаємодії та всебічного забезпечення, а також контроль їх виконання.

Мета управління полягає в забезпеченні максимальної ефективності використання наявних сил і засобів при вирішенні поставлених завдань. У зв'язку з цим важливе значення набуває завдання вдосконалення принципів і критеріїв прийняття рішень, складовим елементом якої є оцінка ефективності цілеспрямованих процесів функціонування систем (ЦПФС).

В основі вирішення завдань повинен лежати системний підхід, який означає, що цікавий для нас об'єкт треба розглядати не тільки у взаємозв'язку з іншими об'єктами, але і як систему. Метою вивчення ефективності функціонування системи (мережі) зв'язку є придбання дані для вироблення рекомендацій особі, що приймає рішення, для раціонального вибору стратегій, що забезпечують успішне виконання системою (мережею) зв'язку завдань, що стоять перед нею.

## 1. Ефективність функціонування систем и мереж зв'язку.

Теорія ефективності цілеспрямованих процесів, до яких відноситься і функціонування систем і мереж зв'язку, становить методологічну і математичну основи модельного експериментування зі складними об'єктами (системами і процесами) на основі виявлення показника ефективності і визначення критеріїв їх оцінювання.

Основними поняттями теорії ефективності є система, завдання системи, операція, мета операції, стратегія, операційна система, операційний комплекс.

Система - це безліч (сукупність) взаємопов'язаних об'єктів (елементів системи).

Підсистема - це складна система меншого масштабу, ніж вихідна, організаційно входить в останню, і реалізує самостійну операцію, мета якої підпорядкована меті операції, проведеної вихідною системою, яка є по відношенню до підсистеми головною системою.

Елемент системи - це об'єкт, що входить до складу системи, але не має в рамках конкретної операції самостійної мети і не підлягає розчленуванню на частини.

Поняття підсистеми і елементи суто модельні і в цьому сенсі умовні. Одна і та ж сукупність об'єктів може в рамках однієї операції бути елементом, у рамках іншої - підсистемою, в рамках третьої - системою або навіть головною системою.

Елементи складної системи функціонують у взаємодії, в результаті чого властивості складної системи визначаються не тільки (і не стільки) властивостями її елементів і підсистем, але і характером взаємодії між ними, тобто так званими новими системними властивостями.

Комплекс - це сукупність об'єктів (підсистем, елементів) різної фізичної природи, об'єднаних загальною метою, але з менш жорсткими, ніж у системі, організаційними зв'язками.

Завдання системи - це необхідний результат операції, який повинен бути досягнутий в результаті функціонування системи при заданій витраті ресурсів в одиницю часу. Іншими словами, задача являє собою конкретизовану мета. По суті мета операції стає завданням системи, якщо конкретизовані кількісні характеристики необхідного результату і відпускаються на його отримання ресурсів і часу. Практично мета операції досягається шляхом виконання системою послідовності завдань. Якщо мета операції сформульована завдання системи поставлена), то може бути розпочата розробка альтернативних способів (планів, програм) досягнення мети (виконання завдання). З набору альтернативних планів

найкращий вибирається на основі тих чи інших концепцій і впливають з них принципів, які формально виражаються у формі критеріїв (правил судження).

Складна система - система, що характеризується безліччю можливих станів, кожне з яких описується набором значень її конкретних параметрів. Ця система відрізняється складною будовою і складною поведінкою. Всі розглянуті теорії ефективності системи - складні.

Під операцією розуміють впорядковану сукупність (систему) взаємопов'язаних дій, спрямованих на досягнення певної мети (рис. 1.42).

Стосовно системи зв'язку операція - це цілеспрямований процес її функціонування. Саме наявність спільної мети об'єднує безліч об'єктів в систему. Атрибутом операції є кінцева її тривалість, називається операційним часом. Розрізняють операції позитивні і негативні, прямі і непрямі (побічні). Крім того, результати можуть бути однорідними і неоднорідними.

Мета - це необхідний (бажаний) результат операції. Поки немає мети, немає і операції. В рамках теорії ефективності передбачається, що мета операції - єдина. Операцію, яка переслідує кілька цілей, розглядають як сукупність одноцільових операцій. При цьому ефективність окремих таких операцій може бути різною. Якщо цілі цих операцій взаємопов'язані, то іноді їх сукупність може розглядатися як одна узагальнена мета. Мета вважається досягнутою, якщо шляхом перетворення функціонуючою системою деяких ресурсів отриманий бажаний результат (результат операції).

Цільовий ефект операції - це результат, заради якого проводиться операція. Результатом операції є сукупність усіх її ефектів (наслідків).

Стратегія - це певна організація і спосіб проведення операції (застосування системи зв'язку).

Ресурси - це запаси сировини, енергії, інформації, часу, а також технічні та людські ресурси, необхідні для проведення операції і отримання необхідного цільового ефекту. Ресурси можуть бути класифіковані по структурі і динаміці перетворення в цільовий ефект. За структурою ресурси поділяються на однорідні і неоднорідні. Однорідність ресурсів істотно спрощує дослідження операції та її ефективності, проте подібні операції вкрай рідкісні (якщо взагалі існують).

Розрізняють ресурси активні і пасивні, динамічні та статичні.

Активними (А) називаються ресурси, які безпосередньо забезпечують цільовий ефект. Пасивними (П) називаються ресурси, що беруть участь в отриманні цільового ефекту, але безпосередньо його не забезпечують. Динамічними (Д) називаються ресурси, що витрачаються на отримання цільового ефекту в ході операції. Статичними (С) називаються ресурси, що витрачаються при створенні системи та організації цілеспрямованого процесу її функціонування. Для типових операцій характерне використання таких ресурсів:

- сировинних (А, Д),
- енергетичних (А, Д),
- структурних ВТС (П, Д),
- технічних (П, С),
- технологічних (П, С),

- інформаційних (П, Д),
- часових (П,Д),
- трудових,- людських (П, Д) і т. і.

Властивість - це об'єктивна особливість об'єкта, що залежить від його будови і характеризує окрему його сторону (аспект). Розрізняють внутрішні (структурні) і зовнішні (функціональні) властивості. Внутрішні властивості притаманні самій системі (наприклад, пропускна здатність, мобільність та ін.), а зовнішні впливають на суперсистему (наприклад, своєчасність, достовірність і ін.). Ці властивості діалектично взаємопов'язані і визначені ДСТУ. Основні властивості елементів операційного комплексу представлені в табл. 6.1.

Операційна система - це сукупність об'єктів (як матеріальних, так і нематеріальних: інформація, час тощо), в результаті взаємодії яких реалізується операція.

Операційний комплекс являє собою сукупність об'єктів, що містить в якості елементів операційну систему, суперсистему і навколишнє середовище.

Під навколишнім середовищем розуміють сукупність об'єктів, що не входять в операційну систему, безпосередньої участі в операції не беруть, але обумовлюють операційну ситуацію та справляють вплив на ЦПФС і його результат.

Кожен досліджуваний об'єкт володіє певними властивостями, які зумовлюють його якість.

Кваліметрія - це наукова область, в якій розробляються методологічні основи, методи і методики кількісного оцінювання та аналізу якості об'єктів.

Якість - це властивість або сукупність властивостей об'єкта, що обумовлюють його придатність для використання за призначенням.

Таблиця 6.1. Основні властивості елементів операційного комплексу

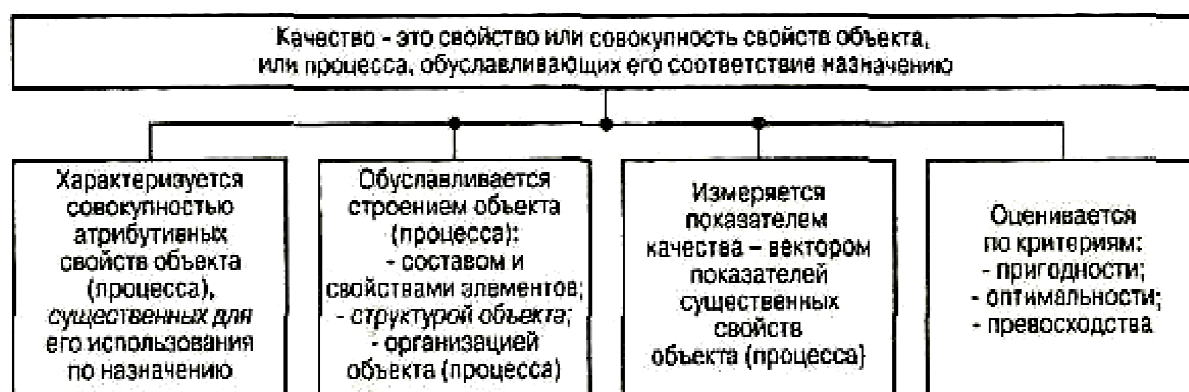
Елементи операційного комплексу	Основні властивості
Технічні системи	<i>Характеристики побудови</i> Склад, структура, масштаби (складність), надійність. <i>Характеристики поведінки</i> Мобільність, потужність, результативність, швидкодія, готовність, точність, живучість, довговічність, економічність
Цілеспрямовані процеси функціонування системи (ЦПФС)	<i>Загальні</i> Масштабність, тривалість, стійкість (завадостійкість) <i>Операційні</i> Результативність, ресурс ємність, оперативність, ефективність
Результати ЦПФС	Прямі - цільові - обсяг (величина) цільового ефекту; - якість цільового ефекту: точність, достовірність, інформативність, змістовність, повнота, своєчасність Непрямі - побічні - витрата операційних ресурсів; - витрата операційного часу
Ресурси	обсяг (кількість); - склад (структура); - якість; - динамічність; - активність та ін.

В залежності від призначення об'єкта (системи) сукупність його властивостей, що враховуються при дослідженні якості, може бути різна.

Кожна з властивостей об'єкта може бути описано за допомогою деякої змінної, значення якої характеризує міру (інтенсивність) його якості щодо цього властивості. Цю міру (що представляє собою числову характеристику або функцію) називають показником властивості або одиничним приватним показником якості (ЧПК) об'єкта (системи, мережі зв'язку). Рівень якості об'єкта характеризується значеннями сукупності показників його істотних атрибутивних властивостей, тобто властивостей, необхідних для відповідності об'єкта його призначенню. Ця сукупність називається показником якості.

## 2. Показники якості і критерії оцінювання.

Показник якості об'єкта являє собою вектор, компоненти якого - показники його окремих властивостей, що представляють собою приватні, одиничні показники якості об'єкта.



З огляду на це, стан системи в будь-який момент часу можна описати з допомогою вектора приватних показників якості:

$$Y(t) = [Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_n(t)],$$

де  $y_1(t), \dots, y_n(t)$  - компоненти вектора показника якості, що характеризують найбільш суттєві властивості елементів системи зв'язку (власне системи зв'язку або системи інформаційного обміну та системи управління) і процесу їх функціонування.

Вивчення будь-якого об'єкта (системи, мережі зв'язку) ведеться або з урахуванням взаємозв'язку з іншими об'єктами (наприклад, система зв'язку, будучи складовою частиною системи управління, повинна враховувати її інтереси), або без обліку.

Показники якості, як і властивості, поділяються на власні і невласні.

Власні (або внутрішні) показники якості призначені для вивчення системи за розімкнутою схемою, коли система розглядається як самостійна, не пов'язана зі старшою системою.

Невласні (або зовнішні) показники призначені для дослідження впливу якості функціонування досліджуваної системи на характеристики старшої системи на основі вибраних критеріїв.

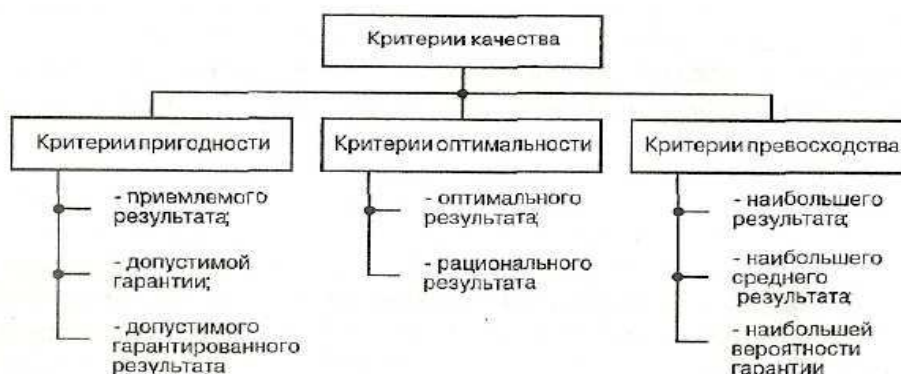
Критерій оцінювання якості - це керівне правило (умова або сукупність умов), що впливає з прийнятих (покладених в основу дослідження) концепцій і принципів



оцінювання і реалізоване при прийнятті того чи іншого рішення (проектного, організаційного, управлінського і т. д.) про якість досліджуваного об'єкта. Іншими словами, під критерієм будемо розуміти правило, на підставі якого проводиться оцінка, визначення або класифікація.

При оцінюванні якості будь-якого об'єкта, що описується  $n$ -мірним векторним показником, розглядається сукупність критеріїв, кожен з яких в загальному випадку може належати одному з класів:

- 1) класу  $G$  критеріїв придатності,
- 2) класу  $O$  критеріїв оптимальності,
- 3) класу  $S$  критеріїв переваги.



$Y=[y_1, y_2, \dots, y_n]$  - вектор приватних показників якості. Наприклад, для системи контролю і діагностики технічного стану радіорелейної лінії передачі такими показниками можуть бути точність оцінки контрольованих параметрів, достовірність діагностичних рішень, оперативність вироблення діагностичних рішень, достовірність прогнозу стану і т. і.

У реальних ситуаціях доступним для оцінки таких показників є вектор випадкових величин з спільним розподілом:

$$F(Y)=[y_1, y_2, \dots, y_n]. \quad (6.1)$$

Як правило, вимоги до системи задаються у вигляді області допустимих значень  $\{U_{доп}\}$ . Тоді критерій придатності системи приймає вигляд:

$$Y \in \{U_{доп}\}. \quad (6.2)$$

Критерій переваги дозволяє оцінити систему на основі зіставлення її параметрів з параметрами прототипу  $Y'$ :

$$Y > Y' \text{ чи } Y < Y'. \quad (6.3)$$

Очевидно, що критерії придатності та переваги не гарантують, що досліджувана система володіє найкращою якістю. Тому найбільш суворе рішення спостерігається при виконанні критерію оптимальності:

$$Y \rightarrow \text{extr}. \quad (6.4)$$

У загальному випадку критерії переваги і оптимальності повинні виконуватися за умови виконання критерію придатності.

Оцінка якості - числова характеристика показника якості, що отримується дослідним шляхом або за допомогою розрахунків (при непрямих вимірах) з використанням моделі показника якості.

За визначенням, якість - це властивість або сукупність істотних властивостей об'єкта, що обумовлюють його придатність для використання за призначенням. Стосовно до цілеспрямованого процесу такі його властивості (атрибути) називаються операційними. До них відносяться результативність, ресурсоемність та оперативність.

Результативність ЦПФС характеризується отриманим в результаті цільовим ефектом. Вона обумовлюється здатністю операції давати цільовий ефект (тобто результат, заради якого проводиться операція). Стосовно зв'язку це властивість операції (процесу обміну інформацією) називається достовірністю.

Ресурсоемність ЦПФС характеризується витратою операційних ресурсів усіх видів (матеріально-технічних, енергетичних, інформаційних, часових, фінансових, людських тощо), необхідних для проведення операції і отримання цільового ефекту.

Оперативність ЦПФС характеризується витратою операційного часу, тобто часу, необхідного для досягнення мети операції. Стосовно зв'язку це властивість називається своєчасністю.

Ефективність - це комплексна операційна властивість цілеспрямованого процесу функціонування системи, що характеризує його пристосованість до досягнення мети реалізується ТЗ операції (до виконання стоїть перед ТЗ завдання).

Таким чином, з цього визначення випливає, що ефективність є властивістю не системи, а процесу її функціонування, причому не будь-якого, а лише цілеспрямованого, тобто операції, що виконується системою.

Показник ефективності операції повинен відповідати сукупності загальних вимог:

- наочність (адекватність);
- критичність (чутливість);
- комплексність (повнота);
- стохастичність;
- простота.

Показник презентабельності дозволяє оцінювати ефективність операції по досягненні її основною (а не другорядною) цілі. Мета операції повинна знаходити своє пряме відображення в показнику її ефективності. Показник критичності чутливий до змін досліджуваних характеристик. Показник комплексності дозволяє вирішувати задачу дослідження ефективності операції без залучення інших її характеристик. Показник стохастичності дозволяє враховувати невизначеність умов проведення операції, обумовлену впливом випадкових факторів і завжди супутню дослідженню операції (її ефективність).

Показник ефективності повинен бути достатньо простим (при необхідній комплексності), щоб його обчислення і подальший аналіз ефективності операції могли бути реалізовані в прийнятні терміни і наочно інтерпретовані. Всім перерахованим вимогам задовольняє показник ефективності, який представляє собою ймовірність досягнення мети операції Р<sub>дц</sub>, або ймовірність відповідності системи зв'язку своєму функціональному призначенню.

$$R_{дц} = P(Y_i \in \{U_{доп}\}), \quad (6.5)$$

де {U<sub>доп</sub>} – багата кількість допустимих значень показників ефективності.

Критерій оцінювання ефективності - сукупність умов, що визначають мети операції і відповідно з ними придатність, оптимальність або перевагу досліджуваної операції. Критерієм може бути досягнення показником ефективності максимального значення у вибраному класі вихідних даних

$$P(Y_i \in \{U_{\text{доп}}\}) \rightarrow \text{extr}, \quad (6.6)$$

або при заданих обмеженнях перевищення показником ефективності деякого апріорі заданого вимоги

$$P(Y_i \in \{U_{\text{доп}}\}) \geq P_{\text{дцтр}}, \quad (6.7)$$

або відповідного показника системи-прототипу

$$P(Y_i \in \{'\}) \geq P_{\text{дцтр}}. \quad (6.8)$$

Слід зазначити, що критерії (6.6) - (6.8) дозволяють найбільш повно і об'єктивно оцінити ефективність функціонування системи та мережі зв'язку.

### *Висновок*

На практиці реалізація за розглянутими критеріями пов'язана зі значними труднощами, обумовленими відсутністю достатньої інформації про закон розподілу параметрів систем та мереж. В даний час існують різні підходи до вибору показників і критеріїв оцінки ефективності функціонування систем, мереж зв'язку. У кожному конкретному випадку від фахівця в галузі зв'язку потрібне вміння вибрати з усього різноманіття методів найбільш оптимальний.

### *Виконати самостійне завдання № 6.*

1. Вивчити питання лекції.
2. Виконати порівняльну оцінку методик визначення ефективності мереж доступу за завданням лабораторного заняття № 2.

### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, "Техніка", 2001.- с.168-176.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, "Техніка", 2003. – с.134-143.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 2изд.-СПб.-Питер, 2005.- с.138-160.
4. Барабаш Т.Н. Проектирование телекоммуникационных сетей: учебное пособие. Часть 1. Т.Н. Барабаш, И.Н Соловская /: Одеса ОНАС: 2009 – 323с.

## Модуль 2 Моделювання ТІМ

### Тема 3. Основи моделювання ТІМ

#### Лекція . 7 Принципи взаємодії відкритих систем

##### ПЛАН

##### *Навчальні питання*

1. Поняття та обґрунтування ВВС.
2. Семирівнева модель (СМ).
3. Класифікація систем на основі СМ.

##### *Виконати самостійне завдання № 7.*

1. Вивчити питання лекції.
2. Виконати порівняльну оцінку методик визначення ефективності мереж доступу за завданням лабораторного заняття № 2.

##### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001.- 526 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003. – 923 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 2изд.-СПб.-Питер, 2005.- 864с.
4. Сосновский О.А Телекоммуникационные системы и компьютерные сети. – Минск: БГЭУ, 2007.-176с.

##### *Вступ*

Розгляд моделі взаємодії відкритих систем необхідно розглядати як продовження ряду моделювання, але на іншому рівні – рівні створення моделі саме взаємодії різноманітного обладнання в мережі. Коли користувачі (люди) не можуть розмовляти один з одним безпосередньо, застосовуються допоміжні засоби для передачі повідомлень. Одним з таких засобів є система поштового зв'язку. У її складі можна виділити певні функціональні рівні, наприклад рівень збору і доставки листів з поштових скриньок на найближчі поштові вузли зв'язку і у зворотному напрямі, рівень сортування листів на транзитних вузлах і так далі. Прийняті в поштовому зв'язку все які стандарти на розміри конвертів, лад оформлення адрес і тому подібне дозволяють відправляти і отримувати кореспонденцію практично з будь-якого місця Земної кулі.

Схожа картина спостерігається і в області телекомунікацій, де ринок засобів зв'язку, комп'ютерів, комутаційного устаткування інформаційних систем і мереж незвичайно широкий і різноманітний. З цієї причини створення сучасних інформаційних систем і мереж зв'язку стало неможливим без використання спільних підходів при їх розробці, уніфікації характеристик і параметрів їх компонентів.

Теоретичну основу сучасних мереж зв'язку визначає багаторівнева архітектура зв'язку.

Під архітектурою розуміється концепція, що визначає модель, структуру, виконувані функції і взаємозв'язок компонентів складного об'єкту [1]. Об'єктом може бути система або мережа, база даних, прикладний процесор або багатокомпонентна освіта [2]. Архітектура охоплює логічну, фізичну і програмну структури, а також принципи функціонування об'єкту.

існує різна архітектура, що стала міжнародними стандартами:

- семирівнева архітектура базової еталонної моделі взаємозв'язку відкритих систем - Міжнародний стандарт на єдину архітектуру побудови телекомунікаційної мережі;
- архітектура мереж *Arpa* і *Internet*;
- системна мережева архітектура (*SMA*) і системна прикладна архітектура (*SAA*), які були розроблені корпорацією *IBM*;
- архітектура широкосмугової мережі (*BNA*) і ін.

Еталонна модель взаємодії відкритих систем за своєю суттю узагальнює всі існуючі мережеві моделі.

## 1. Поняття та обґрунтування ВВС.

Відповідно до концепції багаторівневої архітектури зв'язку в 1984 р. Міжнародна організація по стандартизації (*International Standards Organization - ISO*) розробила еталонну модель взаємозв'язку відкритих систем (EMBOC) (OSI), який прийнятий як Міжнародний стандарт ISO 7498 [3].

Еталонна модель взаємозв'язку відкритих систем - модель, що описує принципи взаємозв'язку відкритих систем і використовується як основа для розробки стандартів Міжнародної організації по стандартизації.

Цілями моделі є стандартизація обміну повідомленнями між системами і мережами, усунення будь-яких технічних перешкод для зв'язку систем, усунення труднощів «внутрішнього» опису функціонування окремої системи, забезпечення розумного відходу від стандартів у випадку, якщо вони не задовольняють всім вимогам.

Основним об'єктом дослідження в цій моделі є - система, під якою розуміють ієрархічну сукупність функцій, що реалізуються одним або декількома засобами зв'язку (автоматизації) і призначених для виконання наказаних ним завдань. Кожна з систем моделі є відкритою.

Відкритими називаються системи, які незалежно від особливостей апаратної і програмної реалізації можуть взаємодіяти між собою.

Еталонна модель взаємозв'язку відкритих систем має сім рівнів (рис. 7.1): перший - фізичний, другий - каналний (ланки даних), третій - мережевий, четвертий - транспортний, п'ятий - сеансовий, шостий - представницький (представлення даних), сьомий - прикладний.

Під рівнем розумітимемо компонент, шар або кордон ієрархічної структури [1].

При визначенні оптимальної кількості рівнів МСЕ-Т керувався наступними принципами:

- кількість рівнів має бути таке, щоб було чітко і детальне розділення завдань і процесів, що протікають на кожному рівні, та спрощувалися правила взаємодії між

рівнями одного ступеня ЕМВОС різних систем;

- проводити кордон між рівнями в тому місці, де опис послуг є найменшим, а число операцій через кордон зведене до мінімуму;

- не створювати багато рівні, це ускладнить системотехнічну їх опису;
- (аналогічні) функції повинні зосереджуватись на одному рівні.

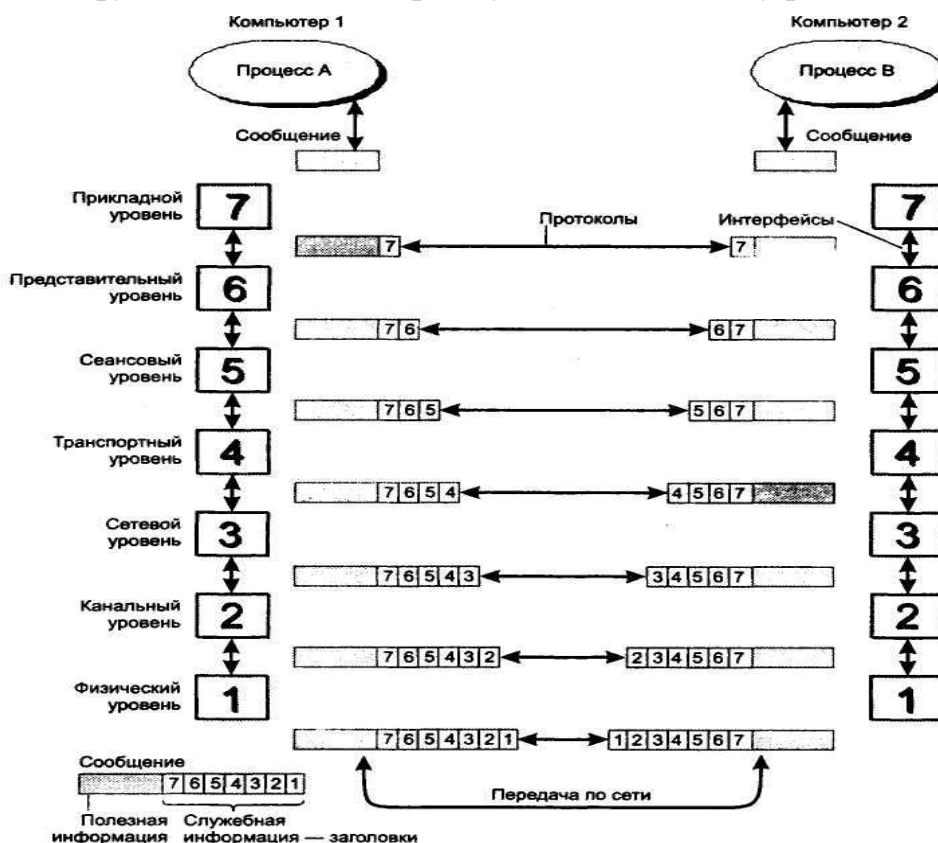


Рис. 7.1 Модель OSI/ISO

Під (N + 1) - вищестоящим рівнем розуміється вищий рівень по відношенню до рівня N-го. Під (N-1) - нижчестоящим рівнем розуміється нижчий рівень, що розглядається.

На кожному з рівнів певне завдання, що забезпечує функціонування вищестоящого рівня. Породжувані цими завданнями процеси, а також засоби їх об'єднують поняттям «Логічні об'єкти». Всі логічні об'єкти (надалі просто об'єкти) приписані відповідним рівням. У випадку на одному рівні може бути декілька об'єктів.

N-й рівень однієї відкритої системи може вести обмін повідомленнями (даними) з N-м рівнем іншої відкритої системи. *Набір формалізованих правил, що визначають взаємодію об'єктів різних відкритих систем, розташованих на одному рівні, називається протоколом.* Залежно від рівня ЕМВОС розрізняють фізичний, канальний, мережевий, транспортний, сеансовий, представницький і прикладний протоколи. Всі вони стандартизовані МСЕ-Т, що дозволяє здійснювати обмін повідомленнями (даними) і інформацією, що управляє, між взаємодіючими логічними об'єктами одного рівня.

Необхідність наявності таких протоколів (правил взаємодії) для забезпечення інформаційного обміну і їх багаторівневий характер легко пояснити на прикладі

письмового або усного спілкування між людьми. Для такого прикладу можна виділити наступні чотири рівні взаємодії:

1. Прагматичний, або пізнавальний, визначуваний знаннями в певній області і взаєморозумінням.

2. Лінгвістичний, визначається словарним запасом розмови, граматичною структурою (синтаксисом) і смисловим значенням фраз і (семантикою).

3. Сигнальний, визначається механізмом обміну інформацією: письмове повідомлення або усна мова.

4. Фізичний, включаючий засоби передачі зорових та слухових образів (наприклад, цифр на папері або звуків певної мови).

Вказані рівні слабо залежать один від одного, але при спілкуванні необхідна участь кожного з них. Звичайно, інформаційний обмін між людьми не носить формальний характер і можливі відступи від вказаних правил.

обміну за допомогою засобів телекомунікації правила взаємодії (протоколи) мають бути строго визначені і чітко регламентовані, тобто мають бути формалізовані.

Визначений стандартами кордон між взаємодіючими об'єктами називається стиком, або інтерфейсом. *Інтерфейс - сукупність уніфікованих зв'язків і сигналів, за допомогою яких елементи системи (мережі) зв'язку з'єднуються один з одним [3].*

Розрізняють міжрівневі інтерфейси і інтерфейси усередині рівнів (наприклад, для фізичного рівня характерна наявність двох стиків: С1 - стик, що враховує середу розповсюдження, С2 - стик без врахування середу розповсюдження).

Необхідно відзначити, що правила взаємодії об'єктів різних відкритих систем допускають обмін повідомленнями між об'єктами одного рівня через об'єкти нижчого рівня.

При послідовному застосуванні цього обмеження до кожного з рівнів слідує, що маршрут обміну повідомленнями проходить через самий нижній рівень (рис. 7.1). Отже, процедури обміну повідомленнями між різними відкритими системами включають протокольні процедури відповідних рівнів і інтерфейсних міжрівневих процедур.

Кожен N-й рівень опису OSI представляється у вигляді сукупності функціональних можливостей, які є необхідними для елементів системи при обробці, передачі повідомлень, виявленню і виправленню помилок і так далі. Ці елементи відносяться до (N+1)-го рівня опису в ієрархічній моделі. *Сукупність функціональних можливостей N-го рівня і всіх нижніх рівнів, яка може бути надана об'єктом на кордоні між N-им і (N+1) -им рівнями, називається службою.*

Поняття «служба» використовується в рамках опису процесу надання користувачам функціонально-зв'язаного набору послуг з обміну конкретними видами інформації із заданими параметрами якості для вирішення прикладних завдань, які можуть бути вирішені автоматично за допомогою програмно-апаратних засобів відкритої системи.

Слід зазначити, що поняття «служба» може мати сенс організації, установи або системи. Так, наприклад, в архітектурі єдиної мережі електрозв'язку виділяють «служби електрозв'язку», які є організаційно-технічні системи, що включають засоби передачі, прийому і обробки інформації, органи управління, технічний і адміністративний



персонал. Ці служби забезпечують весь комплекс заходів щодо задоволення абонентів (користувачів) мережі телекомунікаційними послугами.

При описі телекомунікаційних систем мереж з використанням ЕМВОС *служби підрозділяються на дві групи*: служби передачі і телеслужби.

Служби передачі - служби, призначені для передачі повідомлень по мережі зв'язку. Вони описані першими трьома рівнями ЕМВОС.

Телеслужби - служби (окрім телефонної, телеграфної і служби передачі даних), які організуються з метою безпосереднього обміну повідомленнями між крайовими пристроями абонентів через мережі електрозв'язку (рис.7.2). До цих служб відносяться телетекст, телефакс, видеотекст і ін. Таким чином, функції телеслужб охоплюють, по-перше, всі функції передачі (з першого рівня по третій), по-друге, функції зв'язку крайових пристроїв функціонування об'єкту, що описується (N+1) -м рівнем, може забезпечуватися по запиту одного або сукупності об'єктів, N-й, що мають, рівень в ієрархії. Для виконання такої взаємодії потрібний запит об'єкту будь-якого рівня до нижчого об'єкта для надання певного набору послуг.

Послугою називається пропонований об'єкту (користувачеві) набір функцій, або можливостей засобів зв'язку і автоматизації по прийому, обробці, доставці і представленню інформації. Очевидно, що послуга є часткою служби, яка затребувана об'єктом (користувачем). Наприклад, послугами можуть бути скорочений набір номера для абонента, що часто викликається, сповіщення про виклик, що поступає, з індикацією, встановлення на очікування при зайнятості каналу зв'язку і так далі

N-а послуга характеризується наступними параметрами якості:

- очікувана затримка передачі;
- спотворення інформації;
- втрати даних або їх дублювання;
- й передачі за невірною адресою;
- захищеність від несанкціонованого доступу.

Сукупність всіх послуг і правил їх надання називається сервісом. Об'єкти N-го і (N+1)-го рівнів обмінюються сигналами, що управляють, і даними через *точку доступу* до N-й службі, яка визначається як крапка, в якій (N+1)-у об'єкту N-им об'єктом надається N-я служба. Таким чином, якщо (N+1)-ми об'єктами є активні компоненти моделі, то *точка доступу* - пасивний компонент, службовець для зберігання інформації, яка може бути затребувана при передачі сигналів, що управляють, і даних між N-м і (N+1) -м об'єктами.

Відмінність рівнів опису еталонної моделі полягає в орієнтації розв'язаних ними , змістовна спрямованість яких відбивається в їх найменуванні.



Рис. 7.2. Ділянки визначення служби передачі (а), телеслужби (б)

Два верхні рівні (*прикладний* і *представницький*) відповідають прикладним процесам, під якими розуміються процеси обробки повідомлень для потреб користувачів. Решта рівнів реалізує так званий мережевий метод доступу і описують функції телекомунікаційної мережі або її елементів. Точка розділу двох вказаних груп рівнів опису відкритих систем називається портом. Через порти по логічних каналах здійснюється зв'язок різних процесів.

Логічний канал - шлях, по якому повідомлення передаються від одного порту до іншого. Логічний канал прокладається в одному фізичному каналі, або в послідовності таких каналів (каналів передачі). Логічний канал, що прокладається на мережевому рівні, називають віртуальним каналом, а на каналному рівні - каналом передачі даних (інформаційним).

Кожен процес може бути або одне, або багатопортовим. Окрім телекомунікаційної мережі в даній моделі визначена транспортна мережа, об'єднуюча чотири нижні рівні всіх систем.

Верхні чотири рівні виявляються інваріантними до процесів комутації, які визначаються трьома нижніми рівнями, і тому називаються крізними.

Відсутність строгої регламентації функцій, системний підхід дозволяє охарактеризувати рівні моделі архітектури систем передачі і розподілу інформації достатнім ступенем деталізації.

## 2. Семирівнева модель (СМ).

З метою вивчення і подальшого ЕМВОС її рівні можна розбити:

- на групу верхніх рівнів, що містить три рівні (прикладний, представницький, сеансовий), які описують телематичні служби і процеси встановлення і підтримки з'єднань між крайовими пристроями, а також надання повідомлень (даних) в зручній для сприйняття абонентом формі;

- групу нижніх рівнів, що містить три рівні (мережевий, каналний, фізичний), які описують процеси транспортування, комутації повідомлень по мережі від одного абонентського пристрою до іншого;

- транспортний рівень (четвертий рівень) є сполучною ланкою між верхніми і нижніми рівнями.

Прикладний рівень (7-й рівень ЕМВОС) - рівень взаємозв'язку відкритих систем, що забезпечує послуги з обміну даними між прикладними процесами користувачів (обробки даних) [2].

Прикладний рівень призначений для забезпечення доступу прикладним процесам користувача (абонента), що знаходяться над прикладним рівнем, до можливостей OSI. У спільному випадку всі виконувані на цьому рівні процеси можуть бути представлені сукупністю двох груп - прикладних процесів користувачів і прикладних процесів адміністративного управління (перші відносяться до робітників і термінальних систем, другі - до адміністративної системи).

Адміністративне управління служить для координації ресурсів відкритої системи, розташованих на всіх її рівнях. Прикладні процеси користувачів служать для управління обробкою інформації, динамічного розподілу ресурсів між процесами, обслуговування процедур відновлення нормальної роботи мережі після появи збоїв і несправностей; обробки інформації, тобто безпосереднього виконання тих основних функцій, для яких створюється система.

Прикладний рівень, що взаємодіє безпосередньо користувачем, забезпечений повним набором послуг, пропонованих всіма нижніми рівнями. Він диктує нижнім рівням, які послуги дійсно мають бути викликані. Прикладний рівень виконує завдання забезпечення різних форм взаємодії прикладних процесів різноманітних відкритих систем.

Для організації взаємодії користувачів прикладний рівень має засоби звернення до сервісу, що виконується представницьким рівнем. Ці засоби дозволяють:

- формувані запити на встановлення з'єднання одним або декількома іншими абонентами;

- задавати форму представлення повідомлень, що підлягають обміну (у вигляді тексту, таблиці, математичної формули і т. і.);

- запрошувати довідки про наявність і стан прикладних процесів в інших системах і ін.

Представницький рівень (рівень представлення даних, шостий рівень ЕМВОС) - рівень взаємозв'язку відкритих систем, що забезпечує послуги з обміну повідомленнями між логічними об'єктами прикладного рівня, перетворення і представлення повідомлень в потрібному форматі [2].

Представницький рівень є найпростішим сточування зору взаємозв'язку. Його функцією є перетворення повідомлень абонента (користувача ПЕОМ) з форми, використовуваної прикладним рівнем, у форму, вживану нижчими рівнями для передачі, тобто здійснюється *синтаксис повідомлень*. Якщо, наприклад, використовується дисплей, то інформація формується у вигляді сторінки із заданим числом рядків певної довжини на екрані. Крім того, інформація може представлятися на ПЕОМ з використанням різного шрифту, графічних знаків, математичних символів (для їх уявлення в ПЕОМ є текстовий, графічний і редактори формул). При вживанні апарату факсиміле визначаються форма і структура документа і ін.

У випадку кожен прикладний процес може оперувати своїми формами представлення повідомлень, тому представницький рівень повинен володіти вибірковістю у формах їх уявлення. Це зі свого боку вимагає введення в представницький рівень ідентифікації форматів повідомлень.

При цьому все різноманіття схем перетворення форматів повідомлень обмежується трьома варіантами.

Простий з них відповідає випадку, коли обидва взаємодіючі процеси, наприклад взаємодія мереж зв'язку і абонентських пристроїв однакового аналогового типа, вимагають повідомлення *в стандартному форматі (СФ)*. При цьому функція перетворення форматів виключається, а, отже, виключається і основна функція представницького рівня.

*Другий варіант* потрібний тоді, коли тільки один з взаємодіючих процесів «працює» із стандартними форматами. В цьому випадку до складу засобів представницького рівня системи, що використовує повідомлення в локальному форматі (ЛФ), необхідно вводити перетворювач форматів (ПФ). У завдання ПФ входить перетворення стандартного формату в локальний і, навпаки, залежно від напрямку руху повідомлення.

*Третій варіант* потрібний, коли обидва процеси ведуть обмін повідомленнями в різних локальних форматах. Тут необхідне використання перетворювачів форматів в кожній з двох систем.

Представницький рівень опису систем характеризується не лише можливістю ідентифікації і перетворення форматів. До функцій представницького рівня також відносяться:

- адресація прикладних процесів і їх портів;
- і розширення повідомлень;
- і розшифровка повідомлень, якщо вони реалізуються програмними методами, а не апаратною.

Взаємодія логічних об'єктів (процесів) представницького рівня, подібно до прикладного, організовується за допомогою нижчестоящого, сеансового рівня.

Сеансовий рівень (5-й рівень ЕМВОС) - рівень взаємозв'язку відкритих систем, що забезпечує послуги з організації і синхронізації взаємодії між логічними об'єктами рівня представлення даних (представницького рівня) [2].

Головним завданням сеансового рівня є організація діалогу між абонентськими пристроями (терміналами), тобто організація сеансів зв'язку і управління обміном повідомленнями по логічних каналах, які існують тільки на час сеансу зв'язку.

Сеанси зв'язку по логічних каналах можуть бути одне - або двосторонніми. У цьому сенсі можна говорити про симплексний, напівдуплексний і дуплексний зв'язок відповідно. Симплексний зв'язок - двосторонній зв'язок між двома користувачами, при якому передача і прийом ведуться по черзі. Напівдуплексний зв'язок - двосторонній зв'язок, в якому обмін повідомленнями між двома користувачами здійснюється по черзі з можливістю зміни напрямку в процесі передачі. Дуплексний зв'язок - двосторонній зв'язок, при якому передача здійснюється одночасно з прийомом.

*Організація логічних каналів в випадку вимагає:*

- ідентифікації сеансу зв'язку;
- ініціалізації сеансу зв'язку;
- ідентифікації повідомлень, що передаються;
- переривання і відновлення сеансу виникнення збійних ситуацій;
- завершення сеансу зв'язку.

Транспортний рівень (4-й рівень ЕМВОС) - рівень взаємозв'язку відкритих систем, що забезпечує послуги з незалежного від коду і надійного обміну повідомленнями між логічними об'єктами сеансового рівня при ефективному використанні ресурсів розташованих нижче рівнів [2].

На транспортний рівень покладається завдання підготовки повідомлень до вигляду, придатного для передачі по мережі зв'язку, тобто транспортний рівень

звільняє верхні рівні від обліку особливостей мереж зв'язку. При передачі дискретних повідомлень (наприклад, в мережі передачі даних або мережі ISDN) методом комутації пакетів відповідно до стандарту X.25 на стороні, що передає, проводиться ділення довгих повідомлень, що поступають від верхнього (сеансового) рівня, на пакети. Кожен пакет забезпечується заголовком (З), кінцевиком (К) і передається через нижчестоящі рівні в мережу зв'язку (процес ділення повідомлення на частини формалізованої довжини називається сегментацією). Ділення необхідне тому, що в мережах з пакетною комутацією передача повідомлень здійснюється пакетами обмеженої довжини, як правило, 128 байт, і, можливо, що для передачі повідомлення буде потрібно декілька пакетів.

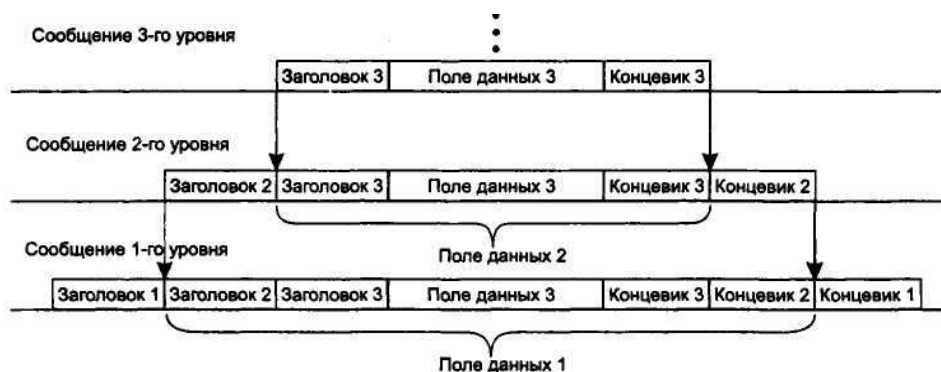


Рис. 7.3 Сегментація повідомлення. З - заголовок, Д-данні, К – кінцевик

Транспортний рівень є кордоном, нижче за яку пакет даних стає неподільною одиницею інформації, керованою мережею. Вище за транспортний рівень як одиниця інформації розглядається тільки повідомлення. Необхідно підкреслити, що протоколи транспортного рівня відносяться до класу між кінцевих протоколів. Термін «між кінцевою» підкреслює той факт, що транспортні протоколи забезпечують обмін інформацією між абонентами мережі, тоді як протоколи нижніх рівнів відповідають тільки за доставку повідомлень на окремих ділянках мережі.

До нижніх рівнів ЕМВОС відносяться мережевою, каналний і фізичний. Вони регламентовані МСЕ-Т в рекомендаціях X.25 і X.75. Протокол X.25 визначає взаємодія між абонентськими пристроями мереж передачі даних комутацією пакетів, що входять до складу ЕСЕ України. Протокол X.75 визначає процедури взаємодії між різними мережами пакетною комутацією. Часто даний протокол називають шлюзом.

Очевидно, що транспортний і мережевий рівні в значній мірі дублюють один одного, особливо в плані функцій управління потоком повідомлень (пакетів) і контролю помилок. Головна причина такого дублювання полягає в тому, що існує два варіанти зв'язку про комутацією пакетів (повідомлень) - зі встановленням з'єднання і без встановлення з'єднання. Ці варіанти базуються на різних припущеннях надійності мережі.

Зв'язок зі встановленням з'єднання (як і при комутації каналів) передбачає первинне встановлення крізного з'єднання (каналу зв'язку) від споживача до споживача, після чого відбувається обмін інформацією між абонентами. В цьому випадку абоненти не зобов'язані завершувати обмін інформацією своїм ім'ям, ім'ям кореспондента, що викликається, і його адресою, оскільки передбачається, що

зв'язок надійний і протилежна сторона отримує повідомлення без спотворень. Адреса пункту призначення в такій мережі необхідна лише при встановленні з'єднання, в самих повідомленнях він не потрібний. У такій мережі мережевий рівень виконує функцію по контролю помилок і управлінню потоком повідомлень. Крім того, в мережі зв'язку з комутацією пакетів в його функції входить збірка пакетів.

*Зв'язок без встановлення з'єднання (датаграмний спосіб)* передбачає, що контроль помилок і управління потоком повідомлень (пакетів) здійснюються на транспортному рівні. Адресу пункту призначення необхідно указувати в кожному пакеті, дотримання черговості пакетів не гарантується. Основна ідея такого зв'язку полягає в тому, що пакети передаються по різним, заздалегідь не комутованим маршрутам мережі зв'язку. В результаті цього у вузлах комутації можуть утворюватися черги на передачу пакетів. Найважливішим показником таких мереж є швидкість передачі. Споживачі повинні покладатися на власні програми контролю помилок і управління потоком повідомлень (пакетів), а не на вбудовані стандартні засоби ЕМВОС. При розробці ЕМВОС можливості зв'язку із з'єднанням і зв'язку без з'єднання описані в обох рівнях - мережевому і транспортному. Кінцевий споживач може вибрати відповідні стандартні значення для керівників полів цих рівнів і використовувати той метод, який, на його думку, краще. Недолік тут полягає в зайвій надмірності, передбаченій в обох рівнях, що означає додаткову кількість службової інформації. При передачі інформації в такому форматі по лініях телекомунікації це приводить до додаткових накладних витрат, оскільки процес передачі займає більше часу.

*Канальний рівень* - рівень взаємозв'язку відкритих систем, що здійснює управління передачею інформації по каналу. За допомогою канального рівня розглядаються (описуються) процеси передачі стартового сигналу і організації зачала передачі інформації, самої передачі інформації по каналу, перевірки отримуваної інформації і виправлення помилок, відключення каналу при його несправності і відновлення передачі після ремонту техніки, генерації сигналу закінчення передачі і перекладу каналу в пасивний стан.

На канальному рівні відбувається обробка пакетів і передача їх відповідно до заданого на мережевому рівні маршруту передачі. Для цього пакети перетворюються в кадри відповідного розміру. Кадр - блок даних, що передається на канальному рівні.

Для виконання функції по виявленню помилок на канальному рівні застосовується метод автоматичного запиту повторної передачі, який передбачає, що якщо виявлена помилка, то приймаюча відкрита система передає код «непідтвердження прийому», а система, що передає, повторює передачу.

Як стандарт для протоколів канального рівня організацією ISO рекомендується протокол HDLC (*High Level Data Control -протокол управління каналом передачі даних*) [4].

*Фізичний рівень* - рівень, що визначає механічні, оптичні, електричні, процедурні засоби передачі сигналів через фізичні засоби з'єднання [1].

Фізичний рівень призначений для перенесення повідомлення (послідовності біт) у вигляді, придатному для передачі по конкретному фізичному

Фізичний рівень виконує три функції: встановлення і роз'єднання фізичних з'єднань між комутаційними пристроями; перетворення сигналів до вигляду, придатного для передачі по фізичному ; реалізація інтерфейсу (стику).

*Встановлення і роз'єднання з'єднання.* При використанні комутуваних каналів на фізичному рівні необхідно здійснювати попереднє з'єднання взаємодіючих абонентських пристроїв і їх подальше роз'єднання. При використанні виділених (що орендуються) каналів така процедура спрощується, оскільки канали постійно закріплені за відповідними напрямками зв'язку. Обмін повідомленнями між абонентськими пристроями, що не мають прямих зв'язків, організовується за допомогою комутації потоків, повідомлень, пакетів або каналів зв'язку через проміжні вузли комутації. Проте функції такої комутації виконуються вже на більш високому рівні і до фізичного рівня відношення не мають. Окрім фізичного підключення на фізичному рівні узгоджуються режими роботи засобів зв'язку, способи модуляції, швидкості передачі, режими виправлення помилок і так далі. Після встановлення з'єднання управління передається вищому канальному рівню.

*Перетворення сигналів.* Для узгодження переданого з абонентського пристрою низькочастотного сигналу з параметрами каналу зв'язку здійснюється його перетворення (одного або декількох його параметрів) у високочастотний сигнал за допомогою несучого коливання. Таке перетворення аналогового сигналу називається модуляцією, а пристрій - модулятором. Зворотнє перетворення - демодуляцією, а пристрій - демодулятором. Пристрій, в якому реалізовано обидві функції, називається модемом.

*Реалізація стику (інтерфейсу).* На фізичному рівні розрізняють стики, поширення, що взаємодіють з середою, і стики, що не взаємодіють з нею. Стик, що взаємодіє з середою поширення сигналів, забезпечує функціонування модему по фізичних (аналоговим або цифровим) каналах зв'язку. Він відповідає одному з тестованих канальних стиків С1.

Прикладами таких стиків С1 є:

- С1-ТФ (ДСТУ 23504-79, 25007-81, 26557-85) - для каналів телефонної мережі зв'язку користування;

- С1-ТЧ (ДСТУ 23475-79, 23504-79, 23578-79, 25007-81, 26557-85) - для виділених каналів тональної частоти;

- С1-ТГ (ДСТУ 22937-78) - для телеграфних каналів зв'язку;

- С1-ШП (ДСТУ 24174-80, 25007-81, 26557-85) - для первинних широкосмугових каналів;

- С1-ФЛ (ДСТУ 24174-80, 26532-85) - для фізичних ліній зв'язку і ін.

Стики сигналів, що не взаємодіють, забезпечують взаємодію крайового пристрою користувача (терміналу) і модему. Вони визначаються як преобразуючі стики С2. Стандарти і рекомендації (V.24, RS-232, RS-449, V.35 і ін.) по С2 визначають характеристики (швидкість і послідовність передачі), функціональні і структурні характеристики (номенклатура, категорія ланцюгів інтерфейсу, правила їх взаємодії); електричні (величини напруги, струмів і опорів) і механічні характеристики (габарити, розподіл контактів по ланцюгах і ін.).



На фізичному рівні відбувається діагностика певного класу несправностей, наприклад, таких як обрив дроту, пропажа живлення, втрата механічного контакту і так далі.

Таким чином, фізичний рівень забезпечує передачу сигналів без угруповання переданої послідовності в крупніші інформаційні одиниці, а також без аналізу смислового як інформаційною, так і службовою складових повідомлення. Реалізація інтерфейсу фізичного і канального рівнів здійснюється за допомогою модемів відповідно до рекомендацій МСЕ-Т.

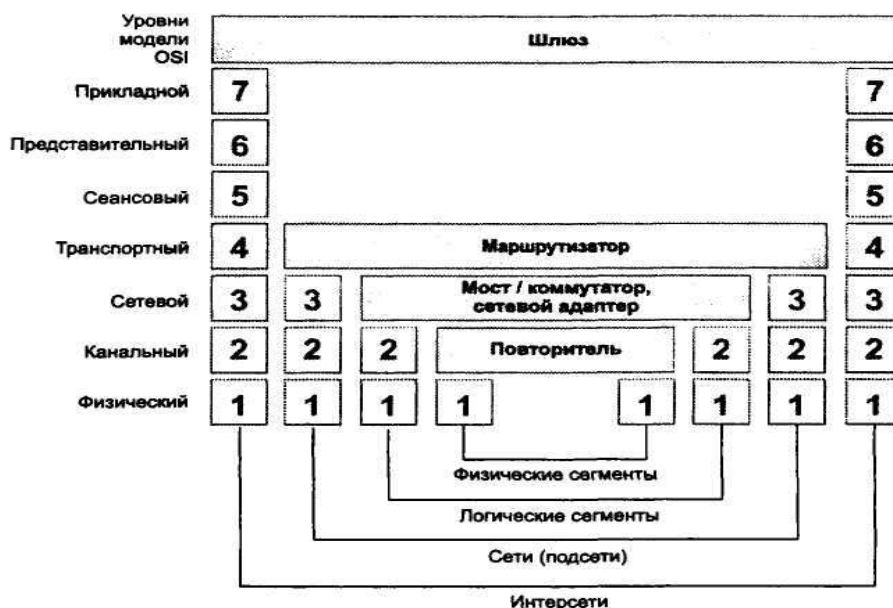
### 3. Класифікація систем на основі СМ.

Взаємодія між елементами відкритих систем на основі доступних стандартів повинна забезпечити:

1. Підвищення ефективності функціонування відкритих систем.
2. Комплексне використання ресурсів відкритих систем.
3. С зв'язку між абонентами відкритих систем.

Таблиця 7.4. Стандарти для ЕМВОС

Рівень	Стандартні протоколи
Прикладний	X.400, X.500, X.700, X.800, FRAM, <i>Mms</i> , <i>Oda/edi</i> , мережеві аспекти мультимедіа додатки
Представницький	<i>Asn 1</i> , V.42 bis, <i>MNR-5</i> , X.208, X.209, X.216, X.226, ISO 8824, 8825, 8822, 8823, криптозахисту, стискування
Сеансовий	X.3, X.2в, X.29, X.215, X.225, ISO 8826, 8827
Транспортний	<i>TCP</i> , <i>UDP</i> , X.214, X.224, X.75, ISO 8072, 8873, 10608
Мережевий	IP, X.25, DS-1, DS-3, FR, ISO 8473, 8648, 9577,8208
Канальний	<i>HDLS</i> , <i>LAP-B/D/F</i> , IEEE-8022, 8023, 8024
Фізичний	RS-232, RS-485, RS-422, RS-423, X.20, X.21, V.36



Обладнання мереж класифікується за кількістю рівнів, що ними застосовуються, як це зображено на рисунку.

#### Висновки

Таким чином, при описі мережі зв'язку необхідне знання різних стандартів, що регламентують правила взаємодії окремих елементів цієї мережі.

ЕМВОС при побудові систем і мереж приносить значні вигоди:

- забезпечує економію витрат і надає ширші можливості обміну повідомленнями;
- мінімізує витрати при зміні структури системи (мережі) зв'язку;
- створює можливість взаємодії засобів зв'язку (обчислювальної техніки), послуг, що розробляються і надаються різними постачальниками;
- забезпечує розширений набір послуг, стандартизованих МСЕ.

#### Виконати самостійне завдання № 7.

1. Вивчити питання лекції.
2. Виконати порівняльну оцінку методик визначення ефективності мереж доступу за завданням лабораторного заняття № 2.

#### Література:

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, "Техніка", 2001.- с 37-54.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, "Техніка", 2003. – 923 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 4изд.-СПб.: 2010.- с.108-136.
4. Сосновский О.А Телекоммуникационные системы и компьютерные сети. – Минск: БГЭУ, 2007.-с 23-39.

**Модуль 2 Моделювання ТІМ**  
**Тема 4 Особливості моделювання відкритих систем**  
**Лекція 8 Модель якості роботи мережі**

**ПЛАН**

*Навчальні питання*

1. Складові якості роботи мережі. Матрична модель якості мереж.
2. Первинні та вторинні параметри якості.
3. Еталонні з'єднання та можливі процеси подій у мережах.

*Виконати самостійне завдання № 8.*

1. Вивчити питання лекції.
2. Визначити чисельне значення первинних параметрів на кожному рівні ієрархії мереж доступу за завданням лабораторного заняття № 4.

*Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001.- 526 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003. – 923 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 2изд.-СПб.-Питер, 2005.- 864с.
4. Сосновский О.А Телекоммуникационные системы и компьютерные сети. – Минск: БГЭУ, 2007.-176с.
5. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: підручник/П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708с.

***Вступ***

Висока вартість протяжних каналів передачі даних і складність просто підвищення швидкості передачі даних за рахунок прокладки додаткових волоконно-оптичних жил обумовлює надзвичайно економне відношення до пропускної спроможності каналу в глобальних мережах. Для нормальної роботи додатків в таких умовах потрібне застосування методів забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS). Іншим могутнім стимулом втілювання механізмів QoS є прагнення до передачі по пакетним мережам всіх типів інформацій, в тому числі і мультимедійної - голосу, зображення, відеоданих.

Трафік таких застосувань відрізняється чутливістю до затриманням - одного з параметрів, який регулюється за допомогою механізмів QoS.

Тому в більшості технологій, спеціально розроблених для глобальних мереж передачі даних - Frame Relay, АТМ, - механізми QoS являються вбудованими.

## 1. Складові якості роботи мережі та якості їх обслуговування

### 1.1 Основні поняття якості обслуговування

Основною рушійною силою розвитку мережі є додатки. У відповідь на постійні вимоги додатків, що ростуть, до пропускної спроможності мережі з'являються нові високошвидкісні технології. Перенесення в комп'ютерні мережі нового вигляду трафіку, наприклад IP-телефонії, аудіо і відео віщання, привів до появи нових вимог, пов'язаних із забезпеченням низького рівня затримок пакетів, підтримкою групової доставки пакетів і т.д.

Просте підвищення пропускної спроможності мережі вже більше не є гарантією того, що різноманітні застосування, що працюють в мережі, отримають те обслуговування, яке їм потрібне. Екстенсивний шлях розвитку, коли канали і комунікаційне устаткування мережі замінюється іншим, на порядок продуктивнішим, дає швидкий бажаний результат - додаткам зазвичай дістається необхідна для їх якісної роботи частка пропускної здібності, при цьому затримки із-за очікування пакетів в чергах (невід'ємна особливість мереж цього типу) стають невідчутними. Проте з перебігом часу кількість користувачів мережі росте, змінюються самі застосування – як правило, вони стають більш ресурсоємними, і мережа починає випробовувати перенавантаження.

Потрібні нові механізми якості обслуговування, що враховують все багато різноманіття вимог, що пред'являються додатками до мережі, і що надають кожному застосуванню той рівень якості обслуговування, який йому необхідний - чи то через об'єктивні потреби додатку, чи то відповідно зі згодою про якість обслуговування, заключеними між клієнтом і оператором мережі. Такі механізми і працюють у складі служби QoS, що є свого роду «розпорядником» пропускної спроможності каналів і виробником комунікаційних пристроїв, контролюючи і регулюючи споживання ресурсів мережі трафіком окремих користувачів і їх груп.

### 1.2 Типи QoS

Поняття якості обслуговування в пакетних мережах є суто статистичним. В умовах, коли пакети передаються кінцевими вузлами в мережу у випадкові моменти часу, черги в комунікаційних пристроях теж представляють собою випадкові процеси, що приводить до того, що миттєва швидкість потоку даних і затримки пакетів також носять випадковий характер. Тому всі параметри, якими вимірюється якість обслуговування в пакетних мережах, є статистичними. Як правило, це середнє значення (математичне очікування) і варіації (дисперсії) швидкості інформаційного потоку і затримок пакетів. Немає сенсу говорити про затримку окремого пакету або про швидкість потоку на дуже маленькому проміжку часу, сумірному з часом передачі одного пакету. Які-небудь числові оцінки якості обслуговування можуть бути на практиці зміряні шляхом усереднювання відповідних величин на якому-небудь заздалегідь обумовленому проміжку часу.

Типи QoS розрізняються по ступеню «строгості», тобто по тому, наскільки твердо сервіс QoS може гарантувати забезпечення певних значень характеристик

QoS- пропускну спроможності, затримок, варіацій затримок, рівня втрат пакетів і т.п.

Можна виділити три типи служб QoS.

1 Сервіс з максимальними зусиллями, який також можна назвати відсутністю QoS, забезпечує взаємодію кінцевих вузлів без яких би не було б гарантій. Типові представники таких послуг - класичні мережі Ethernet або IP, які не роблять ніяких відмінностей між пакетами окремих користувачів і додатків і обслуговують ці пакети на основі принципу FIFO (першим прийшов - першим обслужений).

2 Сервіс з перевагою (званий також «м'яким» сервісом QoS) - деякі типи трафіку обслуговуються краще, ніж інші. Мається на увазі швидша обробка, в середньому більше пропускну спроможності і менше втрат даних. Це статистична перевага, а не чисельно вираженні гарантії. Точні значення параметрів QoS, які отримують додаток в результаті роботи служби QoS цього типу, невідомі і залежать від характеристик пропонованої мережі трафіку. Наприклад, якщо високо пріоритетний трафік пропонує мережі в даний момент часу низьку інтенсивність своїх пакетів, то низько пріоритетний трафік може в цей час отримувати вельми якісне обслуговування - значну пропускну спроможність і низькі затримки. Проте при зміні ситуації, коли високо пріоритетний трафік починає посилати в мережу свої пакети з високою інтенсивністю, низько пріоритетний трафік може взагалі якийсь час не обслуговуватися.

3 Гарантований сервіс (званий також «жорстким», або «істинним», сервісом QoS) дає статистичні численні гарантії різним потокам трафіку. Зазвичай такий вид QoS заснований на попередньому резервуванні мережених ресурсів для кожного з потоків, що отримав гарантії обслуговування. Трафік, якому виділили ресурси, гарантовано має при проходженні через мережу ті параметри пропускну спроможності або затримок, які визначені для нього в числовому вигляді (звичайно, якщо джерела цього трафіку не порушують обумовлених для них умов і генерують не більше пакетів, чим передбачалося). Служби такого типу здатні, наприклад, гарантувати додатку обумовлену пропускну спроможність, не зменшується ні за яких обставин, якою б переобтяженою мережа не ставала. Слід зазначити, що гарантії носять статистичний характер, тобто можна гарантувати деяке числові значення якого-небудь параметра тільки з деякою вірогідністю, хай дуже високою, не рівною 1. Наприклад, з вірогідністю 0,999 можна стверджувати, що затримка пакету не перевищить 100 мс, отже, один пакет з 1000 може затриматися в мережі і на більший час. Другою складовою такого режиму роботи служби QoS є вхідний контроль потоків, яким дані гарантії. Дійсно, дотримувати дані гарантії можна тільки в тому випадку, якщо інтенсивності вхідних в мережу потоків не перевищують граничних

нижче зазначених значень. Інакше потік споживатиме більше ресурсів, чим йому виділялося, а значить, іншим потокам дістанеться менше, ніж було заплановано, і гарантії для них дотримані не будуть.

Ці три підходи до роботи служб QoS не виключають, а доповнюють один одного.

В результаті їх комбінування дозволяє врахувати різноманітні вимоги додатків і різні умови роботи мережі.

Деяким застосуванням достатньо обслуговування з максимальними зусиллями, тоді як іншим обов'язкове жорстке дотримання гарантій за рахунок попереднього резервування.

Трафік додатків, для яких параметри якості обслуговування не абсолютно важливі (тобто додаток, а точніше, його користувач може змиритися з деяким погіршенням реактивності мережі), обробляється службою другого типу, яка диференційовано розподіляє ті, що залишилися після резервування ресурси між декількома пріоритетними класами трафіку. Якщо одному з диференційованих класів потрібна на деякий час велика пропускна здатність, то його потреби задовольняються за рахунок трафіку диференційованих класів нижчого пріоритету або трафіку, обробленого службою обслуговування з максимальними зусиллями.

Трафік додатків, для яких обов'язковою умовою є деякий гарантований рівень пропускної спроможності і/або затримок (наприклад трафік відео конференції або трафік, що поступає від вимірювальної системи реального часу), обслуговується службою QoS третього типу, представляючи гарантований сервіс.

### **1.3 Згода про рівень обслуговування**

Якість обслуговування може розглядатися з двох позицій. По-перше, з точки зору споживача транспортних послуг мережі, коли характеристики якостей; обслуговування виступають як деякі бажані умови, що забезпечують нормальну роботу додатків. В цьому випадку мова йде про потрібні якості( обслуговування. По-друге, з погляду постачальника послуг" (або адміністратора корпоративної мережі), для якого якість обслуговування - це фактичні характеристики роботи мережі, спостережені в результаті її моніторингу або в результаті аналітичного дослідження або імітаційного моделювання мережі.

Природною основою нормальної співпраці постачальника і споживача є договір, який в даному випадку називається угодою про рівень обслуговування (Service Level Agreement, SLA). У цьому договорі постачальник послуг і його клієнт визначають наступні позиції.

1 Параметри якості обслуговування трафіку, які цікавлять споживача і які згоден підтримувати постачальник (за показаннями середня пропускна спроможність, максимальні затримки і варіації затримок, максимальна інтенсивність втрат даних, коефіцієнт готовності сервісу, максимальний час відновлення сервісу після відмови і т. д.).

2 Методи вимірювання параметрів якості обслуговування.

3 Визначення плати за обслуговування. Система оплати може бути достатньо складною, особливо якщо угода передбачає декілька вирівняний якості обслуговування, які оплачуються за різними тарифами.

4 Санкції за порушення зобов'язань постачальника послуг із-за забезпечення належної якості обслуговування, а також за відхилення параметрів трафіка користувача від обумовлених значень. Ці санкції можуть виражатися у вигляді штрафів або в іншій формі, наприклад у формі надання сервісу протягом деякого часу безкоштовно або за зниженим тарифом.

5 Як і любий договір, угода SLA по взаємній згоді постачальника і клієнта може включати велику кількість різних додаткових статей. Наприклад, статтю, що обумовлює умови переходу до більш якісного обслуговування або обслуговуванню з різним рівнем якості в залежності від дня тижня або часу доби.

6 Угоду може включати також правила кондиціонування трафіку користувача, тобто обробки трафіку, який виходить за обговорені межі, наприклад трафіку з більшою середньою інтенсивністю на значному проміжку часу. Ці правила можуть включати формальні способи розпізнавання різних потоків призначеного для користувача трафіку (що потрібно у тому випадку, коли угода обумовлює диференційоване обслуговування певних потоків). Також правила кондиціонування можуть визначати умови відкидання або маркіровки пакетів-порушників (помічені пакети відкидатимуться мережею не завжди, а тільки у тому випадку, коли мережні пристрої випробовують перевантаження)! В деяких випадках мережне устаткування виконує згладжування пульсацій трафіку для поліпшення якості роботи додатку (наприклад, що працює з голосом), а також для зменшення затримок в транзитних вузлах мережі, оскільки більш рівномірно пакети, що поступають, зменшують перевантаження мережних пристроїв.

Багато постачальників послуг пропонують своїм клієнтам типові контракти SLA.

В них не тільки визначений перелік характеристик якості обслуговування, але навіть і їх конкретні числові значення, наприклад: «затримка пакетів, усереднена цінна за місяць, не перевищуватиме 100 мс при передачі між будь-якими двома Вузлами мережі». Типові контракти полегшують життя постачальникам послуг, оскільки для їх реалізації можна обійтися без засобів гарантованої підтримки якості обслуговування. Потрібно тільки підтримувати приблизно постійний рівень запасу пропускнуї спроможності і пропонувати в SLA ті значення параметрів QoS, які демонструє працююча мережа.

Згода SLA полягає не тільки між постачальником послугами публічних мереж і корпоративними клієнтами. Достатньо популярним останнім часом стало укладення подібних контрактів між інформаційним відділом підприємства - постачальником транспортних послуг, і споживачами – функціональними відділами підприємства.

#### **1.4 Вимоги до якості обслуговування додатків різних типів.**

Сучасна тенденція конвергенції мереж різних типів, привела до необхідності перенесення мережею всіх видів трафіку, а не тільки традиційного для комп'ютерних мереж трафіку додатків доступу до файлів і електронної пошти.

Характеристики QoS особливо важливі у тому випадку, коли мережа передає одночасно трафік різного типу, наприклад трафік веб-додатків і голосовий трафік. Це пов'язано з тим, що різні типи трафіку пред'являють різні вимоги характеристикам QoS. Добитися одночасного дотримання всіх характеристик QoS для всіх видів трафіку дуже складно. Тому зазвичай використовують наступний підхід: класифікують всі види трафіку, що існують в мережі, відносячи кожен з них до одного з поширених типових видів трафіку, а потім добиваються одночасного виконання певної підмножини з набору вимог для цих типів трафіку.

До теперішнього часу виконана велика робота по класифікації трафіку додатків. Як основні критерії класифікації були прийняті три характеристики трафіку:

- 1 відносна передбаченість швидкості передачі даних;
- 2 чутливість трафіку до затримок пакетів;
- 3 чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів.

#### 1.4.1 Передбаченість швидкості передачі даних.

Відносно передбаченості швидкості передачі даних трафік додатків ділиться на два великі класи:

- 1 поточковий трафік (stream);
- 2 пульсуючий трафік (burst).

Додатки з поточковим трафіком породжують рівномірний потік даних, який поступає в мережу з постійною бітовою швидкістю (Constant Bit Rate, CBR). При використанні методу комутації пакетів трафік таких додатків є послідовність пакетів однакового розміру (рівного  $B$  біт), наступних один за одним через один і той же інтервал часу  $T$  (рис. 8.1).

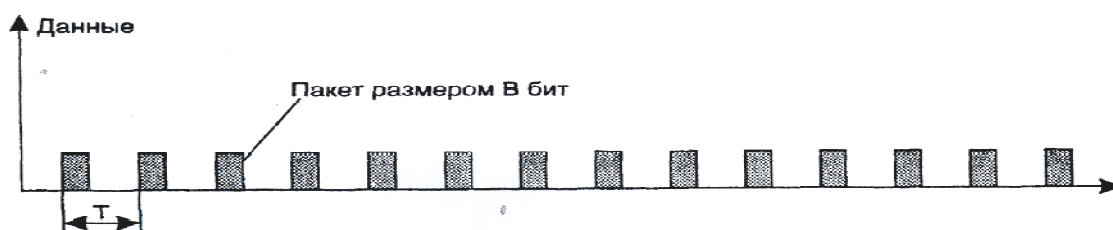


Рис. 8.1. Поточковий трафік

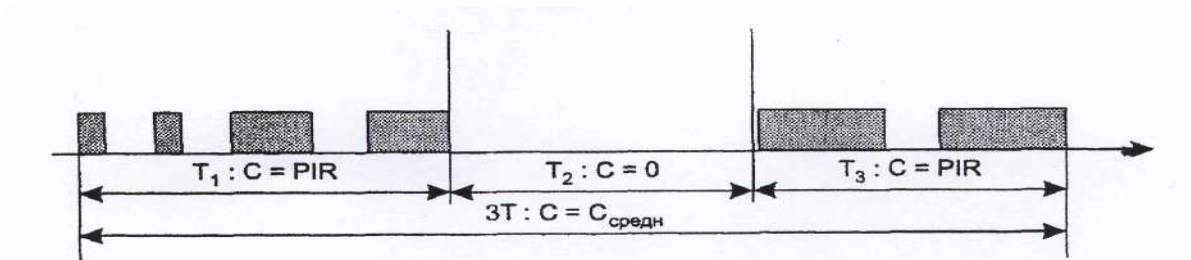
Постійна швидкість поточкового трафіку (CBR) може бути обчислена шляхом усереднювання на одному періоді:

$$CBR = B/T \text{ біт/с.}$$

У загальному випадку постійна швидкість поточкового трафіку менше номінальної максимальної бітової швидкості протоколу, за допомогою якого передаються дані, оскільки між пакетами існують паузи. Так максимальна швидкість передачі даних за допомогою протоколу Ethernet – 10 Base-T складає 9,76 Мбіт/с (випадок кадрів максимальної довжини), що менше за номінальну швидкість цього протоколу, рівну 10 Мбіт/с

Додатки з пульсуючим трафіком відрізняються високим ступенем непередбаченості, коли періоди мовчання змінюються пульсацією, протягом якої пакети «щільно» слідуєть один за одним. В результаті трафік характеризується змінною бітовою швидкістю (Variable Bit Rate, VBR), що ілюструє рис. 8.2. Так, при роботі додатків файлового сервісу інтенсивність трафіка, що генерується додатком, може падати до нуля, коли файли не передаються, і підвищуватися до максимально доступною, обмеженою тільки можливостями мережі, коли файловий сервер передає файл.





Рис, 8.2. Пульсуючий трафік

На малюнку показано три періоди вимірювань  $T_1$ ,  $T_2$  і  $T_3$ . Для спрощення розрахунків прийняте, що пікові швидкості на першому і третьому періодах рівні між собою і рівні  $PIR$ , а всі три періоди мають однакову тривалість  $T$ . Враховуючи це, можна обчислити величину пульсації, яка рівна кількості бітів, переданих на періоді пульсації:

$$V = PIR \times T.$$

Таким чином, величина пульсації для періодів  $T_1$  і  $T_3$  рівна  $V$ , а на періоді  $T_2$  - нулю.

Для приведеного прикладу можна підрахувати коефіцієнт пульсації. (Нагадаємо, що він рівний відношенню пікової швидкості на якому-небудь невеликому періоді часу до середньої швидкості трафіку, зміряної на тривалому періоді часу.) Оскільки пікова швидкість на періоді  $T_1$  (або  $T_3$ ) рівна  $V/T$ , а середня швидкість на сумарному періоді  $T_1 + T_2 + T_3$  рівна  $2V/3T$ , то коефіцієнт пульсації рівний  $3/2$ .

Практично будь-який трафік, навіть трафік поточкових застосувань, має не нульовий коефіцієнт пульсації. Просто значення коефіцієнтів пульсації у поточкового і пульсуючого трафіків істотно розрізняються. У додатків з пульсуючим трафіком він зазвичай знаходиться в межах від 2:1 до 100:1, а у поточкових застосувань близький до 1:1. У локальних мережах коефіцієнт пульсації зазвичай вище, ніж в глобальних, оскільки на магістралях глобальних мереж трафік є сумою трафіків багатьох джерел, що по закону великих чисел приводить до згладжування результуючого трафіку.

#### 1.4.2 Чутливість трафіку до затримок пакетів.

Ще один критерій класифікації додатків за типом трафіку - чутливості до затримок пакетів і їх варіацій. Далі перераховані основні типи додатків в порядку підвищення чутливості до затримок пакетів.

1 Асинхронні застосування. Практично немає обмежень на якийсь час затримки (еластичний трафік). Приклад такого застосування - електронна пошта.

2 Інтерактивні застосування. Затримки можуть бути відмічені користувачами, але вони не позначаються негативно на функціональності додатків. Приклад такого - текстовий редактор, що працює з видаленим файлом.

3 Ізохронні застосування. Є поріг чутливості до варіацій затримок, при перевищенні якого різко знижується функціональність застосування. Приклад - передача голосу, коли при перевищенні порогу варіації затримок в 100-150 мс різко знижується якість відтворного голосу, а при  $\geq 450$  втрачається контакт

4 Надчутливі до затримок застосування. Затримка доставки даних

зводить функціональність додатку до нуля. Приклад - додатки, які управляють технічним об'єктом в реальному часі. При запізнюванні управляючого сигналу на об'єкті може відбутися аварія.

Взагалі кажучи, інтерактивність додатку завжди підвищує його чутливість до затримок. Наприклад, ширококомовна розсилка аудіо інформації може витримувати значні затримки передачі пакетів (залишаючись чутливим до варіацій затримок), а інтерактивний телефонний або телевізійна розмова їх не терпить, що добре помітно при трансляції розмови через супутник. Тривалі паузи в розмові вводять співбесідників в оману, часто вони втрачають терпіння і починають чергову фразу одночасно.

Разом з приведеною вище класифікацією, тонко диференціюючою чутливістю додатків до затримок і їх варіацій, існує і більш грубіше ділення додатків за цією ж ознакою на два класи - асинхронні і синхронні. До асинхронних відносять ті застосування, які нечутливі до затримок передачі даних в дуже широкому діапазоні, аж до декількох секунд, а решта всіх застосувань, на функціональність яких затримки впливають істотно, відносять до синхронних застосувань.

Інтерактивні застосування можуть відноситися як до асинхронних (наприклад, текстовий редактор), так і до синхронних (наприклад, відео конференція).

### **1.4.3 Чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів**

Нарешті, останнім критерієм класифікації додатків є їх чутливість до втрат пакетів. Тут зазвичай ділять додатки на дві групи.

2 Додатки, чутливі до втрати даних. Практично всі додатки, що передають алфавітно-цифрові дані (до яких відносяться текстові документи, коди програм, числові масиви і т. п.), володіють високою чутливістю до втрати окремих, навіть невеликих, фрагментів даних. Такі втрати часто ведуть до повного знецінення інших, успішно прийнятої інформації. Наприклад, відсутність хоч би одного байта в коді програми робить її абсолютно непридатною. Всі традиційні мережеві застосування (файловий сервіс, сервіс баз даних, електронна пошта і т. д.) відносяться до цього типу додатків.

2 Додатки, стійкі до втрати даних. До цього типу відносяться багато застосувань, що передають трафік з інформацією про інерційні фізичні процеси. Стійкість до втрат пояснюється тим, що невелика кількість відсутніх даних можна визначити на основі прийнятих. Так, при втраті одного пакету, що несе декілька послідовних вимірів голосу, відсутні виміри при відтворенні голосу можуть бути замінені апроксимацією на основі сусідніх значень. До такого типу відноситься велика частина додатків, що працюють з мультимедійним трафіком (аудіо і відео додатки). Проте стійкість до втрат має свої межі, тому відсоток втрачених пакетів не може бути великим (наприклад, не більше 1 %). Можна відзначити також, що не будь-який мультимедійний трафік такий стійкий до втрат даних, наприклад, скомпресований голос і відео зображення дуже чутливі до втрат, тому відносяться до першого типу додатків.

#### 1.4.4 Класи додатків

Взагалі кажучи, між значеннями трьох характеристик якості обслуговування (відносна Передбаченість швидкості передачі даних; чутливість трафіку до затримок пакетів; чутливість трафіку до втрат і спотворенням пакетів) немає строгого взаємозв'язку. Тобто додаток з рівномірним потоком може бути як асинхронним, так і синхронним, а, наприклад, синхронне застосування може бути як чутливим, так і нечутливим до втрат пакетів. Проте практика показує, що зі всього різноманіття можливих поєднань значень цих трьох характеристик є декілька таких, які охоплюють велику частину використовуваних сьогодні застосувань.

Наприклад, наступне поєднання характеристик додатку «породжуваний трафік - рівномірний потік, додаток ізохронний, стійкий до втрат» відповідає таким популярним застосуванням, як IP-телефонія, підтримка відео конференцій, аудіо віщання через Інтернет. Існують і такі поєднання характеристик, для яких важко привести приклад додатку, наприклад: «породжуваною трафік - рівномірний потік, додаток асинхронний, чуттєве до втрат».

Стійких поєднань характеристик, що описують певний клас додатків, існує не так вже багато. Так, при стандартизації технології АТМ, яка спочатку розроблялася для підтримки різних типів трафіку, було визначено 4 класи додатків: А, В, С і D. Для кожного класу рекомендується використовувати власний набір характеристик QoS, Крім того, для всіх застосувань, не включених ні в один з цих класів, був визначений клас X, в якому поєднання характеристик додатку може бути довільним.

Класифікація АТМ є на сьогодні найбільш детальною і загальною, вона не вимагає від нас знання технологій, використовуваних для передачі цих типів трафіка, тому приведемо її тут (табл. 8.1).

Таблиця 8.1 . Класи трафіку

Клас трафіку	Характеристики
А	Постійна бітова швидкість, чутливість до затримок, передача зі встановленням з'єднання (наприклад, голосовий трафік, трафік телевізійного зображення). Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, затримка, джітер
В	Змінна бітова швидкість, чутливість до затримок, передача зі встановленням з'єднання (наприклад, компресований голос, ком пресування відео зображення). Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, пульсація, середня швидкість передачі даних, затримка, джітер
С	Змінна бітова швидкість, еластичність, передача зі встановленням з'єднання (наприклад, трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли працюють по протоколах зі встановленням з'єднань, - frame relay, X.25, TCP). Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, пульсація, середня швидкість передачі даних
D	Змінна бітова швидкість, еластичність, передача без встановлення з'єднання (наприклад, трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли працюють по протоколах без встановлення з'єднань, - IP/UDP, Ethernet). Параметри QoS не визначені
X	Тип трафіку і його параметри визначаються користувачем

Приведена класифікація додатків лежить в основі типових вимог до параметрів і механізмів забезпечення якості обслуговування в сучасних мережах.

## 2. Первинні та вторинні параметри якості.

### 2.1 Параметри якості

Трьом критеріям класифікації додатків (передбаченість швидкості передачі даних, чутливість до затримок і чутливість до втрат і спотворення) відповідають три групи параметрів, використовуваних при визначенні і завданні необхідної якості обслуговування.

1 Параметри пропускної спроможності. До таких параметрів відносяться середня, максимальна (пікова) і мінімальна швидкості передачі даних.

2 Параметри затримок. Використовується середня і максимальна величини затримок, а також середнє і максимальне значення варіацій затримок, тобто відхилень між пакетних інтервалів в трафіку, що прибуває, в порівнянні з витікаючі.

3 Параметри надійності передачі. Використовується відсоток втрачених пакетів, а також відсоток спотворених пакетів.

При визначенні всіх цих параметрів важливо, на якому періоді і вимірюється даний параметр. Чим менше цей період, тим більше жорсткими є відповідно вимоги якості обслуговування і тим важче для мережі їх витримати. Тому постачальники послуг IP-мереж, які випробовують складнощі із забезпеченням QoS, віддають перевагу говорити в угодах SLA про середньомісячної характеристики., тоді як постачальники послуг мереж frame relay і ATM, що мають в своєму розпорядженні могутні засоби QoS, здатні гарантувати параметри, усереднені на періоді в декілька секунд.

Параметри якості обслуговування можуть бути віднесені до пропонованого трафіку, що породжується додатками користувача. Ці ж параметри можуть характеризувати можливості мережі по обслуговуванню цього трафіку. Хай, наприклад, у користувача є додаток, який породжує рівномірний потік з постійною швидкістю  $N$ . При укладенні угоди SLA з поставником послуг користувач бере на себе зобов'язання, що пропонований трафік і риложення не перевищуватиме максимальну швидкість  $N$ . Постачальник, в свою чергу, гарантує з боку мережі, що мінімальна величина пропускної спроможності, що надається цьому застосуванню, буде не менша  $N$ . Це необхідно для забезпечення прийнятної якості обслуговування трафіку даного додатку.

Для додатків з пульсуючим трафіком якість обслуговування краще всього характеризується середньою швидкістю і максимальною швидкістю, яка потрібна в період пульсації. Зазвичай при цьому обмовляється або максимальний час пульсації, протягом якого додаток передає дані з максимальною швидкістю, або максимальний об'єм даних, який можна передати у вигляді пульсації. Часто використовується також варіант із завданням максимальної і мінімальної меж швидкості. В цьому випадку додатку гарантується пропускна здатність на рівні мінімальної межі, достатня для його задовільного функціонування, а саме застосування зобов'язується не направляти в мережу трафік з швидкістю, що перевищує максимальну межу.

Параметри якості обслуговування зазвичай обмовляються в угоді про рівень обслуговування SLA між користувачем мережі і постачальником послуг. Після

укладення угоди користувач і постачальник послуг повинні належним чином набувати свої програмні і апаратні засоби, щоб вони відпрацьовували обумовлені параметри. Деякі технології дозволяють автоматизувати процес взаємного узгодження параметрів QoS між технікою користувача і устаткуванням постачальника. Наприклад, в технології ATM при встановленні з'єднання ці параметри узгоджуються за допомогою процедури, званою трафік-контрактом.

#### *Висновки*

*1 Залежно від строгості дотримання гарантій забезпечення визначених параметрів обслуговування - пропускної спроможності, затримок, варіацій затримок, рівня втрат пакетів і т.п. - розрізняють наступні типи QoS: обслуговування в міру можливості (best effort), обслуговування з надаванням переваги одного потоку (м'який сервіс QoS) і гарантоване обслуговування (жорсткий сервіс QoS).*

*2 Безліч додатків може бути розділена на класи в залежності від вимог, що пред'являються ними до якості обслуговування. У основу класифікації покладені три основні характеристики трафіку, що породжується додатками: відносна передбаченість швидкості передачі даних чутливість трафіку до затримок пакетів, чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів.*

*3 В угоді про рівень обслуговування (Service Level Agreement, SLA) поставник послуг і його клієнт визначають: параметри якості обслуговування трафіка, які цікавлять споживача і які згоден підтримувати постачальник, методи вимірювання цих параметрів, фінансові зобов'язання обох сторін, правила «кондиціонування» призначеного для користувача трафіку і ін.*

*4 При визначенні і завданні необхідної якості обслуговування в SLA використовуються: параметри пропускної спроможності (середня, максимальна і мінімальна швидкості передачі даних), параметри затримок (середня і максимальна величини затримок, а також середнє і максимальне значення варіацій затримок), параметри надійності передачі (відсоток втрачених пакетів, а також відсоток спотворених пакетів).*

## **2.2 Служба QoS Модель служби QoS**

Мережа - це розподілене середовище, що складається з великої кількості пристроїв

для підтримки різних технологій і протоколів. Тому достатньо складно примусити її дотримувати єдині вимоги по якісному обслуговуванню різних видів трафіку на всьому протязі складеного шляху від одного кінцевого вузла до іншого, тобто «з кінця в кінець» (end-to-end). Навіть забезпечення простої «зв'язності» мережі «з кінця в кінець» для складеної неоднорідної мережі є непростим завданням, яка представляє собою основу функцію класичних засобів стеків протоколів. Завдання ж просування пакетів в такій мережі із заданими параметрами якості обслуговування істотно складніше ніж перша. Особливо якщо в мережі існують численні потоки даних з куп але сумісними характеристиками, наприклад пульсуючий файловий графік і синхронний голосовий.

Для рішення поставлених задач в мережі необхідна служба QoS. Ця служба має розподілений характер так як її елементи повинні бути присутніми у всіх мережних пристроях, що просувають пакети: комутаторах, маршрутизаторів, серверах доступу. З іншого боку, роботу окремих мережних пристроїв та забезпеченню підтримки QoS потрібно скоординувати, щоб якість обслуговування була однорідною уздовж всього шляху, по якому слідує пакети потоку. Тому служба QoS повинна включати також елементи централізованого управління, за допомогою яких адміністратор мережі може погоджено конфігурувати механізми QoS в окремих пристроях мережі.

Базова архітектура служби QoS включає елементи трьох основних типів, представлених на рис.8.3:

1 засоби QoS вузла, що виконують обробку трафіку, що поступає у вузол, відповідно до вимог якості обслуговування;

2 протоколи QoS-сигналізації для координації роботи мережних елементів по підтримці якості обслуговування «з кінця в кінець»;

3 централізовані функції політики, управління і обліку QoS, дозволяють адміністраторам мережі цілеспрямовано впливати на мережеві елементи для розділення ресурсів мережі між різними видами трафіку

### 2.3 Засоби QoS вузла

Засоби QoS вузла являються основним виконавчим механізмом служби QoS, оскільки саме вони безпосередньо впливають на процес просування пакетів між вхідними і вихідними інтерфейсами комутаторів і маршрутизаторів і, отже, визначають внесок даного пристрою в характеристики якості обслуговування мережі. Засоби QoS вузла можуть включати механізми двох типів:

1 механізми обслуговування черг;

2 механізми кондиціонування трафіку.

Механізми обслуговування черг є необхідним елементом будь-якого пристрою, що працює за принципом комутації пакетів. Вони можуть підтримувати різні алгоритми обробки пакетів, які потрапили в чергу, від найпростіших типу FIFO (першим прийшов - першим обслужений) дуже складних, підтримуючих обробку декількох класів потоків, наприклад алгоритмів пріоритетного, або зваженого, обслуговування. За умовчанням в мережних пристроях діє алгоритм черги FIFO, але він достатній тільки для реалізації обслуговування з максимальними зусиллями, а для підтримки «дійсних» сервісів QoS потрібні складніші механізми.

Механізми другого типу (кондиціонування трафіку) можуть реалізовуватися або не реалізовуватися в мережному вузлі, підтримуючому QoS. Річ у тому, що забезпечення потрібної якості обслуговування завжди означає створення таких вимог, коли швидкість просування трафіку потоку узгоджується із швидкістю надходження цього трафіку у вузол мережі. Черги виникають в ті періоди часу, коли швидкість надходження трафіку стає більше швидкості його пересування. Механізми обслуговування черг розраховані на роботу якраз в періоди перевантаження і потрібні для того, щоб потоки якомога менше чи страдала від існування таких періодів. Затримки від очікування в чергах повинні укладатися в

параметри потоку. Механізми кондиціонування трафіку вирішують задачу створення умов якісного обслуговування трафіку іншим способом - за рахунок зменшення швидкості надходження потоку :в даний вузол настільки, щоб вона завжди залишалася менше, ніж швидкість просування цього потоку.

Механізм кондиціонування трафіку зазвичай включає виконання декількох їх функцій.

1 Класифікація трафіку. Ця функція виділяє із загальної послідовності пакетів, що поступають в пристрій, пакети одного потоку, що має загальні вимоги до якості обслуговування. Класифікація може виконуватися на основі різних формальних ознак пакету - адрес джерела і призначення, ідентифікаторів додатків, значення пріоритету пакета, значення мітки потоку.

2 Профілізація трафіка на основі правил політики (policing). Для кожного вхідного потоку є відповідний йому набір параметрів QoS. Цей набір часто називають профілем трафіка Профілювання трафіку має на увазі перевірку відповідності кожного вхідного потоку параметрам його профілю. У разі порушення параметрів профілю (наприклад, перевищення тривалості пульсації або середньої швидкості) відбувається відкидання або маркіровка пакетів цього потоку. Відкидання деяких пакетів знижує інтенсивність потоку і приводить його параметри у відповідність з указаними в профілі. Маркіровка пакетів без відкидання потрібна для того, щоб пакети всі були обслужені даним вузлом (або подальшими по потоку), але з якістю обслуговування, відмінним від указанного в профілі (наприклад, зі збільшеним значенням затримки). Для перевірки відповідності вхідного трафіку заданому профілю механізм кондиціонування виконує вимірювання параметрів потоку. Для цього зазвичай використовується один з відомих алгоритмів, наприклад алгоритм «дірявого відра» (leaky bucket).

3Формування трафіку (shaping). Ця функція призначена для додання минулому профілізацію трафіку потрібної тимчасової «форми». В основному за допомогою даної функції прагнуть згладити пульсації трафіку, щоб вихід пакетів з пристрою був більш рівномірним, ніж вхід. Згладжування пульсацій зменшує черги в мережних пристроях, які оброблятимуть трафік далі по потоку. Його також доцільно використовувати для відновлення тимчасових співвідношень трафіку додатків, працюючих з рівномірними потоками, наприклад голосових застосувань.

Механізми кондиціонування трафіку можуть підтримуватися кожним вузлом мережі або реалізовуватися тільки в прикордонних пристроях. Останній варіант часто використовують постачальники послуг, кондиціонуючи трафік своїх клієнтів.

Мережі з комутацією пакетів були спочатку розроблені для передачі асинхронного трафіку, так що із затримками можна було миритися. Проте сьогодні, коли мережі передачі даних почали переносити різні типи трафіку, у тому числі і чутливого до затримок, питання забезпечення показників QoS вийшли на перше місце.

Для розуміння механізмів підтримки QoS необхідно досліджувати процес утворення черг в мережних пристроях і зрозуміти найбільш істотні чинники, що впливають на довжину черги.

Існує гілка прикладної математики, предметом якої є процеси утворення черг. Ця дисципліна так і називається - теорія черг. Ми не заглиблюватимемося в математичні основи цієї теорії, приведемо тільки деякі її виводи, істотні для проблеми QoS, що розглядається нами.

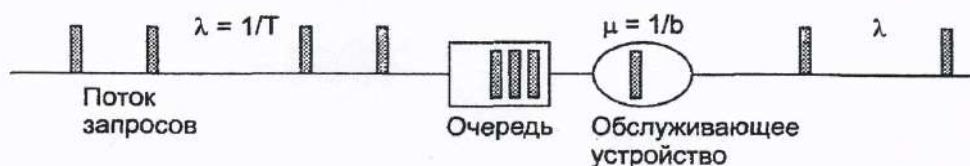


Рис. 8.4. Модель M/M/1

На рис. 8.4 показана найбільш проста модель теорії черг, відома під назвою M/M/1.

Основними елементами моделі є:

- 1 вхідний потік абстрактних заявок на обслуговування;
- 2 буфер;
- 3 обслуговуючий пристрій;
- 4 вихідний потік обслужених заявок.

Заявки поступають на вхід буфера у випадкові моменти часу. Якщо у момент надходження заявки буфер порожній і обслуговуючий пристрій вільний, то заявка відразу ж передається в цей пристрій для обслуговування. Обслуговування також триває випадковий час.

Якщо у момент надходження заявки буфер пустий, але обслуговуючий пристрій зайнятий обслуговуванням заявки, що раніше поступила, то заявка чекає його завершення в буфері. Як тільки обслуговуючий пристрій завершує обслуговування чергової заявки, вона передається на вихід, а прилад вибирає з буфера наступну заявку (якщо буфер не порожній). Що виходять з обслуговуючого пристрою заявки утворюють вихідний потік. Буфер вважається нескінченним, тобто заявки ніколи не втрачаються через те, що вичерпана ємність буфера.

Якщо прибула заявка застає буфер не порожнім, то вона стає в чергу і чекає обслуговування. Заявки вибираються з черг порядку поступлення, тобто дотримується дисципліна обслуговування першим прийшов – першим обслужений (First-In, First-Out, FIFO).

Теорія черг дозволяє оцінити для цієї моделі середню довжину черги і середній час очікування заявки в черзі залежно від характеристик вхідного потоку і часу обслуговування.

Тут 1 означає, що моделюється один обслуговуючий пристрій, перша буква M позначає тип розподілу інтервалів надходження заявок (марковське розподілення друга - тип розподілу значень часу обслуговування (теж марковське).

Вважатимемо, що нам відоме, що середній час між проступанням заявок рівний T. Це означає, що інтенсивність надходження заявок, яка традиційно позначається в теорії черг символом  $\lambda$ , рівна

$$\lambda = 1/T \text{ заявок в секунду.}$$

Випадковий процес надходження заявок описується в цій моделі функцією розподілу інтервалів між надходженнями заявок. Для спрощення отримання



компактних аналітичних результатів зазвичай вважають, що ці інтервали описуються так званим марковським розподілом (інша назва - пуассонівське), щільність якого показана на рис. 8.5 З малюнка видно, що вхідний потік є істотно пульсуючим, оскільки є не нульова вірогідність того, що інтервал між заявками буде дуже невеликим, близьким до нуля, а також того, що він буде дуже великим. Середнє відхилення інтервалів також рівне  $T$ , так що стандартне відхилення рівне  $T/T = 1$ .

Також вважатимемо, що середній час обслуговування заявки рівний  $B$ . Це означає, що обслуговуючий прилад здатний просувати заявки на вихід з інтенсивністю  $1/B = \mu$ . Знову ж таки для отримання аналітичного результату вважають, що час обслуговування - це випадкова величина з пуассонівською щільністю розподілу.

Ухвалення таких припущень дає простий результат для середнього часу очікування заявки в черзі, яке ми позначимо  $w$ :

$$w = p / (1 - p)$$

Тут через  $p$  позначено відношення  $\lambda / \mu$

Параметр  $p$  називають коефіцієнтом використання (utilization) обслуговуючого приладу. Для будь-якого періоду часу цей показник рівний відношенню часу зайнятості обслуговуючого приладу до величини цього періоду.

Залежність середнього часу очікування заявки  $w$  від  $p$  ілюструє рис. 8.6. Як видно з поведінки кривої, параметр  $p$  грає ключову роль в утворенні черги. Якщо значення  $p$  близько до нуля, то і середній час очікування дуже близько до нуля. А це означає, що заявки майже ніколи не чекають обслуговування буфері (у момент їх приходу він виявляється порожнім), а відразу потрапляють в обслуговуючий пристрій. І навпаки, якщо  $p$  наближається до 1, то час очікування росте дуже швидко і нелінійно (і в межі рівно нескінченності). Така поведінка черги інтуїтивна зрозуміло, адже  $p$  - це відношення середньої інтенсивності вхідного потоку до середньої інтенсивності його обслуговування. Чим ближче середні значення інтервалів між пакетами до середнього часу обслуговування тим складніше обслуговуючому пристрою справлятися з навантаженням.

За допомогою моделі M/M/1 можна моделювати мережу з комутацією пакетів рис..8.7.

Хай вхідний потік заявок грає роль потоку пакетів, що поступають на вхід інтерфейсу комутатора, буфер моделі відповідає буферу вхідного інтерфейсу комутатора, а абстрактний обслуговуючий пристрій моделює процесор, оброблювальний пакети і що направляє їх на вихідний інтерфейс. Отже, середній час обслуговування заявки відповідає середньому часу просування пакету процесором комутатора з вхідного буфера у вихідний канал.

Зрозуміло, що приведена модель дуже спрощено описує процеси, які трапляються в мережі. Вона не враховує багатьох особливостей обробки пакетів, на-приклад кінцевого розміру буфера комутатора, ненульового часу проступання пакету в буфер і інших. Проте вона дуже корисна для розуміння основних чинників, що впливають на величину черги.

Мережні інженери добре знайомі з графіком, представленим на рис. 8.6. Вони інтерпретують цей графік як залежність затримок в мережі від її завантаження. Параметр  $\rho$  моделі відповідає коефіцієнту використання мереженого ресурсу, який бере участь в передачі трафіку, тобто інтерфейсу комутатора, процесора комутатора, каналу або середовища, що розділяється.

У приведеному графіку є і щось несподіване. Важко уявити, що обслуговуючий пристрій (мережений ресурс) практично перестає справлятися з своїми обов'язками, коли його коефіцієнт використання наближається до 1. Адже в цьому випадку навантаження не перевищує його можливостей, а тільки наближується до цієї межі. Інтуїтивно не дуже зрозуміла також причина існування черг при значеннях  $\rho$  в околицях 0,5. Інтенсивність обробки трафіку удвічі перевищує інтенсивність навантаження, а черги існують!

Такі парадоксальні на перший погляд результати характерні для систем, в яких протікають випадкові процеси. Оскільки  $A, i, c$  - це середні значення інтенсивності й потоків на великих проміжках часу, то на невеликих проміжках часу вони можуть істотно відхилитися від цих значень. Черга створюється на тих проміжках, на яких інтенсивність надходження пакетів набагато перевершує інтенсивність обслуговування.

Перевантаження ресурсів може привести до повної деградації мережі, коли, не дивлячись на те що мережа передає пакети, корисна швидкість передачі даних виявляється рівною нулю. Це відбувається в тому випадку, якщо затримки доставки всіх пакетів  $f$  перевершують деякий поріг, і пакети по тайм-ауту відкидаються вузлом призначення, як застарілі. Якщо ж протоколи, що працюють в мережі, використовують надійні процедури передачі даних на основі квітування і повторної передачі загублених пакетів, то процес перевантаження наростатиме лавино подібно.

Існує ще один важливий параметр; надаючи безпосередній вплив в мережах з комутацією пакетів. Цим параметром є варіація інтервалів вхідного потоку пакетів, тобто пульсація вхідного трафіку. Ми аналізували поведінку моделі теорії черг, що вхідний потік описується пуассоновським розподілом, котре має досить велике стандартне відхилення варіації (нагадаємо, що середня варіація його рівна  $T$  при середньому значенні інтервалу  $T$ , а коефіцієнт варіації рівний 1). А що буде, якщо варіація інтервалів вхідного потоку буде менша? Або вхідний потік буде над пульсуючим?

На жаль, моделі теорії черг не дають для цих випадків простих аналітичних залежностей, подібних до формули (1). Тому для отримання результатів доводиться застосовувати методи імітації чого моделювання мереж або проводити вимірювання в реальній мережі.

На рис. 8.8 показано сімейство залежностей  $w$  від  $\rho$ , отриманих для різних значень коефіцієнта варіації  $CV$  вхідного потоку. Імітаційна модель враховує фіксовану затримку в мережі. Одна з кривих, у якої  $CV = 1$ , відповідає пуассоновському вхідному потоку. З малюнка видно, що чим менше пульсує вхідний потік ( $CV$  наближається до нуля), тим менше проявляється ефект лавиноподібного утворення черги при наближенні коефіцієнта завантаження

ресурсу до 1. І навпаки, чим більше CV, тим раніше (при менших значеннях  $\rho$ ) починає цей ефект виявлятися. З поведінки графіків на малюнку можна зробити два висновки.

Для оцінки значень затримок в чергах на комутаторах мережі недостатньо інформації про коефіцієнт завантаження  $\rho$ , необхідно також знати параметри пульсації трафіку.

Для зниження рівня затримок потрібно знижувати значення  $\rho$  і згладжувати трафік.

Механізми забезпечення QoS можуть бути:

### 1. Робота в недовантаженому режимі

Отже, через мережу одночасно протікає велика кількість потоків. Кожен з них вимагає обслуговування відповідно до певних вимог QoS. Кожен потік проходить на шляху проходження від одного кінцевого вузла до іншого через декілька комутаторів, і в кожному з комутаторів він проходить через дві черги - до процесора комутатора і до вихідного каналу комутатора. Ми вже з'ясували, що головним чинником, що впливає на величину затримок, а значить, і на якість обслуговування, є коефіцієнт використання ресурсу. Тому для забезпечення певної якості обслуговування важливо щоб коефіцієнт використання кожного ресурсу (тобто процесорів і комутаторів), який обслуговує потік на шляху його проходження, не перевищував певної величини.

Найпростішим способом забезпечення вимог QoS для всіх потоків являється робота мережі в недовантаженому режимі, коли всі комутатори і канали працюють на 20-30 % від своєї максимальної продуктивності.

Проте це зводить «нанівець» основну гідність мережі з комутацією пакетів, а саме її високу продуктивність при передачі пульсуючого трафіку.

### 2 Введення різних класів обслуговування

Єдино прийнятним для практики є забезпечення якості обслуговування в навантаженій мережі. Для спрощення розуміння поки ділитимемо всі потоки на два класи - чутливий до затримок (трафік реального часу, наприклад голосовий) і еластичний, такий, що допускає великі затримки, але чутливих до втрат даних.

Ми точно не знаємо залежність затримок від коефіцієнта використання ресурсу, але знаємо загальний вид цієї залежності. Якщо ми забезпечимо для чутливого до затримок трафіку коефіцієнт завантаження кожного ресурсу не більше 0,2, то, очевидно, що затримки в кожній черзі будуть невеликими і швидше за все прийнятними для багатьох типів додатків цього класу. Для еластичного трафіку, слабо чутливого до затримок, можна допустити більш високий коефіцієнт завантаження, але не більше 0,9. Для того, щоб пакети цього класу не втрачалися, потрібно передбачити для них буферну пам'ять, достатню для зберігання всіх пакетів періоду пульсації. Ефект від такого розподілу завантаження ресурсу ілюструє рис. 8.9

Затримки чутливого до затримок трафіку рівні  $w_s$ , а затримки еластичного трафіку -  $w_c$

Щоб добитися різних коефіцієнтів використання ресурсів для різних класів трафіку, потрібно в кожному комутаторі для кожного ресурсу підтримувати дві різні

черги. Алгоритм вибірки пакетів з черг повинен віддавати перевагу черзі чутливих до затримок пакетів. Якби всі пакети першої черги обслуговувалися пріоритетно, а пакети другої черги - тільки тоді, коли перша черга порожня, то для трафіку першої черги трафік другої черги фактично перестав би існувати. Тому якщо відношення середньої інтенсивності пріоритетного трафіку  $A_j$  до продуктивності ресурсу  $\mu$  рівне 0,2, то і коефіцієнт завантаження для нього рівний 0,2. А ось для еластичного трафіку, пакети якого завжди чекають обслуговування пріоритетних пакетів, коефіцієнт завантаження підраховується по-іншому. Якщо середня інтенсивність еластичного трафіку рівна  $\lambda_2$ , то для нього ресурс буде завантажений на  $(\lambda_1 + \lambda_2)/\mu$ . Отже якщо ми хочемо, щоб для еластичного трафіку коефіцієнт завантаження склався 0,9, то його інтенсивність повинна знаходитися із співвідношення  $\lambda_2/\mu = 0,7$ .

Основна ідея, лежача в основі всіх методів підтримки характеристик QoS, полягає в наступному: загальна продуктивність кожного ресурсу повинна бути розділена між різними класами трафіку нерівномірно

Можна ввести більш ніж два класи обслуговування і старатися, щоб кожен клас працював на своїй частині кривої затримок. Якщо така задача вирішена, то можна забезпечити поліпшення характеристик QoS за рахунок інших методів, наприклад знижуючи пульсацію трафіку. Залишилося з'ясувати, яким чином можна забезпечити такі умови для різних класів трафіку в кожному вузлі мережі.

Це завдання вирішується протягом всього часу існування пакетних мереж, тобто вже більше тридцяти років. Довгий час пакетні мережі передавали тільки еластичний трафік, тому основними вимогами QoS були мінімізація втрат пакетів і утримання коефіцієнта навантаження кожного ресурсу мережі не вище 0,9. Методи, вирішальні це завдання, носять назву методів контролю перевантаження.

З появою на початку 90-х чутливого до затримок трафіку ситуація ускладнилась і почалися пошуки нових методів. Власне, термін «якість обслуговування» з'явився саме в цей час, відображаючи детальніші і диференційовані вимоги різних типів трафіку до мережі.

### **3. Еталонні з'єднання та можливі процеси подій у мережах.**

Основу засобів підтримки QoS в мережних елементах складають черги і алгоритми обробки цих черг. Ці механізми використовуються в будь-якому мережному пристрої, яке працює на основі механізму комутації пакетів, - в маршрутизаторі, в комутаторі локальної або глобальної мережі, в кінцевому вузлі виключення складають тільки повторювачі, які пакетів не розрізняють, працюють на рівні потоків бітів).

Черга потрібна для обробки періодів тимчасових перевантажень, коли мережний пристрій не може передавати пакети на вихідний інтерфейс в тому темпі у якому вони поступають для виконання такого просування. Якщо причиною перевантаження є процесорний блок мережного пристрою, то для тимчасового зберігання необроблених пакетів використовується вхідна черга, тобто черга, пов'язана з вхідним інтерфейсом. Би тому ж випадку, коли причина перевантаження

полягає в обмеженій швидкості вихідного інтерфейсу (а вона завжди обмежена швидкістю підтримуваного протоколу), то пакети тимчасово зберігаються у вихідній черзі.

Головним по ступеню впливу на виникнення черг чинником є коефіцієнт навантаження пристрою (utilization) - відношення середньої інтенсивності вхідного трафіку пристрою до середньої інтенсивності просування пакетів на вихідний інтерфейс.

Якщо коефіцієнт навантаження більше одиниці, значить, інтенсивність вхідного трафіку постійно вище, ніж інтенсивність просування пакетів на вихідний інтерфейс. Тому черга в пристрої існує завжди, її швидкість намагалась йти до нескінченності, коли б не кінцевий розмір буфера, відведеного під зберігання пакетів, що стоять в черзі. Але і у тому випадку, коли коефіцієнт навантаження менше одиниці, черга теж може існувати, більш того, мати достатньо значну середню довжину.

Це відбувається тоді, коли є деяка варіація інтервалів поступлення пакетів в пристрій - чим більше ця варіація, тим більше середня довжина черги. Варіація інтервалів надходження пакетів є другим важливим чинником, що впливає на поведінку черг, після коефіцієнта навантаження. При пульсуючому характері багатьох типів трафіку комп'ютерних мереж, коли коефіцієнт пульсацій рівний 100:1 або більш, черги можуть бути значними. Якщо ж ця варіація відсутня, тобто пакети прибувають строго через певні проміжки часу, як це відбувається у трафіку типу рівномірного потоку, то черга при коефіцієнті завантаження, меншому 1, не виникає. Вплив пульсацій трафіку на появу затримок обслуговування добре відомий користувачам сегментів Ethernet, що розділяються. Навіть при значеннях коефіцієнта навантаження сегменту 0,5 затримки доступу до мережі бувають значними, що примушує використовувати ці мережі з коефіцієнтом навантаження сегменту не більше 0,3.

Наслідком виникнення черг являється погіршення якості обслуговування трафіку. Утворюються затримки передачі пакетів, що носять до того ж не постійний характер, а це означає, що ростуть варіації затримок. Крім того, при тривалих пульсаціях черги можуть зростати настільки, що пакети не поміщаються в буферну пам'ять мережних пристроїв і втрачаються.

Оцінка можливої довжини черг в мережених пристроях була б дуже корисною, якби допомагала оцінити параметри якості обслуговування при відомих характеристиках трафіку. Проте поведінку черг є імовірнісний процес, на який впливає багато чинників, особливо при складних алгоритмах обробки черг, що використовують пріоритети або зважене обслуговування різних потоків. Хоча для аналізу черг і розроблена спеціальна область прикладної математики - теорія масовому обслуговування (queuing theory), - вона може дати кількісні оцінки тільки дуже простих ситуацій, не відповідних реальним умовам роботи мережних пристроїв. Тому служба QOS використовує для підтримки гарантованого рівня QoS достатньо складну модель, вирішальну завдання комплексно. Це робиться за допомогою наступних методів:

1 за рахунок попереднього резервування смуги пропускання для трафіку з відомими параметрами (наприклад, значеннями середньої інтенсивності і величини пульсації);

2 Про примусової профілізації вхідного трафіку, що дозволяє підтримують коефіцієнт навантаження пристрою на потрібному рівні;

3 використання складних алгоритмів управління чергами.

Найчастіше в маршрутизаторах і комутаторах застосовуються наступні алгоритми обробки черг:

4 традиційний алгоритм FIFO;

5 пріоритетне обслуговування (Priority Queing), яке також називають «подавляючим»;

6 зважене обслуговування (Weighted Queing, WQ).

Кожен алгоритм розроблявся для вирішення певних завдань і специфічним чином впливає на якість обслуговування різних типів трафіка в мережі. Можливо і комбіноване застосування цих алгоритмів.

### **3.1 Традиційний алгоритм FIFO**

Принцип традиційного алгоритму FIFO полягає в тому, що у разі перевантаження пакети поміщаються в чергу, а при припиненні перевантаження передаються на вихід в тому порядку, в якому поступили, тобто «першим прийшов - першим пішов» (First In - First Out, FIFO). У всіх пристроях з комутацією пакетів - це алгоритм обробки черг за умовчанням. Гідністю його являється простота реалізації і відсутність потреби в конфігурації. Та все ж він має і корінний недолік - неможливість диференційованої обробки пакетів різних потоків. Всі пакети стоять в загальній черзі на рівних підставах - і пакети чутливого до затримок голосового трафіка, і пакети нечутливого до затримок, але дуже інтенсивного трафіку резервного копіювання, тривалі пульсації якого можуть надовго затримати голосовий пакет.

Черги FIFO необхідні для нормальної роботи мережних пристроїв, але вони недостатні для підтримки диференційованої якості обслуговування.

### **3.2 Пріоритетне обслуговування.**

Алгоритми пріоритетного обслуговування дуже популярні в багатьох областях обчислювальної техніки, зокрема в операційних системах, коли одним додатком потрібно віддати перевагу перед іншими при обробці їх в мультипрограмному змішанні. Застосовуються ці алгоритми і для переважної по порівнянню з іншими обробки одного класу трафіку

Механізм пріоритетного обслуговування заснований на розділенні всього мережного трафіку на невелику кількість класів і подальшого призначення кожному класу деякої числової ознаки - пріоритету.

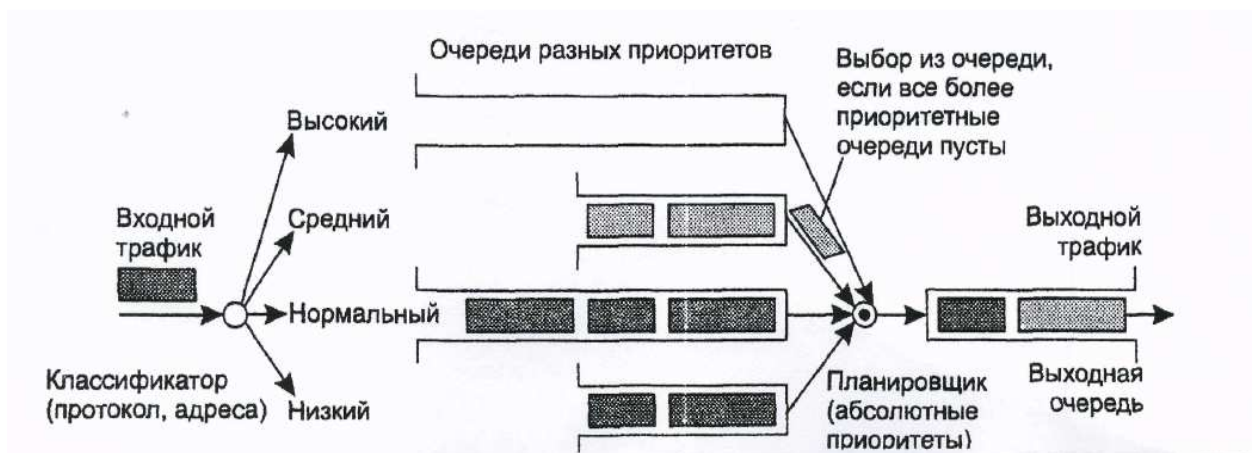
Класифікація трафіку є окремим завданням. Пакети можуть розбиватися на пріоритетні класи на підставі різних ознак: адреси призначення, адреси джерела, ідентифікатора додатку, що генерує цей трафік, будь-яких інших комбінацій ознак,

які містяться в заголовках пакетів. Правила класифікації пакетів є частиною політики адміністрування мережі.

Точка класифікації трафіку може розміщуватися в кожному комунікаційному пристрої. Рішення, що більш масштабується рішенням - розміщення функцій класифікації трафіку в одному або декількох пристроях, розташованих на межі мережі (наприклад, в комутаторах корпоративної мережі, до яких підключаються комп'ютери користувачів, або у вхідних маршрутизаторах мережі постачальника послуг). В цьому випадку необхідне спеціальне поле в пакеті, якому можна запам'ятати призначене значення пріоритету, щоб їм могла скористатися решта мережних пристроїв, оброблювальних трафік після класифікуючого пристрою. Таке поле є в заголовку багатьох протоколів. У тих же випадках, коли спеціального поля пріоритету в заголовку немає, розробляється додатковий протокол, який вводить новий заголовок з таким полем (так відбулося, наприклад, з протоколом Ethernet).

Пріоритети можуть призначатися не тільки комутатором або маршрутизатором, але і додатком на вузлі-відправнику. Необхідно також враховувати, що якщо в мережі відсутня централізована політика призначення пріоритетів, кожен мережний пристрій може не погодитися з пріоритетом, призначеним даному пакету в іншій точці мережі. В цьому випадку воно переписує значення пріоритету у відповідності з локальною політикою, прийнятою безпосередньо на даному пристрої.

У мережному пристрої, що підтримує пріоритетне обслуговування, є декілька черг (буферів), по одній для кожного пріоритетного класу. Пакет, що поступив в період перевантажень, поміщається в чергу, відповідну його пріоритетному класу<sup>1</sup>. На рис. 8.10 приведений приклад використання чотирьох пріоритетних черг з високим, середнім, нормальним і низьким пріоритетом. До тих пір, поки з пріоритетнішої черги не будуть вибрані всі наявні в ній пакети, пристрій не переходить до обробки наступною, менше пріоритетною черги. Тому пакети з низьким пріоритетом обробляються тільки тоді, коли порожні всі вищестоящі черги: з високим, середнім і нормальним пріоритетами.



Розмір буфера мережного пристрою визначає максимальну довжину черги чекаючи обслуговування пакетів, якщо пакет поступає при заповненому буфері, то

він просто відкидається. Зазвичай за умовчанням всім пріоритетним чергам відводяться однакові буфери, але багато пристроїв вирішують адміністратору призначати кожній черзі буфер індивідуального розміру. Розмір буфера визначається в ідеальному випадку так, щоб його вистачало з деяким запасом для зберігання черги середньостатистичної довжини. Проте встановити це значення достатнє складно, оскільки воно змінюється залежно від навантаження мережі, тому потрібне постійне і тривале спостереження за роботою мережі. У загальному випадку, чим вище значущість трафіку для підприємства, чим більше інтенсивність і пульсації, тим більший розмір буфера потрібен цьому трафіку. На прикладі, приведеному на рис. 8.10 для трафіку вищого і нормального пріоритету вибрані великі розміри буферів, а для решти двох класів - менші. Мотиви ухваленого рішення для вищого пріоритету очевидні, а трафік нормального пріоритету має, очевидно, високу інтенсивність і значний коефіцієнт пульсацій.

Пріоритетне обслуговування черг забезпечує висока якість обслуговування для пакетів з найпріоритетнішої черги. Якщо середня інтенсивність їх надходження в пристрій не перевершує пропускну спроможність вихідного інтерфейсу (і продуктивності внутрішніх просуваючи блоків самого пристрою), то пакети вищого пріоритету завжди отримують ту пропускну спроможність, яка їм потрібна. Рівень затримок високо пріоритетних пакетів також мінімальний. Проте він не нульовий і залежить в основному від характеристик потоку цих пакетів - чим вище за пульсацію потоку і його інтенсивність, тим імовірніше виникнення черги, утвореної пакетами даного високо пріоритетного потоку. Трафік решти всіх пріоритетних класів майже прозорий для пакетів вищого пріоритету. Слово «майже» відноситься до ситуації, коли високо пріоритетний пакет вимушений чекати завершення обслуговування низько пріоритетного пакету, якщо його прихід співпадає за часом з початком просування низько пріоритетного пакету на вихідний інтерфейс.

Що ж до решти пріоритетних класів, та якість їх обслуговування буде нижча, ніж у пакетов-самого ішого пріоритету, причому рівень зниження може бути дуже істотним. Якщо коефіцієнт навантаження вихідного інтерфейсу, визначуваний тільки трафіком вищого пріоритетного класу, наближається в якийсь період часу до одиниці, то трафік решти класів просто на цей час замерзають. Тому пріоритетне обслуговування зазвичай застосовується для класу трафіку, чутливого до затримок, маючого невелику інтенсивність. За таких умов обслуговування цього класу не дуже ущемляє обслуговування решти трафіку. Наприклад, голосовий трафік чутливий до затримок, але його інтенсивність зазвичай не перевищує 8-16 Кбит/с, так що при призначенні йому вищого пріоритету збиток решті класів трафіку буде не дуже значним.

Проте в мережі можуть спостерігатися і інші ситуації. Наприклад, відео трафік також вимагає пріоритетного обслуговування, але має набагато більше високу інтенсивність. Для таких випадків розраховані алгоритми обслуговування черг, що дають низько пріоритетному трафіку деякі гарантії навіть в періоди підвищення інтенсивності високо пріоритетного трафіку.

Уважний читач, очевидно, вже звернув увагу на те, що при описанні роботи пріоритетних черг фігурували не окремі потоки, а класи трафіку. Це важлива



особливість, яка відноситься не тільки до пріоритетних алгоритмів, але і до багатьом іншим механізмам підтримки якості обслуговування.

Мережа може обслуговувати трафік з різним ступенем гранулярності. Окремий потік є мінімальною одиницею обслуговування, яку приймають до уваги механізми забезпечення заданих параметрів QoS. Якщо ми забезпечуємо кожному потоку власні параметри QoS, то це підтримання якості обслуговування на рівні потоків. Якщо ми об'єднуємо декілька потоків в єдиний потік і перестаємо розрізняти окремі потоки забезпеченні параметрів QoS, то це підтримка якості обслуговування на рівні класів трафіку. Такі класи також називають агрегатами трафіку.

### 3.3 Зважені черги

Алгоритм зважених черг розроблений для того, щоб можна було передоставити всім класам трафіку певний мінімум пропускної спроможності або гарантувати деякі вимоги до затримок. Під вагою даного класу розуміється відсоток такою, що надається класу трафіку пропускної спроможності від повної пропускної спроможності вихідного інтерфейсу.

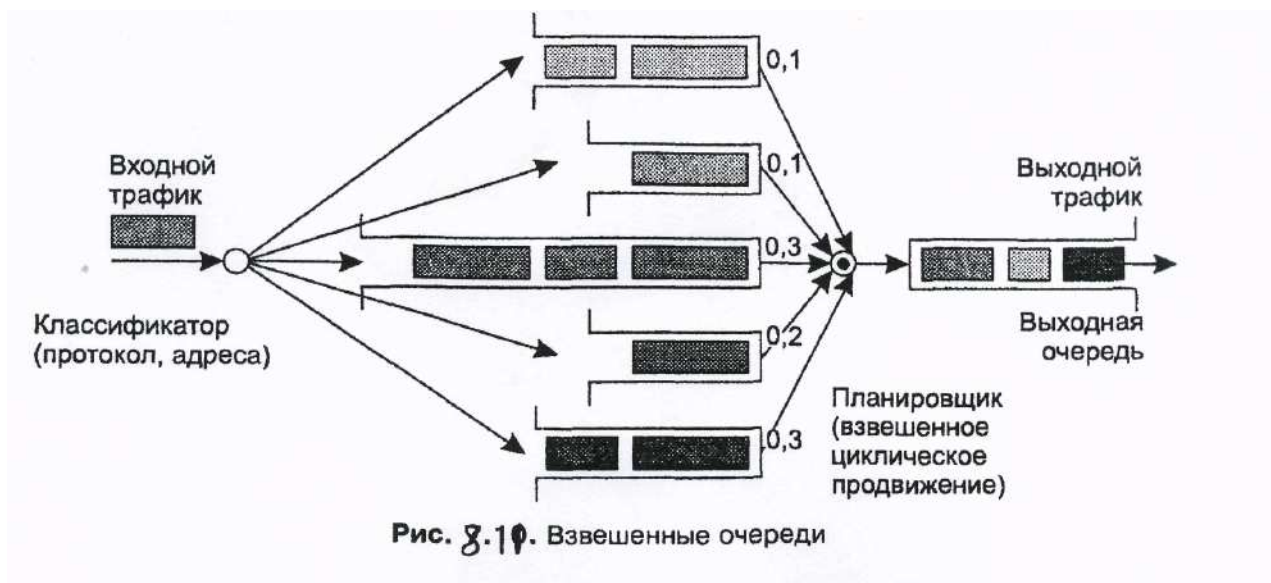
При зваженому обслуговуванні так само, як при пріоритетному, трафік ділиться на декілька класів, і для кожного класу ведеться окрема черга пакетів. Але з кожною чергою зв'язується не пріоритет, а відсоток пропускної спроможності ресурсу, що гарантується даному класу трафіку при перевантаженнях цього ресурсу. Для вхідного потоку таким ресурсом є процесор, а для вихідного потоку (після виконання комутації) - вихідний інтерфейс.

#### *Приклад*

Показане на рис. 8.12 пристрій для 5 класів трафіку підтримує 5 черг до вихідного інтерфейсу комутатора. Цим чергам при перевантаженнях виділяється відповідно 10 %, 10%, 30 %, 20 % і 30 % пропускній спроможності вихідного інтерфейсу.

Досягається поставлена мета тим, що черги обслуговуються послідовно і циклічно, і в кожному циклі обслуговування з кожної черги вибирається таке число байтів, яке відповідає вазі даної черги. Наприклад, якщо цикл перегляду черг в даному прикладі рівний одній секунді, а швидкість вихідного інтерфейсу складає 100 Мбит/с, то при перевантаженнях в кожному циклі першої черги приділяється 10 % часу, тобто 100 мс і вибирається 10 Мбіт даних, з другої - теж 10 Мбіт, з третьої - 30 Мбіт, з четвертої - 20 Мбіт, з п'ятої - 30 Мбіт.

В результаті кожному класу трафіку дістається гарантований мінімум пропускної здатності, що у багатьох випадках є бажанішим результатом, ніж придушення низько пріоритетних класів високо пріоритетним.



ми, а не бітами, то реальне розподілення пропускної спроможності між класами трафіку завжди трохи відрізняється від планованого. Наприклад, замість 10 % перший клас трафіку може отримати при перевантаженні 9 або 12 %. Чим більше час циклу, тим точніше дотримуються необхідні пропорції між класами трафіку, оскільки з кожної черги вибирається велике число пакетів і вплив розміру кожного пакету усереднюється.

З іншого боку, тривалий цикл приводить до великих затримок передачі пакетів. Наприклад, при вибраному нами для прикладу циклі в одну секунду затримка може скласти одну секунду і більше - адже арбітр повертається до кожної черги не частіше, ніж раз в секунду, крім того, в черзі може знаходитись більш за один пакет. Тому при виборі часу циклу потрібно забезпечити баланс між точністю дотримання пропорцій пропускної спроможності і прагненням до зменшення затримки.

Для нашого прикладу час циклу в 1000 мкс є прикладом такого балансу. З одного боку, воно забезпечує обслуговування черги кожного класу кожні 1000 мкс, а значить - нижчий рівень затримок. З іншого боку, цього час досить, щоб вибрати з кожної черги в середньому по декілька пакетів (першій черзі в нашому прикладі відводитиметься 100 мкс, що достатньо для передачі у вихідний канал одного пакету Fast Ethernet або десяти пакетів Gigabit Ethernet).

На рівень затримок і варіації затримок пакетів для деякого класу трафіку при зваженому обслуговуванні в значній мірі впливає коефіцієнт використання. В цьому випадку коефіцієнт підраховується як відношення інтенсивності вхідного трафіку класу до пропускної спроможності, виділеної цьому класу відповідно до його ваги. Наприклад, якщо ми виділили першій черзі 10 % від загальної пропускної спроможності вихідного інтерфейсу, тобто 10 Мбит/с, а середня інтенсивність потоку, який потрапляє в цю чергу, рівна 3 Мбит/с, то коефіцієнт використання для цього потоку складе  $3/10 = 0,3$ . Залежність на рис. 8.6 показує, що затримки при такому значення коефіцієнта використання будуть незначними. Якби інтенсивність вхідного потоку цієї черги була 9 Мбит/с, то черги були б значними, а при перевищенні межі 10 Мбит/с частина пакетів потоку постійно б відкидалася із-за переповнювання черги.

Якісна поведінка черги і, відповідно, затримок тут виглядає приблизно так само, як і у разі черги FIFO - чим менше коефіцієнт загрузки, тим менше середня довжина черги і тим менше затримки.

Як і для пріоритетного обслуговування, при зваженому обслуговуванні адміністратор може призначати різним класам черг буфери різних розмірів. Зменшення розмірів буферів для черг веде до зростання числа втрат пакетів при перевантаженнях, та зате знижує час очікування для тих пакетів, які не були відкинуті і потрапили в чергу.

Існує також такий вид зваженого обслуговування, як зважене справедливе обслуговування (Weighted Fair Queuing, WFQ). У разі подібного обслуговування пропускна спроможність ресурсу ділиться між всіма потоками порівну, тобто «справедливо».

#### Увага

Зважене обслуговування забезпечує необхідні співвідношення між інтенсивностями трафіку різних черг тільки в періоди перевантажень, коли кожна черга постійно заповнена. Якщо ж яка-небудь з черг порожня (тобто для трафіку даного класу поточний період не є періодом перевантаження), то при перегляді черг вона пропускається, і її час обслуговування розподіляється між рештою черг в відповідності з їх вагою. Тому в окремі періоди трафік певного класу може володіти більшою інтенсивністю чим відповідний процент від пропускної.

#### **Комбіновані алгоритми обслуговування черг**

Кожен з описаних підходів має свої достоїнства і недоліки. Пріоритетне обслуговування, забезпечуючи мінімальний рівень затримок для черги найвищого пріоритету, не дає ніяких гарантій відносно середньої пропускної здатності для трафіку черг нижчих пріоритетів. Зважене обслуговування забезпечує заданий розподіл середньої пропускної спроможності, але не враховує вимог до затримок.

Існують комбіновані алгоритми обслуговування черг. У найбільш популярному алгоритмі подібного роду підтримується одна пріоритетна черга при обслуговуванні решти черг відповідно до зваженого алгоритмом. Зазвичай пріоритетна черга використовується для чутливого до затримкам трафіку, а решта - для еластичного трафіку декількох класів. Кожен клас еластичного трафіку отримує деякий мінімум пропускної спроможності при перевантаженнях. Цей мінімум обчислюється як відсоток від пропускної здатності, що залишилася від пріоритетного трафіку. Очевидно, що потрібно якось обмежити пріоритетний трафік, щоб він не поглинав всю пропускну здатність ресурсу. Зазвичай це робиться засобами профілізації трафіка, які розглядаються далі.

Алгоритми управління чергами не запобігають перевантаженням, а лише деяким «справедливим» чином в умовах дефіциту перерозподіляють ресурси між різними потоками або класами трафіку. Алгоритми управління чергами відносяться до механізмів контролю перевантажень, які починають працювати, коли мережа вже переобтяжена.

Існує інший клас засобів, які носять назву механізмів запобігання перенавантаження. Очевидно, що запобігти перевантаженню мережі можна в тому випадку, коли сумарна інтенсивність всіх потоків, що передаються кожним

інтерфейсом кожного комутатора мережі, менше пропускної спроможності цього інтерфейсу. Добитися цього можна двома способами - збільшуючи пропускну здатність інтерфейсу або зменшуючи інтенсивності потоків. Перший варіант відноситься до засобів проектування і планування мережі і тому тут не розглядається.

Другий варіант - зменшення інтенсивності потоків - можна реалізувати також двома принципово різними способами. Перший спосіб заснований на використанні механізму зворотного зв'язку, за допомогою якого переобтяжений вузол мережі, реагуючи на перевантаження, просить попередні вузли, розташовані уздовж маршруту проходження потоку (або потоків, належних одному класу), тимчасово знизити швидкість трафіку. Після того, як перенавантаження в даному вузлі зникне, він посилає інше повідомлення, що дозволяє підвищити швидкість передачі даних. Інший спосіб базується на передчасному резервуванні пропускної здатності для потоків, що протікають через мережу. Для цього йому необхідна попередня інформація про інтенсивності потоків. Принципи резервування ресурсів ми розглянемо пізніше, а зараз зупинимось на механізмах зворотного зв'язку.

#### **Учасники зворотного зв'язку**

Існує декілька механізмів зворотного зв'язку. Вони відрізняються інформацією, яка передається по зворотному зв'язку, а також тим, який тип вузла генерує цю інформацію і хто реагує на цю інформацію - кінцевий вузол (комп'ютер) або проміжний (комутатор або маршрутизатор).

На рис. 8.12 показані різні варіанти організації зворотного зв'язку.

Зворотний зв'язок 1 організована між двома кінцевими вузлами мережі. Це найбільш радикальний спосіб зниження навантаження на мережу, так як тільки кінцевий вузол може понизити швидкість надходження інформації в мережу. Проте цей вид зворотного зв'язку не відносять до методів контролю перевантажень, оскільки його призначення - боротьба з перевантаженнями вузла призначенням, а не з перевантаженнями мережних пристроїв. Принципово ця та ж сама проблема, так як вона є наслідком тимчасового перевищення швидкості надходження пакетів в ресурс над швидкістю обробки цих пакетів. Тільки ресурсом в даному випадку виступає не комутатор мережі, а кінцевий вузол. Але традиційно за цим видом зворотного зв'язку закріпилася власна назва - контроль потоку. Пристрої мережі не беруть участь в роботі цього виду механізму зворотного зв'язку, вони тільки передають відповідні повідомлення між кінцевими вузлами. Не дивлячись на різні назви, в методах контролю перевантаження і контролю потоку використовуються загальні механізми.

При організації зворотного зв'язку важливо враховувати час передачі інформації по мережі. У високошвидкісних глобальних мережах за час передачі повідомлення про перевантаження вузла призначення вузол-джерело може встигнути передати через мережу тисячі пакетів, так що перевантаження не буде ліквідовано вчасно. З теорії автоматичного управління відомо, що затримки в контурі зворотного зв'язку можуть приводити до багатьом небажаним ефектам, первинним цілям. Наприклад, в системі можуть початися коливальні процеси, і вона ніколи не зможе прийти в рівноважний стан. Подібні явища спостерігалися на ранній стадії розвитку

Інтернету, коли із-за не удосконалення алгоритмів зворотного зв'язку і алгоритмів маршрутизації в ньому виникли ділянки перевантажень, які періодично переміщалися по мережі. Причина такої проблеми інтуїтивно зрозуміла - затримка в контурі зворотного зв'язку приводить до того, що регулюючий елемент отримує застарілу інформацію про стан регульованого елемента. В даному випадку вузол-джерело отримує інформацію про стан черги вузла призначення із затримкою. Тому можливі ситуації, коли вузол-джерело починає знижувати швидкість передачі інформації, коли насправді черга у вузлі призначення вже не існує, і, навпаки, підвищувати швидкість передачі інформації в той момент, коли вузол призначення почав випробовувати перевантаження. Для боротьби з такими явищами в контур зворотного зв'язку зазвичай вводиться інтегруючий елемент, який на кожному кроці обробляє не тільки поточне повідомлення зворотного зв'язку, але і декілька попередніх повідомлень, що дозволяє врахувати динаміку зміни ситуації і реагувати адекватно.

Зворотний зв'язок 2 організована між двома сусідніми комутаторами. Комутатор повідомляє сусіда, що знаходиться вище за течією потоку, що він відчуває перевантаження і його буфер заповнився до критичної величини. Отримавши таке повідомлення, сусід, розташований вище за течією, повинен понизити на деякий час швидкість передачі даних у напрямі переобтяженого ком-мутатора і тим самим вирішити проблему перевантаження. Це менш ефективно для мережі в цілому рішення, оскільки потік продовжуватиме текти від вузла-джерела з тією ж швидкістю, що і раніше. Але для комутатора, який випробовує перевантаження, це є хорошим виходом, оскільки він отримує час для того, щоб розвантажити чергу, що переповнилася. Правда, проблема переноситься в комутатор, розташований вище за течією, в якому тепер може виникнути перевантаження, оскільки він починає передавати дані з свого буфера з меншою швидкістю. Гідністю такого методу є низька затримка зворотного зв'язку, оскільки вузли є сусідами (якщо вони, звичайно, не сполучені супутниковим каналом).

Зворотний зв'язок 3 організована між проміжним комутатором вузлом-джерелом. Повідомлення зворотного зв'язку хоч і передаються декількома комутаторами мережі у напрямі вузла-джерела, але вони на нього не реагують.

Зворотний зв'язок 4. Тут, як і у разі зворотного зв'язку 1, повідомлення про перенавантаження породжується вузлом призначення і передається вузлу-джерелу. Проте є і важлива відмінність: в даному випадку кожен проміжний комутатор реагує на це повідомлення. По-перше, він знижує швидкість передачі даних в напрямі вузла призначення, по-друге, він може змінити зміст повідомлення. Наприклад, якщо вузол призначення просить понизити швидкість 30 Мбит/с, то проміжний комутатор може понизити цю величину 20 Мбит/с, оцінивши стан свого буфера. Крім того, породити повідомлення зворотного зв'язку може будь-який комутатор мережі, а не тільки вузол призначення.

При описі різних варіантів організації зворотного зв'язку ми маємо на увазі, що повідомлення про перевантаження йде в напрямі, зворотному напрямі передачі інформації користувача (власне, тому цей механізм так і називається). Проте деякі комунікаційні протоколи не передбачають можливості генерації подібних

повідомлень проміжними вузлами. У таких умовах часто використовується штучний прийом - передача повідомлення про перевантаження вузлу призначення, який перетворить його в повідомлення зворотного зв'язку і відправляє в потрібному напрямі, тобто у напрямі джерела. Цей варіант показаний на малюнку як зворотний зв'язок 5.

### **Інформація зворотного зв'язку**

У вживаних сьогодні методах зворотного зв'язку використовуються наступні основні типи повідомлень:

- 1 ознака перевантаження;
- 2 максимальна швидкість передачі;
- 3 максимальний об'єм даних (кредит);
- 4 непрямі ознаки.

Ознака перевантаження не говорить про ступінь перевантаженості мережі або вузла, він тільки фіксує факт наявності перевантаження. Реакція вузла, що отримав таке повідомлення, може бути різною. У деяких протоколах вузол зобов'язаний припинити передачу інформації в певному напрямі до тих пір, поки не буде отримано інше повідомлення зворотного зв'язку, що вирішує продовження передачі. У інших протоколах вузол поводить себе адаптивний, він знижує швидкість на деяку величину і чекає реакції мережі. Якщо повідомлення з ознакою перевантаження продовжують поступати, то він продовжує зниження швидкості.

У другому типі повідомлень указується максимальна швидкість передачі, тобто поріг швидкості, який повинен дотримувати джерело або проміжний вузол, розташований вище за течією потоку. В цьому випадку обов'язково потрібно враховувати час передачі повідомлення по мережі, щоб виключити коливальні процеси в мережі і забезпечити потрібну швидкість реакції на перевантаження. Тому в територіальних мережах такий спосіб зазвичай реалізується силами всіх комутаторів мережі (зворотний зв'язок 4 в нашому прикладі).

Повідомлення «максимальний об'єм даних» широко використовується в пакетних мережах алгоритмі ковзаючого вікна (див. розділ 6). Цей алгоритм дозволяє не тільки забезпечувати надійну передачу даних, але і реалізувати зворотний зв'язок для контролю потоку між кінцевими вузлами. Параметром, несучим інформацію зворотного зв'язку, є «вікно» - число, тісно пов'язане з поточним розміром вільного простору в буфері приймаючого вузла. Вікно також називають кредитом, який той, що приймає дає вузлу, що передає

Вузол, що передає, може з будь-якою швидкістю передати об'єм інформації (або окрема кількість пакетів, якщо вікно вимірюється в пакетах), відповідний кредиту. Але якщо кредит вичерпаний, то вузол, що передає, не має права передавати інформацію, поки не отримає наступний кредит. При перевантаженнях приймаючий вузол зменшує розмір вікна, тим самим знижуючи навантаження. Якщо ефект перевантаження зникає, то приймаючий вузол збільшує розмір вікна. Недоліком цього алгоритму є те, що він працює тільки в протоколах зі встановленням з'єднання.

І, нарешті, що в деяких випадках передає вузол визначає, що приймаючий вузол (або вузли) випробовує перевантаження, по деяких непрямим признакам без

отримання повідомлення зворотного зв'язку. Такими непрямими ознаками можуть бути факти втрати пакетів. Для того, щоб протокол міг виявляти факти втрат пакетів, це повинен бути протокол зі встановленням з'єднання. Тоді закінчення тайм-ауту або прихід дублікату позитивної квитанції побічно свідчать про те, що пакет втрачений. Проте втрата пакету не завжди свідчить про перевантаження мережі. Перевантаження мережі - це тільки одна з можливих причин втрати пакету, іншою причиною може бути ненадійна робота комунікаційних пристроїв (відмови устаткування, спотворення даних із-за перешкод). Але оскільки реакція на перевантаження і ненадійну роботу мережі повинна бути однаковою і полягати в зниженні швидкості передачі, то неоднозначність причини втрати пакету не є проблемою.

Прикладом протоколу, що використовує неявну інформацію про перевантаження, являється протокол TCP. Цей протокол за допомогою явної інформації зворотного зв'язку (про розмір вікна) здійснює контроль потоку, а за допомогою неявної (втрати пакетів, дублікати квитанцій) - контроль перевантаження.

#### Резервування ресурсів і комутація пакетів

Як вже було сказано вище, ще одним механізмом запобігання перенавантаження в мережі, разом із зворотним зв'язком, є резервування ресурсів. Головна ідея резервування полягає в тому, щоб обмежити рівень перевантажень деякою прийнятною величиною. Ця величина повинна бути такою, щоб алгоритми контролю перевантаження, що працюють в комутаторах мережі, справлялися з короткочасними перевантаженнями і без зворотного зв'язку забезпечували необхідні значення характеристик QOS.

Резервування ресурсів в мережах з комутацією пакетів принципово відрізняється від подібної процедури в мережах з комутацією каналів. У мережах з комутацією каналів для кожного каналу резервується (виділяється) фіксована частка пропускної спроможності лінії зв'язку (фізичного каналу). Потік передається через мережу з постійною швидкістю, рівній зарезервованій для нього пропускній спроможності. При цьому пропускна спроможність з'єднання завжди закріплена за цим потоком, вона не може динамічно перерозподілятися серед інших потоків. Попереднє резервування є невід'ємною властивістю мережі з комутацією каналів.

У мережах з комутацією пакетів резервування не є обов'язковим. Інколи у визначенні методу комутації пакетів відсутність резервування фігурує як основна властивість цього типу мереж. Але і в тих випадках, коли резервування в мережах з комутацією пакетів виконується, воно відрізняється від резервування ресурсів в мережах з комутацією каналів тим, що тут враховується пульсуючий характер трафіку і можливість динамічного перерозподілу пропускної спроможності мережі між потоками (агрегатами).

Резервування полягає в тому, що всі мережні пристрої уздовж проходження потоку повинні виділити цьому потоку (агрегату) деяку частину пропускної спроможності своїх інтерфейсів і продуктивності процесорів, рівну середній необхідній швидкості передачі даних потоку. Пояснимо це на прикладі.

#### **Приклад**

Припустимо, що в початковому стані ресурси мережі, показаної на рис. 8.13. не були зарезервовані. Потім було вирішено виділити деякі ресурси мережі потоку 1. Для цього необхідно знати, принаймні, такий параметр потоку, як середню потрібну швидкість передачі даних. Припустимо, що ця швидкість для потоку 1 рівна 15 Мбит/с, а пропускні спроможності всіх каналів зв'язку (а значить, і інтерфейсів комутаторів) рівні 100 Мбит/с. Для спрощення вважатимемо, що кожен вхідний інтерфейс оснащений власним процесором, продуктивність якого перевищує продуктивність даного інтерфейсу, так що процесор не може бути вузьким місцем, і ми не прийматимемо його в розрахунок при ухваленні рішення про виділення ресурсів.

Потік 1 може бути прийнятий на обслуговування, тому що всі інтерфейси на його шляху володіють достатньою для його обслуговування продуктивністю (15 < 100). Тому резервування виконується, і кожен інтерфейс уздовж шляху потоку запам'ятовує, що він вже виділив 15 Мбит/с своєї продуктивності потоку 1.

Допустимо, що після цього виникла потреба в резервуванні ресурсів для потоку 2, який володіє середньою швидкістю передачі даних 70 Мбит/с. Таке резервування також може бути зроблене, оскільки у всіх інтерфейсів уподовж маршруту потоку 2 вільна (не зарезервована) пропускна спроможність інтерфейсів перевищує 70 Мбит/с. У тих інтерфейсів, через які проходять як потік 1, так і потік 2 (інтерфейси I3 і I1 комутаторів S2 і S3 відповідно), залишається 85 Мбит/с вільної пропускної спроможності, а у решти інтерфейсів - 100 Мбит/с. Після резервування у інтерфейсів I3 і I1 залишається по 15 Мбит/с вільної пропускної спроможності.

Також виявляється успішною спроба резервування пропускної спроможності для потоку 3, середня швидкість якого рівна 10 Мбит/с. Проте резервування для потоку 4, середня швидкість якого 20 Мбит/с, виявляється неможливим, оскільки у інтерфейсів I3 і I1 залишилося тільки по 5 Мбит/с вільної пропускної спроможності.

Цей приклад показує, що мережа відмовляється прийняти на обслуговування потік, якщо вона не може гарантувати йому необхідний рівень якості обслуговування. Ми, звичайно, спростили схему резервування ресурсів. В дійсності, мережа може гарантувати потоку не тільки дотримання його середньою швидкістю, про яку ми говорили в прикладі, але і забезпечити інші характеристики QOS, такі як максимальна затримка, максимальна варіація затримки і допустимий рівень втрат даних. Проте для цього мережа повинна знати деякі додаткові параметри потоку, наприклад його максимальний рівень пульсації, щоб зарезервувати необхідний простір в буфері.

Вільна пропускна спроможність для чутливого до затримок трафіку і для еластичного трафіку повинна при резервуванні враховуватися окремо. Щоб забезпечити для пріоритетного трафіку прийнятний рівень затримок і їх варіацій, максимальна сумарна резервована пропускна спроможність не повинна перевищувати 30-50 % від загальної пропускної спроможності кожного ресурсу. Для ілюстрації цього скористаємося попереднім прикладом. Хай ми вирішили відвести чутливому до затримок трафіку 30 % пропускної спроможності ресурсів. Тоді, якщо чутливими до затримок є потоки 1 і 3, то резервування для них можливо. Якщо ж такими потоками являються потоки 1 і 2, то немає, оскільки сумарна середня



швидкість цих потоків рівна 85 Мбит/с, що більш ніж 30 Мбит/с (30 % від 100 Мбит/с).

Якщо ми маємо на увазі, що чутливий до затримок графік буде обслуговуватись в пріоритетній черзі, то при резервуванні пропускної спроможності для еластичного трафіку потрібно враховувати, що йому може бути виділена тільки та частина пропускної спроможності, яка залишилася від чутливого до затримок трафіку. Наприклад, якщо потоки 1 і 3 є чутливими до затримок і ми виділили їм необхідну середню пропускну спроможність 30 Мбит/с, то для еластичних потоків залишається тільки 70 Мбит/с свободою пропускної здатності.

Що ж міняється в мережі після того, як в ній виконано резервування? Нічого принципово нового. Просто мережа виявляється завантаженою раціональним чином. У ній немає ресурсів, які працюють з перевантаженням. Механізми організації черг як і раніше забезпечують тимчасову буферизацію пакетів в періоди пульсацій. Оскільки ми планували завантаження ресурсів з розрахунку середніх швидкостей передачі даних, то на періодах пульсацій протягом деякого обмеженого часу швидкості потоків можуть перевищувати середні швидкості, так що механізми боротьби з перевантаженнями як і раніше потрібні. Для забезпечення необхідних середніх швидкостей потоків на періодах перевантажень відповідні потоки можуть обслуговуватися за допомогою зважених черг. Головна перевага методу комутації пакетів також зберігається: якщо деякий потік не витрачає відведеної йому пропускної спроможності, то вона може бути використана для обслуговування іншого потоку. Нормальною практикою є резервування пропускної спроможності тільки для частини потоків, тоді як інші потоки обслуговуються без резервування, отримуючи обслуговування по можливості (з максимальними зусиллями). Тимчасово вільна пропускну спроможність може для таких потоків виділятися динамічно, без порушення узятих зобов'язань по обслуговуванню потоків, для яких ресурси зарезервовані.

Мережа з комутацією каналів подібного перерозподілу ресурсів виконати не може, оскільки у неї в розпорядженні немає одиниць інформації, що незалежно адресуються, - пакетів!

#### *Приклад*

Проілюструємо принципову відмінність резервування ресурсів в мережах з комутацією пакетів і в мережах з комутацією каналів на прикладі автомобільного трафіку. Хай в деякому місті вирішили забезпечити деякі привілеї для руху машин швидкої допомоги, в ході обговорення цього проекту виникли дві конкуруючі ідеї його реалізації. Перший варіант передбачав виділення для автомобілів швидкої допомоги окремої смуги на всіх дорогах міста, недоступною для другого транспорту ні за яких умов, навіть якщо в якийсь період часу машин швидкої допомоги на дорозі немає. У другому випадку для машин швидкої допомоги також виділялась окрема смуга, але у відсутності привілейованих машин по ній дозволялось рухатися і іншому транспорту. У разі ж появи машини швидкої допомоги автомобілі, що займають виділену смугу, зобов'язані були її звільнити. Неважко відмітити, що перший варіант відповідає принципу резервування в мережах з комутацією каналів - пропускну спроможність виділеної смуги монопольно використовується

автомобілями швидкої допомоги і не може бути перерозподілена навіть тоді, коли вона їм не потрібна. Другий варіант є аналогією резервування в мережах з комутацією пакетів. Пропускна спроможність дороги тут використовується ефективніше, але для потоку автомобілів швидкої допомоги такий варіант менш сприятливий, оскільки при необхідності звільнення смуги виникають перешкоди, що створюються непривілейованими машинами.

Повертаючись від автомобільного трафіку до мереж з комутацією пакетів, слід відзначити: для того, щоб дотримати гарантії обслуговування кожного потоку, описаної схеми резервування недостатньо. Ми припустили, що точно знаємо середню пропускну спроможність і параметри пульсацій потоків.

На практиці такі відомості не завжди бувають достовірними. А що трапиться, якщо потік поступатиме в мережу з швидкістю, що перевищує ту, яку ми враховували при резервуванні? І ще одне важливе питання залишається відкритим - як забезпечити автоматичне резервування пропускну спроможності уздовж маршруту проходження потоку? Для вирішення поставлених завдань в мережі необхідна система забезпечення якості обслуговування, в яку крім механізмів управління чергами входять деякі додаткові механізми.

Системи забезпечення якості обслуговування, засновані на резервуванні

Система забезпечення якості обслуговування має розподілений характер, оскільки її елементи повинні бути присутніми на всіх мережних пристроях, просуюючи пакети: комутаторах, маршрутизаторах, серверах. З іншого боку, роботу окремих мережних пристроїв по підтримці характеристик QoS потрібно координувати, щоб якість обслуговування була однорідною уздовж всього шляху, по якому слідує пакети потоку. Тому служба QoS повинна включати також елементи централізованого управління, за допомогою яких адміністратор мережі міг би погоджено конфігурувати механізми підтримання характеристик QoS в окремих пристроях мережі.

1 Система забезпечення якості обслуговування, що базується на резервуванні ресурсів, складається з підсистем декількох типів (рис. 8.14)

- 2 механізмів обслуговування черг;
- 3 протоколу резервування ресурсів;
- 4 механізмів кондиціонування трафіку.

Механізми обслуговування черг використовуються в періоди тимчасових перенавантаження. При цьому зазвичай застосовуються комбінації пріоритетної черги з чергами із зваженим обслуговуванням.

Протокол резервування ресурсів потрібний для автоматизації процедури резервування на всьому шляху проходження деякого потоку, тобто «з кінця в кінець». Протокол резервування є аналогом протоколів встановлення з'єднання в мережах з комутацією каналів, тому він іноді називається сигнальним протоколом, відповідно до термінології, прийнятої для цього типу мереж.

Повідомлення протоколу резервування ресурсів роблять два «проходи» по мережі. Спочатку джерело генерує повідомлення, яке проходить мережу в прямому напрямку до приймача інформації. У цьому повідомленні протоколу резервування міститься так званий профіль трафіку, тобто такі його характеристики, як середня

швидкість, параметри пульсації, а також вимоги до якості обслуговування, наприклад до рівня затримок. На підставі цього профілю і вимог QoS кожен комутатор на шляху проходження потоку приймає рішення про можливість або неможливість виконати резервування для цього потоку. Якщо він «погоджується» виконати резервування, то повідомлення передається далі, а комутатор робить відмітки про параметри проведеного резервування. Якщо всі комутатори уздовж маршруту згодні із запрошеними параметрами резервування, то останній комутатор передає нове повідомлення протоколу резервування у зворотному напрямі. При проходженні цього повідомлення кожен комутатор фіксує параметри резервування для даного потоку.

Ініціювати роботу сигнального протоколу може не тільки кінцевий вузол, але і проміжний пристрій. В цьому випадку гарантоване обслуговування потоку виконуватиметься не на всьому шляху проходження трафіку, а тільки в межах визначеного у частка мережі, що знижує якість обслуговування.

Протокол резервування ресурсів дозволяє виконувати резервування як для окремих потоків, так і для класів трафіку. Принципи його роботи в обох випадках залишаються однаковими. Проте ініціатором резервування ресурсів для класу трафіку є не кінцевий вузол, якого цікавить особистий потік, а один з комутаторів мережі. Таким комутатором частіше всього стає прикордонний комутатор мережі постачальника послуг, який приймає потоки різних користувачів.

У мережах з віртуальними каналами функції протоколу резервування ресурсів зазвичай виконує протокол встановлення віртуального каналу - це є його додатковим завданням. У датаграмних мережах протокол резервування є самостійним протоколом. Прикладом такого протоколу є протокол резервування ресурсів (Resource reservation Protocol, RSVP), який працює в IP-мережах. Резервування може виконуватися і вручну адміністратором мережі, який повинен конфігурувати параметри резервування для кожного потоку в кожному комутаторі мережі.

Механізми кондиціонування трафіку стежать за тим, щоб поточні параметри потоків відповідали заявленим при резервуванні. Це свого роду контрольно-пропускні пункти, які перевіряють трафік на вході в комутатор. Без таких механізмів неможливе виконання гарантій обслуговування трафіку. Якщо середні швидкості потоків або пульсації перевищать той рівень, який був вказаний при резервуванні, то затримки і втрати пакетів вище допустимих. Таке перевищення може відбутися з різних причин. Скажімо, тому, що достатньо важко точно оцінити параметри трафіку. Передчасне вимірювання середньої швидкості і пульсації можуть не дати правильного результату, тому що ці характеристики можуть мінятися з часом, і через тиждень вони вже не відповідатимуть дійсності. Крім того, не можна виключати умисного спотворення характеристик трафіку, що можливо при використанні комерційних послуг

### **Механізм кондиціонування трафіку зазвичай виконує декілька функцій.**

1 Класифікація трафіку. Ця функція виділяє із загальної послідовності пакетів, що поступають в пристрій, пакети одного потоку, загальні вимоги, що має, до якості

обслуговування. У мережах з віртуальними каналами ознакою потоку є мітка віртуального шляху, тому додаткової класифікації не вимагається. У датаграмних мережах такої ознаки, як правило, немає, тому класифікація виконується на основі декількох формальних ознак пакету - адрес джерела і призначення, ідентифікаторів застосувань і т.п. Без класифікації пакетів в датаграмних мережах неможливо забезпечити необхідну якість обслуговування.

2 Профілізація трафіку. Для кожного вхідного потоку в кожному комутаторі є відповідний йому набір параметрів QoS, тобто профіль трафіку. Профілізація трафіку має на увазі перевірку відповідності кожного вхідного потоку параметрам його профілю. Існують алгоритми, які дозволяють виконати таку перевірку автоматично в темпі надходження пакетів на вхідний інтерфейс комутатора. Прикладами алгоритмів профілізації є алгоритми «дірявого відра» і «відра маркерів». Ці алгоритми будуть розглянуті при вивченні окремих технологій, таких як IP, Frame Relay і ATM.

У разі порушення параметрів профілю (наприклад, перевищення продовжування пульсації або середньої швидкості) відбувається відкидання або маркіровка пакетів цього потоку. Відкидання деяких пакетів знижує інтенсивність потоку і приводить його параметри у відповідність з вказаними в профілі. Маркіровка пакетів без відкидання потрібна для того, щоб пакети все ж таки були обслужені даним вузлом (або подальшими по потоку)» але з якістю обслуговування, відмінною від вказаного в профілі

Формування трафіку (shaping). Ця функція призначена для придання минулому профілізацію трафіку потрібної тимчасової «форми». В основному за допомогою даної функції прагнуть згладити пульсації трафіку, щоб пакети на виході пристрою з'являлися більш рівномірно, ніж на вході. Згладжування пульсацій скоротить черги в мережних пристроях, які оброблятимуть трафік далі по потоку. Його також потрібно використовувати для відновлення тимчасових співвідношень трафіку додатків, що працюють з рівномірними потоками, наприклад голосових додатків.

Механізми кондиціонування трафіку можуть підтримуватися кожним вузлом мережі або реалізовуватися тільки в прикордонних пристроях. Останні варіант часто використовують постачальники послуг, кондиціонуючи трафік своїх клієнтів.

Існує принципова відмінність поведінки описаної системи для забезпечення середньої швидкості потоку, з одного боку, і для забезпечення необхідних порогів затримок і варіацій затримок, з іншого боку.

Необхідне значення середньої швидкості обслуговування забезпечується за рахунок конфігурування відсотка пропускної спроможності, що виділяється, при зваженому обслуговуванні. Тому мережа може виконати запит на будь-яке значення середньої швидкості для потоку, якщо воно не перевищує вільної пропускної спроможності ресурсів мережі уздовж цього потоку.

Проте мережа не може конфігурувати алгоритм пріоритетного обслуговування так, щоб він строго забезпечив який-небудь заздалегідь заданий поріг затримок і їх варіації. Напрямо пакетів в пріоритетну чергу тільки дозволяє гарантувати, що затримки будуть достатньо низькими - істотно менше, ніж у пакетів, які обробляються по алгоритму зваженого обслуговування. Але аналітично оцінити

кількісні значення затримок дуже важко. Яким же чином постачальник послуг може виконати свої зобов'язання перед клієнтами?

Як правило, вирішення даної проблеми ґрунтується на вимірюванні трафіку в мережі. Постачальник послуг повинен організувати пріоритетне обслуговування трафіка з однією або декількома пріоритетними чергами, вимірюючи затримки реального трафіку і обробляючи результати статистичними методами. Це означає, що він повинен будувати гістограми розподілу затримок для різноманітних шляхів проходження потоків і визначати середні затримки, середні варіації, максимальні затримки і максимальні варіації для кожного класу трафіку, чутливого до затримок. На підставі цих характеристик постачальник вибирає деякі граничні значення характеристик QoS, які він може гарантувати своїм клієнтам. Зазвичай такі граничні значення вибираються з деяким запасом, щоб при появі деякої кількості нових клієнтів мережа могла дотримувати заявлені гарантії.

### **Інжиніринг трафіка**

При розгляді системи забезпечення якості обслуговування, заснованої на резервуванні, ми не стали піднімати питання маршрутів проходження потоків через мережу. Точніше, ми вважали, що вони якимсь чином вибрані, причому цей вибір робиться без урахування вимог QoS. І в умовах заданості маршрутів ми прагнули забезпечити проходження по цих маршрутах такого набору потоків, для якого можна гарантувати дотримання вимог QoS. Очевидно, що задачу підтримки вимог QoS можна вирішити більш ефективно, якщо вважати, що маршрути проходження трафіку не фіксовані, а також підлягають вибору. Це дозволило б мережі обслуговувати більше потоків з гарантіями QoS при тих же характеристиках самої мережі, тобто пропускній спроможності каналів і продуктивності комутаторів і маршрутизаторів.

Завдання вибору маршрутів для потоків (або класів) трафіку з урахуванням дотримання вимог QoS вирішують методи інжинірингу трафіку (Traffic Engineering, TE). За допомогою цих методів прагнуть добитися ще однієї мети - по можливості максимально і збалансовано завантажити всі ресурси мережі, щоб мережа при заданому рівні якості обслуговування володіла як можна більш високою сумарною продуктивністю.

Методи TE, як і інші розглянуті раніше методи, засновані на резервуванні ресурсів. Тобто вони не тільки дозволяють знайти раціональний маршрут для потоку, але і резервують для нього пропускну спроможність ресурсів мережі, що знаходяться уздовж цього маршруту.

Методи інжинірингу трафіку є порівняно новими для мереж з комутацією пакетів. Це пояснюється багато в чому тим, що передача еластичного трафіку не пред'являла строгих вимог до параметрів QoS. Крім того, Інтернет довгий час не був комерційною мережею, тому максимальне використання ресурсів не вважалося першочерговим завданням для IP-технологій, лежачих в основі Інтернету.

Сьогодні ситуація змінилася. Мережі з комутацією пакетів повинні передавати різні види трафіку із заданою якістю обслуговування, максимально використовують

можливості своїх ресурсів. Проте для цього їм потрібно змінити деякі, що стали вже традиційними, підходи до вибору маршрутів.

Недоліки традиційних методів маршрутизації

Основним принципом роботи протоколів маршрутизації в мережах з комутацією пакетів ось вже довгий час є вибір маршруту на основі топології мережі без урахування інформації про її поточне завантаження.

Для кожної пари «адреса джерела - адреса призначення» такі протоколи вибирають єдиний маршрут, не зважаючи на інформаційні потоки, що протікають через мережу. В результаті всі потоки між парами кінцевих вузлів мережі йдуть по найкоротшому (відповідно до деякої метрики) маршруту. Вибраний маршрут може бути раціональнішим, наприклад, якщо в розрахунок приймається номінальна пропускна спроможність каналів зв'язку або затримки, що вносяться ними, або менш раціональним, якщо враховується тільки кількість проміжних маршрутизаторів між початковим і кінцевим вузлами.

Традиційні методи маршрутизації розглядають якнайкращий вибраний маршрут як єдиного можливого, навіть якщо існують інші, хоч і декілька гірші маршрути.

Класичним прикладом неефективності такого підходу є «риба» - мережа з топологією, приведеною на рис. 8.15. Не дивлячись на те що між комутаторами А і Е існує два шляхи (верхній - через комутатор В і нижній - через комутатори С і D), весь трафік від комутатора А до комутатора Е відповідно до традиційних принципів маршрутизації прямує по верхньому шляху. Тільки тому, що нижній шлях трохи (на одну ділянку ретрансляції) довший, він ігнорується, хоча міг би працювати «паралельно» з верхнім шляхом.

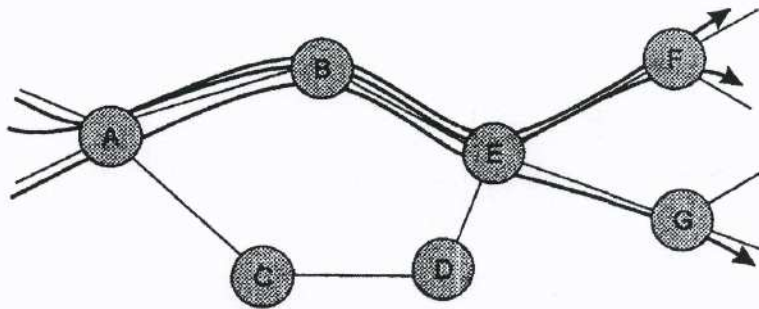


Рис. 8.15 Неефективність найкоротших шляхів

Такий підхід приводить до того, що навіть якщо найкоротший шлях переобтяжений, пакети все одно посилаються по цьому шляху. Так, в мережі, представлений на рис. 8.15 верхній шлях продовжуватиме використовуватися навіть тоді, коли його ресурсів перестане хапати для обслуговування трафіку від комутатора А до комутатору Е, а нижній шлях простоюватиме, хоча, можливо, ресурсів комутаторів В і С вистачило б для якісної передачі цього трафіку.

У наявності явна збитковість методів розподілу ресурсів мережі - одні ресурси працюють з перевантаженням, а інші не використовуються зовсім. Традиційні методи боротьби з перевантаженнями цю проблему вирішити не можуть, потрібні якісно інші механізми.

Методи інжинірингу трафіку

Початковими даними для методів інжинірингу трафіку є:

- 1 характеристики мережі, що передає, - її топологія, а також продуктивність складових її комутаторів і ліній зв'язку (рис. 8.16);
- 2 зведення про запропоноване навантаження мережі, тобто про потоки трафіку, які мережа повинна передати між своїми прикордонними комутаторами (рис. 8.17)

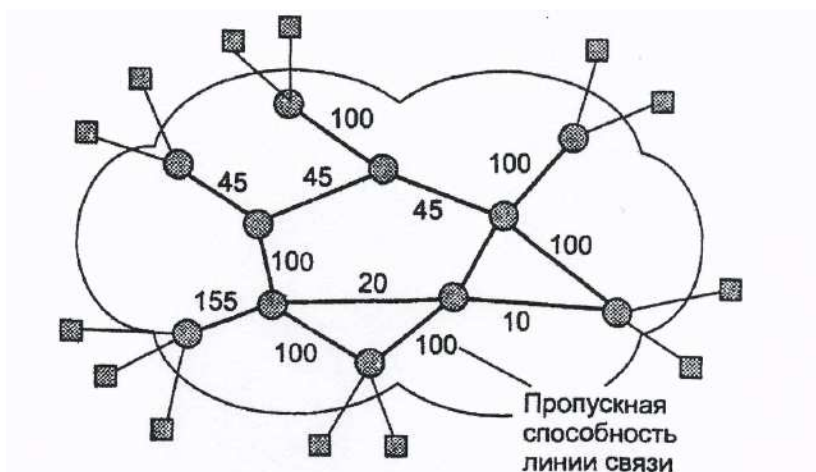


Рис. 8.16 Топологія мережі і продуктивність її ресурсів

Хай продуктивність процесора кожного комутатора достатня для обслуговування трафіку всіх його вхідних інтерфейсів, навіть якщо трафік потрапляє на інтерфейс з максимально можливою швидкістю, рівній пропускній спроможності інтерфейсу. Тому при резервуванні ресурсів вважатимемо ресурсами пропуску спроможність ліній зв'язку між комутаторами, який визначає також пропуску спроможність двох інтерфейсів, зв'язаних цією лінією.

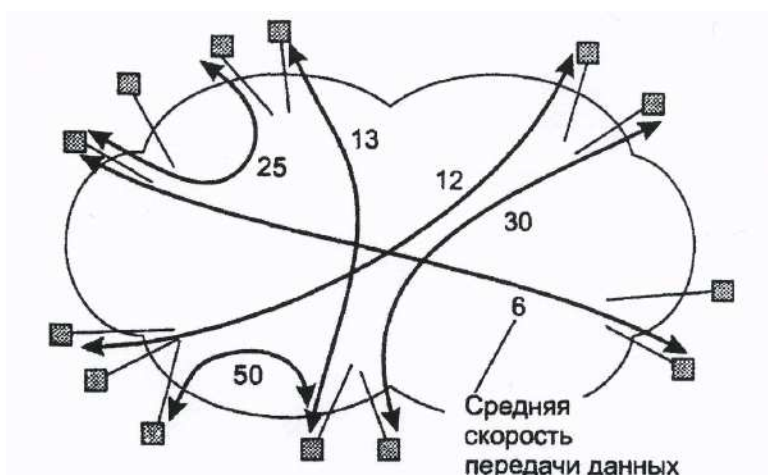


Рис. 8.17. Запропоноване навантаження

Кожен потік характеризується точкою входу в мережу, точкою виходу з мережі і профілем трафіку. Для отримання оптимальних рішень можна використовувати детальний опис кожного потоку, наприклад враховувати величину можливою

пульсації трафіку або вимоги QoS. Проте оскільки кількісно оцінити їх вплив на роботу мережі досить складно, а вплив цих параметрів на характеристики QoS менш значущо, то для знаходження субоптимального розподілення шляхів проходження потоків через мережу, як правило, враховуються тільки їх середні швидкості передачі даних, що і показано на рис. 8.17.

Методи ТІ частіше працюють не з окремими потоками, а з агрегованими потоками, які є об'єднанням декількох потоків. Оскільки ми шукаємо загальний маршрут для декількох потоків, то агрегувати можна тільки потоки, що мають загальні точки входу в мережу і виходу з мережі. Агреговане завдання потоків дозволяє спростити завдання вибору шляхів, оскільки при індивідуальному розгляді кожного призначеного для користувача потоку проміжні комутатори повинні зберігати дуже великі об'єми інформації, оскільки індивідуальних потоків може бути дуже багато. Необхідно, проте, підкреслити, що агрегація окремих потоків в один можливо тільки у тому випадку, коли всі потоки, що становлять, пред'являють одні і ті ж вимоги до якості обслуговування. Далі в цьому розділі ми скорочено користуватимемося терміном «потік» як для індивідуального потоку, так і для агрегованого, оскільки принципи ТІ від цього не міняються.

Завдання ТІ полягає у визначенні маршрутів проходження потоків трафіку через мережу, тобто для кожного потоку потрібно знайти точну послідовність проміжних комутаторів і їх інтерфейсів. При цьому маршрути повинні бути такими, щоб всі ресурси мережі були навантажені до максимально можливого рівня, а кожен потік отримувал необхідну якість обслуговування.

Максимальний рівень використання ресурсів вибирається так, щоб механізми контролю перевантаження могли забезпечити необхідну якість обслуговування. Це означає, що для еластичного трафіку максимальне значення вибирається не більше, ніж 0,9, а для чутливого до затримок трафіку - не більше, чим 0,5. Оскільки звичайне резервування проводиться не для всіх потоків, то потрібно залишити частину пропускнуєї спроможності для вільного використання. Тому приведені максимальні значення зазвичай зменшують до 0,75 і 0,25 відповідно. Для спрощення міркувань ми вважатимемо далі, що в мережі передається один вид трафіку, а потім покажемо, як узагальнити методи ТІ для випадку трафіку декількох типів.

Існують різні формальні математичні визначення завдання ТІ. Ми тут обмежимося найбільш простим визначенням, тим більше що сьогодні воно найчастіше використовується на практиці.

Вважатимемо, що рішенням задачі ТІ є такий набір маршрутів для заданого безлічі потоків трафіку, для якого всі значення коефіцієнтів використання ресурсів уздовж маршруту проходження кожного потоку не перевищують деякого заданого порогу  $K$  максимальне.

На рис. 8.19 показано одне з можливих рішень задачі, ілюструють яку рис. 8.16 і 8.17. Знайдені маршрути гарантують, що максимальний коефіцієнт використання будь-якого ресурсу для будь-якого потоку не перевищує 0,6.



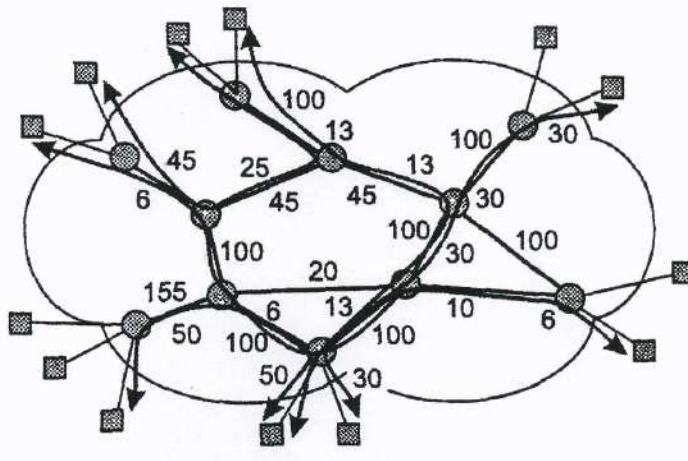


Рис. 8.19- Розподіл навантаження по мережі - вибір шляхів  
 ^  
 передачі трафіку

Рішення задачі ТП можна шукати по-різному. По-перше, можна шукати його передчасно, у фоновому режимі. Для цього потрібно знати початкові дані: топологію і продуктивність мережі, а також вхідні і вихідні точки потоків трафіку і середню швидкість передачі даних в них. Після цього завдання раціонального розподілу шляхів проходження трафіку при фіксованих точках входу і виходу, а також заданому рівні максимального значення коефіцієнта використання ресурсу можна передати деякій програмі, яка, наприклад, за допомогою направленої перебору варіантів знайде рішення. Результатом роботи програми будуть точні маршрути для кожного потоку з вказівкою всіх проміжних комутаторів.

По-друге, можна вирішувати задачу ТП в оперативному режимі, доручивши її самим комутаторам мережі. Для цього використовуються модифікації стандартних протоколів маршрутизації. Модифікація протоколів маршрутизації полягає в тому, що вони повідомляють один одному не тільки топологічну інформацію, але і текуче значення вільної пропускнує спроможності у кожного ресурсу.

Після того, як рішення знайдене, потрібно його реалізувати, тобто утілити в таблицях маршрутизації. На цьому етапі може виникнути проблема - в тому випадку, якщо ми хочемо прокласти ці маршрути в датаграмній мережі. Річ у тому, що таблиці маршрутизації цих мереж враховують тільки адреси призначення пакетів. Комутатори і маршрутизатори таких мереж (наприклад, ІР-мереж) не працюють з потоками, для них потік в явному вигляді не існує, кожен пакет при його просуванні є незалежною одиницею комутації. Можна сказати, що таблиці просування цих мереж відображають тільки топологію мережі (напрями просування до певних адрес призначення).

Тому привнесенні методів резервування в датаграмних мережах трапляється з великими труднощами. У протоколах резервування, подібних згаданому раніше протоколу RSVP, використовується деякий додатковий набір ознак крім адреси призначення, щоб визначити потік для датаграмного маршрутизатора. При цьому поняття потоку потрібне тільки на етапі резервування, а при просуванні пакетів як і раніше працює традиційна для цього типу мереж схема, що враховує тільки адресу призначення.

Тепер представимо ситуацію, коли у нас є декілька потоків між двома кінцевими вузлами, і ми хочемо направити їх по різних маршрутах. Ми прийняли таке рішення, виходячи з балансу завантаження мережі, коли вирішували задачу інжинірингу трафіку. Датаграмний комутатор або маршрутизатор не має можливості реалізувати наше рішення, тому що для всіх цих потоків у нього в таблиці просування є тільки один запис, відповідний загальній адресі призначення пакетів цих потоків. Змінювати логіку роботи комутаторів і маршрутизаторів датаграмних мереж досить недоцільно, оскільки це дуже принципова модернізація.

Тому методи інжинірингу трафіку сьогодні використовуються тільки в мережах з віртуальними каналами, для яких не складає труднощів реалізувати знайдене рішення для групи потоків. Кожному потоку (або групі потоків з однаковими маршрутами) виділяється віртуальний канал, який прокладається відповідно до вибраного маршруту. Методи інжинірингу трафіку успішно застосовуються в мережах ATM і Frame Relay, що працюють на основі техніки віртуальних каналів. IP-мережі також спираються на методи ТІ, коли ті використовуються в мережах ATM або Frame Relay, що працюють в складеній мережі, побудованій на основі протоколу IP. Існує також нова технологія MPLS, яка розроблена спеціально як засіб того, що принесло техніку віртуальних каналів в IP-мережі. На основі технології MPLS в IP-мережах можна також вирішувати задачі ТІ.

### **Інжиніринг трафіку різних класів**

При рішенні задачі інжинірингу трафіку ми вважали, що всі потоки трафіку пред'являли однакові вимоги до якості обслуговування. Тобто користувачів мережі задовольняло, що всі потоки обслуговуються із заданою середньою швидкістю (вона, природно, у кожного потоку своя, що відрізняється від інших).

Реальнішою є ситуація, коли у кожного користувача мережі є декілька класів трафіку, і ці класи відрізняються різними вимогами до якості обслуговування.

Методи ТІ, що враховують наявність в мережі трафіку з різними вимогами QoS, вирішують проблему точно так, як і методи резервування ресурсів окремих вузлів. Якщо у нас є, наприклад, два класи трафіку, то ми задамся двома рівнями максимального використання ресурсів.

Для досягнення такого результату з кожним ресурсом повинні бути зв'язані два лічильники вільної пропускної спроможності - один для пріоритетного трафіку, другий для еластичного трафіку. При визначенні можливості проходження маршруту через конкретний ресурс для пріоритетного трафіку середня інтенсивність нового потоку повинна порівнюватися з вільною пропускною спроможністю для пріоритетного трафіку.

Якщо вільну пропускну спроможність досить і новий потік буде проходити через даний інтерфейс, то значення середньої швидкості передачі даних для нового потоку необхідно відняти як з лічильника завантаження пріоритетного трафіку, так і з лічильника завантаження еластичного трафіку, оскільки пріоритетний трафік завжди обслуговуватиметься перед еластичним і створить додаткове навантаження для еластичного трафіку. Якщо ж завдання ТІ вирішується для еластичного трафіку, то його середня швидкість передачі даних порівнюється з вільною пропускною

спроможністю лічильника еластичного трафіку і у разі позитивного рішення значення цієї швидкості віднімається тільки з лічильника еластичного трафіку, оскільки для пріоритетного трафіку еластичний трафік прозорий.

Модифіковані протоколи маршрутизації повинні поширювати по мережі інформацію про два параметри вільної пропускної спроможності - для кожного класу трафіку окремо. Якщо ж завдання узагальнюється для випадку передачі через мережу трафіку декількох класів, то, відповідно, з кожним ресурсом повинне бути зв'язане стільки лічильників, скільки класів трафіку існує у мережі, а протоколи маршрутизації повинні поширювати вектор вільних пропускних спроможностей відповідної розмірності.

### *Висновки*

*Якість обслуговування в його вузькому сенсі фокусує увагу на характеристиках і методах передачі трафіку через черги комунікаційних пристроїв. Методи забезпечення якості обслуговування займають сьогодні одне з найважливіших місць в арсеналі технологій мереж з комутацією пакетів, оскільки без їх застосування неможлива робота сучасних мультимедійних застосувань, таких як IP-телефонія, відео і радіомовлення, інтерактивне дистанційне навчання і т. п.*

*Характеристики QoS відображають негативні наслідки перебування пакетів в чергах, які виявляються в зниженні швидкості передачі, затримках пакетів і їх втратах.*

*Пріоритетні і зважені черги, а також резервування і зворотний зв'язок дозволяють гарантувати якість обслуговування для чутливого до затримок і еластичного трафіка.*

*Алгоритм ковзаючого вікна забезпечує не тільки надійну передачу пакетів, але і являється ефективним засобом зворотного зв'язку.*

*Архітектура заснованої на резервуванні системи підтримки якості обслуговування включає:*

*1 механізми черг;*

*2 протоколи резервування, що дозволяють автоматично виділяти необхідні ресурси для «крізного» потоку;*

*3 засобу кондиціонування трафіку, що виконують класифікацію, профілізацію і формування трафіку.*

*Методи інжинірингу трафіку полягають у виборі раціональних маршрутів проходження потоків через мережу. Вибір маршрутів забезпечує максимізацію завантаження ресурсів мережі при одночасному дотриманні необхідних гарантій відносно параметрів якості обслуговування трафіку.*

### *Виконати самостійне завдання № 8.*

1. Вивчити питання лекції.
2. Визначити чисельне значення первинних параметрів на кожному рівні ієрархії мереж доступу за завданням лабораторного заняття № 4.

*Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001.- с.321-340.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003. – с.192-198.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 4изд.-СПб.: 2010.- с.184-224.
4. Сосновский О.А Телекоммуникационные системы и компьютерные сети. – Минск: БГЭУ, 2007.-176с.
5. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: підручник/П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708с.

**Модуль 2 Моделювання ТІМ**  
**Тема 4 Особливості моделювання відкритих систем**

**Лекція 9 Архітектура інфокомунікаційної мережі**

ПЛАН

*Навчальні питання*

1. Визначення терміну “архітектура мережі”.
2. Складові архітектури.
3. Архітектурний аналіз телефонної мережі.

*Виконати самостійне завдання № 9.*

*Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, “Техніка”, 2001.- 526 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, “Техніка”, 2003. – 923 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 4изд.-СПб.: 2015.- 944с.
4. Сосновский О.А. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети. – Минск: БГЭУ, 2007.-176с.
5. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: підручник/ П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708с.

*Вступ*

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

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

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

*Комунікаційність* — закономірність, яка вказує на численність зв'язків (комунікацій) системи: зовнішніх — з навколишнім середовищем і внутрішніх — із власними підсистемами та елементами. Це означає, що мережу будь-якого рівня ієрархії не можна розглядати ізольовано, без урахування факторів, які впливають

ззовні (вище розташованих систем) і, водночас, не можна розчленовувати її без урахування типу взаємозв'язку підмереж й елементів нижчого порядку.

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

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

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

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

## 1. Визначення терміну «архітектури мережі»

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

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

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

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

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

Сукупність таких моделей будемо називати *системним описом мережевої архітектури* (рис. 9.1).



Рис. 9.1 Системний опис мережевої архітектури

### 1.1. Моделі організаційної структури мережі

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

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

Елементи моделі організаційної структури. Пункти та лінії зв'язку передусім розглядаються як елементи моделі організаційної структури мережі. Однак особлива увага зосереджується не на їх розміщенні в просторі, а на тому, як виконувані ними функціональні завдання впливають на рольове призначення та статус, яких вони набувають в рамках моделі організаційної структури мережі.

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

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

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

У кінцевих пунктах телекомунікаційна мережа представлена *пристроєм мережевого закінчення (Network Termination Unit, NTU)*, або просто *мережевим закінченням (Network Termination, NT)*, яке в організаційній структурі набуває статусу точки присутності телекомунікаційної мережі. Прикладом цього є звичайна



телефонна розетка, інформаційна розетка з телекомунікаційною колодкою для під'єднання комп'ютера.

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

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

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

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

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

*Комутація* (Switching) є процесом встановлення зв'язку між входами та виходами комутаційного пристрою на основі аналізу адресної інформації повідомлень і використання інформації відповідних таблиць комутації. Комутація може бути оперативною (на час передачі одного повідомлення) та довготривалою, яка здійснюється шляхом кросування ліній, які сходяться у вузловому пункті.

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

У комунікаційному пристрої може бути реалізована одна з перерахованих функцій, саме тоді цей пристрій відповідно називається або концентратором, або мультиплексором, або комутатором, або маршрутизатором та ін.

Порядок віднесення між елементами (їх статус) в моделі організаційної структури визначається рівнями їх ієрархії (рис. 9.2).



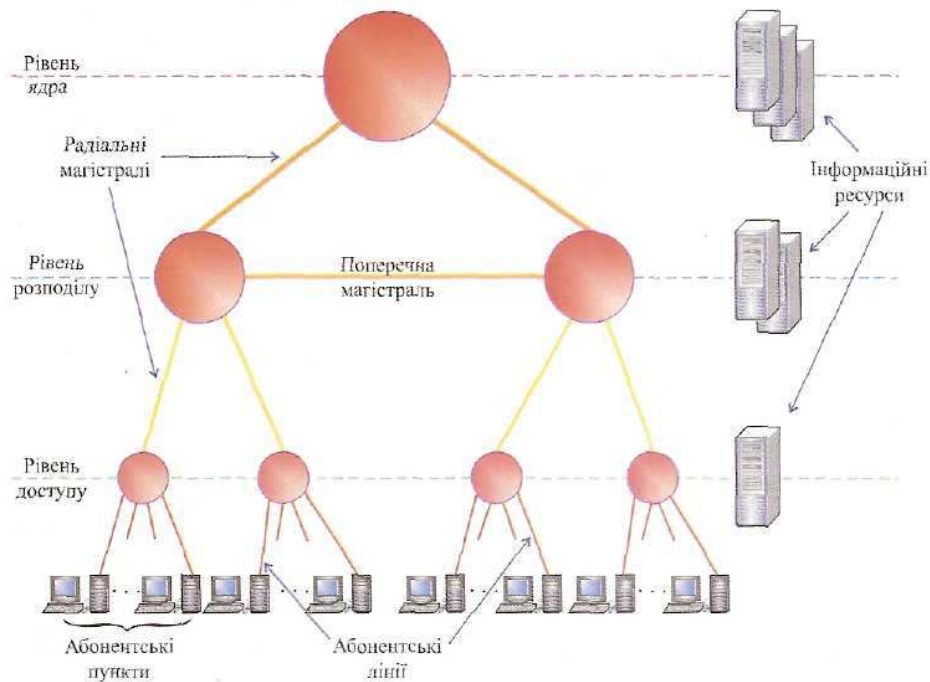


Рис. 9.2. Узагальнена схема організаційної структури мережі

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

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

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

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

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

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

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

Лінії, які з'єднують вузлові пункти між собою, називаються *магістральними*. Чим вищим є рівень ієрархії з'єднаних магістралями вузлових пунктів, тим вищим

— статус самих магістралей, і, відповідно, вимоги до їх пропускнуої здатності, надійності.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Вузловий пункт, де забезпечується з'єднання сегментів телекомунікаційної мережі, наприклад, мережі доступу та транспортної мережі, називається вузлом *доступу* (Access Node, AN).

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

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

## 2 Складові архітектури

### Моделі логічної структури мережі

На логічному рівні мережу зв'язку описують такими моделями:

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

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

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

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

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

цього умовного розмежування, підкреслюючи таким чином, що в мережі реалізовано програмно, а що апаратно.

Розрізняють такі основні типи функцій мережі зв'язку:

- прикладні функції — об'єкти застосувань користувачів;
- функції обробки та зберігання даних — об'єкти, що забезпечують виклик об'єктів застосувань, їх взаємодію, а також витяг необхідних даних або розміщення їх у базу даних;
- функції керування послугами — об'єкти, що дозволяють формувати послуги, необхідні користувачами, управляти ресурсами мережі, пов'язаними з їх наданням, і взаємодією користувачів з цими послугами;
- комунікаційні функції — транспортні функції, функції керування передачею потоків даних, функції керування телекомунікаційними послугами;

- функції керування мережею — об'єкти, які здійснюють керування роботою мережі в цілому (моніторинг дієздатності елементів мережі, збір статистики про проходження сигналів, вирішення аварійних і неординарних ситуацій та ін.).

Порядок і правила взаємодії між функціями та об'єктами мережі формують *зв'язки* між елементами у функціональній моделі. Повна специфікація такої взаємодії називається *логічним інтерфейсом*. Логічний інтерфейс є містким поняттям, що охоплює як набір правил поведінки взаємодіючих елементів, так і формат подання інформації, якою вони обмінюються.

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

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

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

У *функціональні підсистеми* зазвичай об'єднуються функції та об'єкти, для яких важливою є спільна реалізація. Прикладом утворення функціональної підсистеми є поєднання транспортної функції та функції керування потоками при їх програмно-апаратній реалізації в сегментах телекомунікаційної мережі (рис. 9.3). У такому контексті телекомунікаційну мережу на рівні функціональної моделі часто називають *транспортною підсистемою*.

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

Домен — це функціональний модуль, сформований за принципом *приналежності функцій і об'єктів однієї групи*. При цьому враховувати їх спільну дію при реалізації в апаратних засобах або програмних продуктах не потрібно.

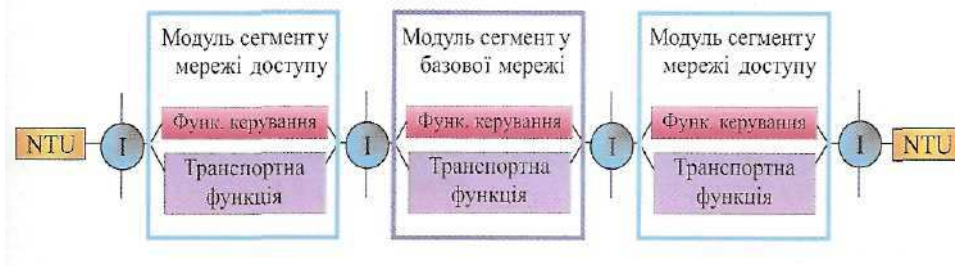


Рис. 9.3. Зразок утворення транспортної підсистеми на рівні функціональної моделі

І - інтерфейс (еталонна точка телекомунікаційної мережі); NTU — мережеве закінчення

Прикладами можуть бути домен користувача (рис. 9.4) і домен оператора мережі (рис. 9.5).

Конкретний склад об'єктів (функцій) домену називається *конфігурацією домену*. Не важко переконатися, наприклад, що конфігурації доменів різних користувачів можуть істотно відрізнятися. Конфігурації доменів мережевих операторів також можуть бути різними. Це залежить від багатьох факторів, основним з яких є

можливості ресурсів мережі з надання тих чи інших послуг та застосувань. Якщо надання конкретної послуги або набору послуг вимагає участі декількох операторів, їх домени розглядаються на функціональному рівні як об'єднану платформу надання послуг.

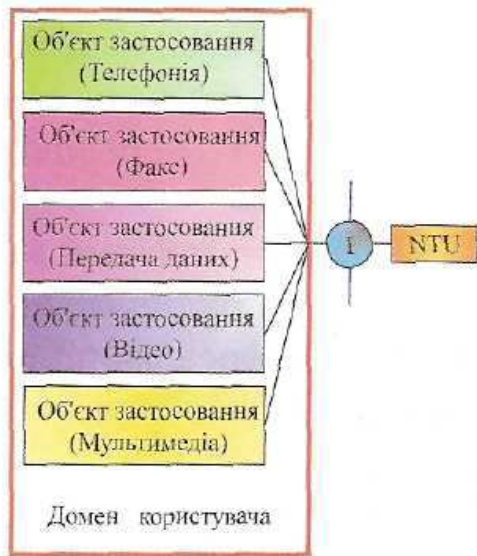


Рис. 9.4. Зразок утворення домену мережевого оператора

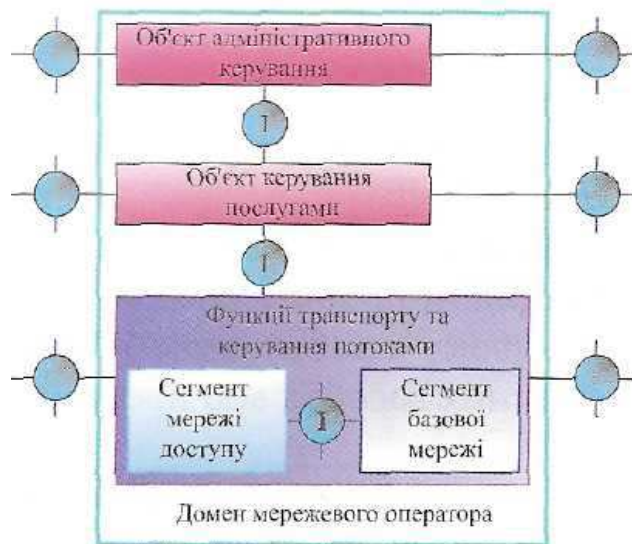


Рис. 9.5 Зразок утворення домену користувача

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

Крім вищесказаного слід наголосити ще на одному принципово важливому аспекті функціональної моделі мережі. Залежно від способу формування функціональних

модулів і можливостей їх реалізації (при конкретному рівні науково-технічного прогресу), може бути сформована одна або інша *концепція побудови мережі*.

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

мережі зв'язку. Технологія IN може бути реалізована на базі будь-якої комутованої мережі (аналогової або цифрової), а також мережі передачі даних.

Поява Softswitch, добре масштабованого сучасного програмного комутатора, докорінно змінила традиційну закриту систему комутації. Розвиваючи підхід IN в Softswitch, використовуючи відкриті інтерфейси, вдалося забезпечити швидке створення й надання нових послуг як оператором зв'язку самостійно, так і сумісно з різними виробниками обладнання й провайдерами послуг. Softswitch використовує принципи компонентної побудови мережі та відкриті стандартні інтерфейси між трьома основними функціями:

комутація, керування обслуговуванням викликів, керування послугами та застосуваннями. У такій відкритій розподільчій структурі можуть вільно використовуватися функціональні компоненти різних виробників.

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

*Протокольна модель* описує роботу мережі зв'язку на рівні *правил взаємодії* (протоколів) об'єктів (функцій) та функціональних модулів, розосереджених на різних прикінцевих системах.

Повний набір протоколів, які забезпечують взаємодію прикінцевих систем мережі, досить великий, оскільки при цьому активізується величезна кількість мережевих функцій. При побудові протокольної моделі зручно всі протоколи розбити на групи, відповідно до об'єднання об'єктів у функціональні модулі, кожен з яких вирішує певне коло тісно пов'язаних завдань. Така група протоколів називається *протокольним рівнем* або *протокольним блоком*. Їх прийнято розташовувати ієрархічно, відповідно до першорядності завдань, які виконуються функціональними модулями (рис. 9.6).

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

N-об'єкти виконуючи завдання N-рівня, здійснюють *локальний* комплекс функцій даного рівня. Протокольні блоки розташовані на рівні таким чином, що можливість виконання завдання N-рівня цілком залежить і забезпечується участю об'єктів нижче-розташованого (N-1)-го рівня й так далі. Таким чином, iV-об'єкти виявляються залученими у взаємодію з (N-1)- об'єктами, а (N-1)-об'єкти з (N-2)- об'єктами тощо. Кажуть, що кожен нижчий рівень надає *сервіс* вищому рівню.



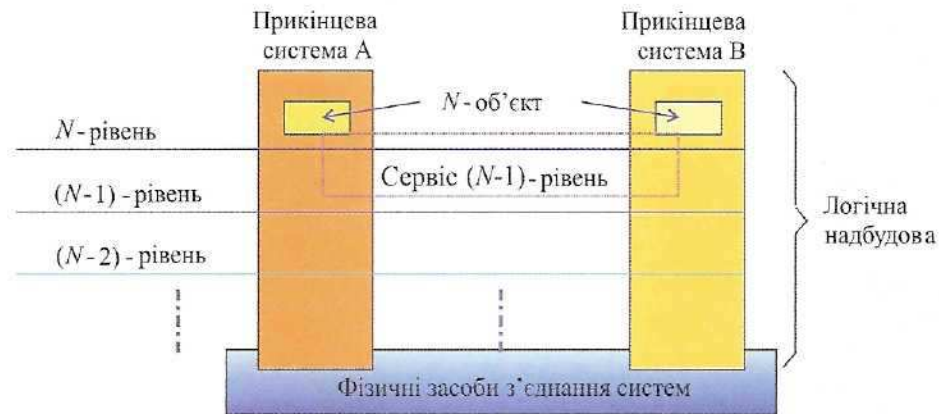


Рис. 9.6. Принцип побудови протокольної моделі

Будь-який об'єкт  $N$ -рівня, активізуючись, видає інформацію двох типів: інформацію, яка призначена для  $N$ -об'єкта іншої кінцевої системи (наприклад, дані користувача) й непов'язана з операціями підтримання зв'язку об'єктів  $N$ -го рівня;

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

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

Як ілюстрацію того, як відбувається реалізація протоколів і міжрівневих інтерфейсів при ініціалізації взаємодії двох прикінцевих систем, розглянемо процес ділового інформаційного спілкування між двома високопосадовцями, які знаходяться в різних установах. Особа, яка підготувала інформаційне повідомлення, передає його помічникові з адміністративної роботи (рівень, розташований нижче) та повідомляє ім'я одержувача. Помічник з адміністративної роботи (якщо це необхідно) шифрує повідомлення та форматує його (розміщує на офіційному бланку). Підготовлений документ передається секретареві (наступний нижчий рівень), який, у свою чергу, кладе його в конверт, додає повну адресу та наклеює поштову марку. Кур'єрський рівень забезпечує фізичну доставку конверта серед іншої кореспонденції за адресою одержувача.

У такій системі відправник не має уявлення про механізм доставки. Він цілком покладається на сервіси нижчих рівнів і не турбується про те, як вони реалізуються. Це принциповий момент, який є необхідним у правильно сформованому стеку протоколів. Будь-який рівень повинен мати можливість змінювати механізм реалізації наданого ним сервісу, не впливаючи на роботу будь-якого іншого рівня. Так, наприклад поштовий кур'єр може доставляти кореспонденцію на велосипеді, автомобілі або поїзді, але це жодним чином не позначиться на роботі інших співробітників апарату. Вони повинні лише бути впевнені, що кореспонденція буде доставлена адресатові. Або,

якщо передані дані в системі обробляються з використанням повного стека протоколів, ми можемо замінити мідне середовище передачі на оптико-волоконне, й це не впливатиме на програмне чи апаратне забезпеченні верхніх рівнів стека.

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

## ***2.1 Модель програмного забезпечення***

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

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

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

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

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

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

## ***2.2. Архітектура мереж доступу Узагальнена архітектура та модель мережі доступу***

З точки зору користувача, мережі доступу та транспортні мережі є лише засобом отримання телекомунікаційних та інформаційних послуг. При цьому, основні вимоги щодо надання таких видів послуг, як передавання мовлення, даних і відеоінформації висувають саме до мереж доступу.

Виникає необхідність побудови певної узагальненої, універсальної моделі мережі доступу та її архітектури, яка враховуватиме щораз вибагливіші потреби користувачів у послугах мережі.

Таку узагальнену архітектуру та модель мережі доступу визначено ІТУ-Т у Рекомендації G.902 (11/95). На рис. 9.7 наведено узагальнену архітектуру мережі доступу, описану в цій рекомендації.



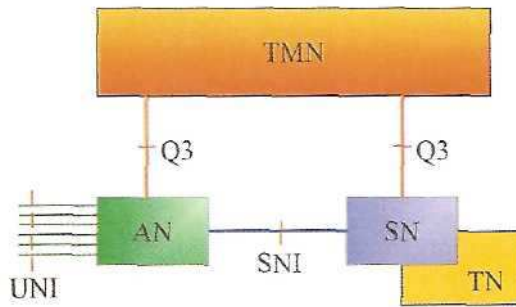


Рис. 9.7. Узагальнена архітектура мережі доступу

Елементами узагальненої архітектури мережі доступу є:

- **TMN** (Telecommunication Management Network) — мережа керування телекомунікаціями;
- **UNI** (User-Network-Interface) — інтерфейс користувач-мережа;
- **AN** (Access Network) — мережа доступу;
- **SNI** (Service Node Interface) — інтерфейс сервісного вузла;
- **SN** (Service Node) — сервісний вузол;
- **TN** (Transport Network) — транспортна мережа;
- **Q3** - інтерфейс керування.

На мережу керування телекомунікаціями TMN покладено завдання підтримувати функціональність усіх елементів мережі, що здійснюється шляхом постійного контролювання інтерфейсом Q3 операційних систем

керування, конфігурації та координації ресурсів, контролювання безпеки. Опції повномасштабного керування повинні охоплювати мережі доступу різних операторів на великих територіях (у межах міст, областей).

Як бачимо, мережа доступу AN присутня в даній архітектурі як сегмент телекомунікаційної мережі, що забезпечує доступ користувачів до сервісного вузла SN. Її функціями є концентрація каналів користувачів, мультиплексування сигнальної і пакетної інформації, контролювання та керування.

Транспортна мережа TN забезпечує можливість доступу до різних сервісним вузлів.

Функціями інтерфейсів користувачів UNI є: під'єднання терміналів користувачів; аналогово-цифрове та цифрово-аналогове перетворення; перетворення сигналів (інтерфейсів); активація/деактивація UNI; тестування; контроль, керування та обслуговування.

Прикладами функцій інтерфейсів сервісних вузлів SNI є: під'єднання мереж доступу до сервісних вузлів, концентрація функцій контролю, керування, обслуговування в мережах доступу, тестування, управління, контроль та обслуговування інтерфейсів.

Зразками типів сервісних вузлів SN є: вузли телефонного зв'язку, вузли N-ISDN, вузли B-ISDN, вузли відокремлених ліній, вузли пакетної комутації, вузли пакетного передавання через виділені лінії, вузли відео та радіопрограм аналогового

мовлення, вузли відео та радіопрограм цифрового мовлення, вузли відео та радіопрограм на запит, вузли Інтернет.

На рис. 9.8 відтворено узагальнену модель мережі доступу, в якій відображено її основні ділянки, елементи, блоки та системи.

На цій моделі мережа доступу є сукупністю абонентських ліній та обладнання (станцій) місцевої мережі, які забезпечують доступ абонентських терміналів до транспортної мережі та місцевий зв'язок без виходу в транспортну мережу.

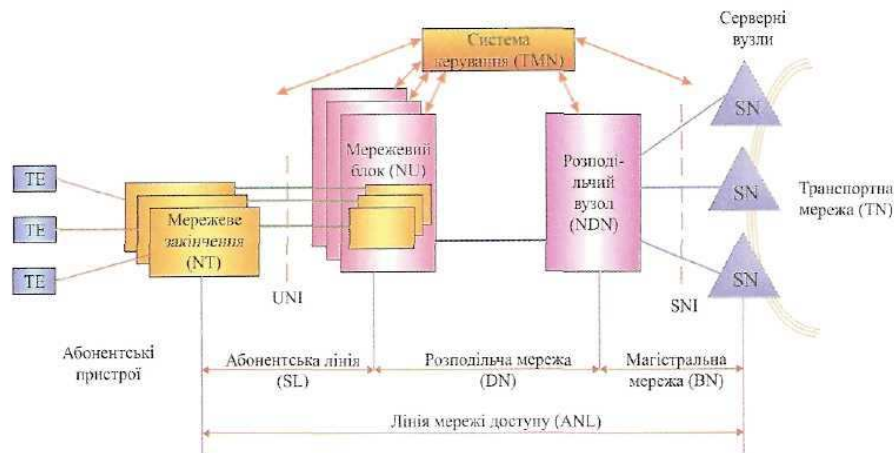


Рис. 9.8. Модель мережі доступу

Мережеве закінчення NT (Network Termination) дає змогу під'єднувати один або декілька користувацьких терміналів TE (Termination Equipment).

Мережевий блок NU (Network Unit) забезпечує первинний доступ через мультиплексування й концентрацію трафіку та каналів, а розподільчий вузол DN (Distribution Node) — доступ абонентських пристроїв TE до сервісних вузлах SN.

У даній узагальненій моделі мережі доступу ІТУ-Т уперше вводиться поняття «лінія мережі доступу» (Access Network Line, ANL). Це лінія, яка з'єднує мережеве закінчення NT з сервісним вузлом SN і проходить через усю мережу

доступу. Вона може бути утворена фізичним ланцюгом (колом), каналом (аналоговим або цифровим), складовим каналом, віртуальним каналом або декількома каналами для однакових або різних послуг.

ANL проходить через абонентську лінію SL (Subscriber Line), інтерфейс UNI, мережевий блок NU, розподільчу мережу DN (Distribution Network), мережевий розподільчий вузол NDN (Network Distribution Node) та магістральну (транспортну) мережу BN (Backbone Network).

Отже, модель мережі доступу, визначена ІТУ-Т, відрізняється, наприклад, від звичної схеми мережі абонентського доступу на базі міської телефонної мережі. У порівнянні з містською ТфЗК, розглянута модель є універсальною мережею, в якій можуть бути гарантовані будь-які послуги. Мережі телефонних ліній непридатні для ширококутних послуг, однак вони можуть частково входити в мережі доступу на різних ділянках, наприклад, на ділянці розподілу, а також відповідній ділянці абонентських ліній. Для реалізації універсальних можливостей мережі доступу

можуть бути використані розглянуті вище системи передавання мідними лініями з застосуванням широкопasmових технологій, оптичного зв'язку та радіосистеми.

*Ієрархія мереж доступу.* З точки зору мережевого оператора, мережі доступу можна класифікувати відповідно до ієрархії сегментів: LAN, MAN, WAN. На рисунку 10.10 наведено схему такої структурованої мережі доступу.

Структуризація мережі доступу ґрунтується на принципі побудови ієрархічної моделі організаційної структури мережі. Нагадаємо, що ця модель відображає ієрархію рівнів доступу, розподілу та ядра.

Перераховані рівні, відповідно до побудови мереж доступу, можна розглядати, з одного боку, як рівні замикання трафіку в процесі організації внутрішньо сегментних зв'язків через опорні вузли, а з іншого боку — як рівні розташування *сервісних вузлів*. Функції *розподільчих вузлів* при цьому покладено на опорні вузли відповідних рівнів.

Таким чином, з точки зору мережевого оператора, побудова мережі доступу зводиться до організації сегмента формування вихідного трафіка СФВихТ від мережевих закінчень NT до опорного вузла того рівня, до якого під'єднано відповідні сервісні вузли. Якщо оператор поєднує свою діяльність з діяльністю провайдера послуг, він може зосередити функції розподільчого вузла та сервісного вузла (вузлів) у одному опорному вузлі.

Сервісні вузли SN різних провайдерів, як правило, розосереджені в мережі. У загальному випадку, доступ до них можна здійснювати через транспортні мережі різних рівнів (METRO, CORE). Хоча канали транспортних мереж забезпечують досить широку смугу пропускання, канали мереж доступу залишаються розрахованими на меншу швидкість.

Наприклад, термінали, розроблені для створення опорних магістралей, забезпечують доступ STM-64, і допускають під'єднання менш швидкісних потоків SDH тільки двох типів: STM-4 та STM-16. У разі необхідності організувати доступ менш швидкісними каналами, наприклад на основі STM-1 або на основі трибних інтерфейсів плезіохроної ієрархії E1, E2, E3 т і ін., окрім терміналу STM-64, потрібним буде додатковий мережевий пристрій, який зв'язуватиметься з терміналом доступу STM-4 або STM-16.

Мережеві пристрої, призначені для каналів STM-16 і більш низькошвидкісні, допускають реалізацію безпосереднього доступу, проте необхідність агрегації низькошвидкісних потоків мереж доступу, які направляються в транспортні мережі, поки ще залишається актуальною.

Ієрархічна модель організаційної структури мережі, як раніше зазначалося, допускає подання рівня розподілу кількома підрівнями, кількість яких залежить від ступеню агрегації інформаційних потоків, які доправляються в транспортну мережу. Малопотужні потоки об'єднуються в комутаційних вузлах підрівнів розподілу до необхідного ступеня агрегації та остаточно концентруються у вузлах доступу — терміналах транспортної мережі. Ступінь концентрації, як уже зазначалося, залежить від застосованої технології мультиплексування.

Ділянки мереж доступу, утворені використанням комутаційних вузлів підрівнів розподілу, можуть розглядатися як самостійні сегменти та мають назву «мережі

міжвузлового зв'язку» (Node Connection Network, **NCN**). Топологія фізичних зв'язків у сегментах NCN визначається на основі загальних правил побудови сегментів, а також вимог надійності та живучості мережі.

Вузли підрівнів розподілу є суто транзитними вузлами, а лінії зв'язку, які забезпечують їх поєднання, називають *з'єднувальними лініями*.

Традиційно мережі міжвузлового зв'язку NCN масштабу MAN класифікують як; нерайоновані, районовані без вузлування й районовані з вузлуванням (термінологія телефонних мереж), що, у свою чергу, характеризує ступінь розгалуженості мережі.

Так, нерайонована NCN є зоною, в якій мережа NCN спростилася до розміру одного опорного вузла, що, крім своїх основних функцій, забезпечує доступ до транспортної мережі METRO.

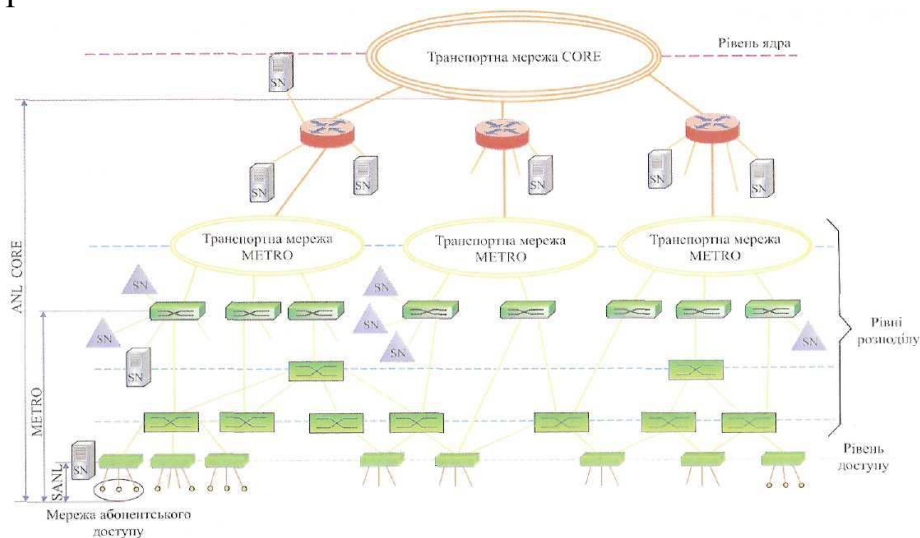


Рис. 9.9. Схема структурованої мережі доступу

### 3. Архітектурний аналіз телефонної мережі

Єдина мережа електрозв'язку України є ієрархічною системою, яка може бути представлена у вигляді просторової конструкції, що відбиває її архітектуру.

- Архітектура ЕМЕ має кілька рівнів: первинна мережа, вторинні мережі, система електрозв'язку, служби електрозв'язку.

- Основою ЕМЕ (першим рівнем архітектури) є первинна мережа, яка являє собою сукупність мережних вузлів, мережеских станцій та ліній передачі, які утворюють мережу типових каналів передачі і типових групових трактів, що з'єднуються апаратурою багатоканальних систем передачі.

- Первинна мережа охоплює територію всієї країни і має триступеневу структуру

- Магістральна первинна мережа розташовується на території всієї країни і з'єднує між собою типові канали і групові тракти різних внутрішньозонових первинних мереж в єдину мережу. Вона утворюється радіо, частіше радіорелейними і кабельними лініями передачі протяжністю 10 000 км, а при зв'язку між континентами - 25 000 км.

- Внутрішньозоновий первинна мережа розташовується в межах однієї зони, на території якої, як правило, збігається з адміністративними межами області, або авт.

Республіки Крим. Кожна внутрішньозоновий первинна мережа забезпечує з'єднання між собою типових каналів і трактів місцевих мереж цієї зони. Вона базується на радіорелейних і кабельних лініях передачі, максимальна довжина яких становить 600 км.

- Місцева первинна мережа створюється на території міста або сільського району при розгортанні повітряних і кабельних ліній передачі протяжністю до 100 км.

- Сукупність внутрішньозонової та місцевих первинних мереж на території, що збігається із зоною нумерації, утворює зону первинну мережу.

- На базі каналів передачі і групових трактів первинної мережі організовуються вторинні мережі, кожна з яких являє собою сукупність комутаційних станцій, вузлів комутації, кінцевих абонентських пристроїв і каналів вторинної мережі.

- Залежно від виду електрозв'язку вторинні мережі носять назви телефонної, телеграфної, мережі передачі даних, звукового мовлення, телевізійного мовлення і т. д.

- У вторинних мережах можуть здійснюватися комутація каналів, комутація пакетів і комутація повідомлень. Ці способи комутації реалізуються різними системами комутації. Наприклад, в телефонних системах електрозв'язку застосовуються автоматичні телефонні станції старого парку: релейні - АТС ВРС-20, релейно-блочні-АТС 10/40, декадно-крокові-АТС50/100 і АТС 100/500, координатні - ДО-40/80, АТС 50/200 (як правило, в сільських мережах), часто зустрічаються АТС К-100/2000, а також станції нового парку - електронні АТС «Квант», «Фобос» та ін.

- Каналах зв'язку вторинної мережі присвоюється назва залежно від приналежності до виду зв'язку, наприклад телефонний канал зв'язку, телеграф канал зв'язку, канал передачі даних і т. д.

- УС - вузлова телефонна станція сільської мережі, забезпечує телефонним зв'язком абонентів сільського населеного пункту між собою та про абонентами кінцевих телефонних станцій, включених в цю станцію, їх транзитні з'єднання, а також вихід цих абонентів на центральну станцію даного адміністративного району.

- ЦС - центральна станція сільській телефонній мережі, що забезпечує телефонним зв'язком абонентів даного райцентру між собою та з абонентами різних сільських телефонних станцій району, транзитні з'єднання абонентів кінцевих і вузлових станцій, а також вихід абонентів району на внутризонову і міжміський телефонні мережі.

- ОС - крайова станція сільській телефонній мережі, що забезпечує телефонним зв'язком абонентів сільського населеного пункту, а також їх вихід на ЦС або УС.

- ТУ - транзитний вузол, що забезпечує встановлення транзитних з'єднань між телефонними станціями.

- Вузли та станції вторинних мереж розміщуються, як правило, спільно (в одному населеному пункті або будівлі) з відповідними вузлами та станціями первинних мереж, які надають необхідну кількість мережевих трактів і каналів передачі.

- Таким чином утворюються різні підприємства зв'язку: територіальні автоматизовані вузли керування та комутації (ТАУК), експлуатаційно-технічні

вузли зв'язку (СТУС), міжміські телефонні станції (МТС), районні вузли електрозв'язку та ін.

Система електрозв'язку може включати в себе одну або кілька служб електрозв'язку.

- Служба електрозв'язку являє собою організаційно-технічну структуру на базі мережі зв'язку (або сукупності мереж зв'язку), що забезпечує обслуговування зв'язком користувачів з метою задоволення їх потреб у певному наборі послуг електрозв'язку.
- Розрізняють два види служб електрозв'язку: служби передачі і телеслужбу (служби надання зв'язку).
- Служба передачі - це служба електрозв'язку, що забезпечує тільки можливість передачі сигналів по мережі зв'язку між сти́ками мережі з кінцевими абонентськими пристроями (наприклад, служба передачі даних). Такі служби регламентуються МСЕ трьома нижніми рівнями ЭМВОС. Кінцеві пристрої передачі в службу не входять.
- Телеслужба - служба електрозв'язку, яка зорганізується з метою безпосереднього обміну повідомленнями між кінцевими пристроями користувачів через мережі електрозв'язку.
- Телеслужба організується на базі систем передачі і кінцевих пристроїв. Прикладами є служби телефонного зв'язку, телекса, бюрофакса та ін.
- Служби електрозв'язку класифікуються за такими ознаками: виду переданих повідомлень, наявності кінцевих пристроїв користувачів, ступеня доступності для користувачів, характером обміну повідомленнями, методу обслуговування користувачів, використовуваної середовища поширення сигналів електрозв'язку.

### **Класифікація служб електрозв'язку**

• За характером обміну повідомленнями служби поділяються на двосторонні (діалогові або недіалогові) і односторонні.

Двосторонні діалогові служби орієнтовані на взаємодію споживачів та представлені службами телефонного зв'язку, абонентського телеграфу, телекса, передачі даних, відеотекса та ін.

Двосторонні не діалогові - це служби, не потребують взаємодії споживачів; вони представлені службами передачі телеграм, бюрофакса, обробки повідомлень та ін.

Односторонні служби забезпечують односторонню передачу і представлені службами розподілу програм звукового мовлення (ЗВ) і телебачення (ТБ), передачі газетних смуг, персонального радіовиклику.

- За методом

### *Висновок*

Спеціалісти в сфері телекомунікацій повинні знати і використовувати як структуру так і архітектуру мереж. Розвиток мереж базується на забезпеченні потреб користувачів. А тому цьому надається головна увага. Обслуговування користувачів служби електрозв'язку класифікуються на абонентські і клієнтські.

Абонентські служби надають послуги користувачам у приміщеннях абонентів з допомогою кінцевих пристроїв, що знаходяться в розпорядженні користувачів.

Клієнтські служби надають послуги користувачам за допомогою кінцевих пристроїв, встановлюваних у пунктах колективного користування (прийому телеграм, телефонних переговорних, розташування таксофонів, служби бюрофакса і т. д.).

По використовуваній середовища поширення сигналів електрозв'язку служби електрозв'язку можна підрозділити на працюючі по дротових каналах і радіоканалах. Так, виділяють служби провідного зв'язку та кабельного ТБ, відокремлюючи їх від відповідних служб ефірного мовлення, які не входять до складу ЄСЕ України.

#### *Виконати самостійне завдання № 9.*

1. Вивчити питання лекції.
2. Виконати підготовку до заліку. Переглянути матеріал лекцій за темами 1-4.

#### *Література:*

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ, "Техніка", 2001.- с. 122-135.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. Київ, "Техніка", 2002. – с. 433-454.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 4изд.-СПб.: 2010.- с. 108-136.
4. Сосновский О.А. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети. – Минск: БГЭУ, 2007.-176с.
5. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: підручник/ П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708с.

#### *Загальні висновки*

Традиційні мережі електрозв'язку епохи панування аналогової телефонії вже давно пережили столітній ювілей і сформували свою стійку термінологію. Розвиток цифрових мереж і систем зв'язку, захоплює період з початку 60-х і аж до 90-х років минулого століття. Він супроводжувався переважно термінологією мереж цифрової телефонії.

Комп'ютерні технології та обчислювальна техніка розвивалися хоч і паралельно з цифровими системами зв'язку, але істотно більш швидкими темпами. Відбувалася швидка зміна поколінь ЕОМ, багатомашинні комплекси витіснялися багатопроцесорними системами обробки інформації з мережевою архітектурою. Термінологія в цій області охоплювала значно більший коло понять, ніж у техніці цифрового зв'язку.

Можна також з упевненістю стверджувати, що саме розвиток обчислювальної техніки, її архітектури, стало джерелом розробки принципів і модельних рішень,

використовуваних у сучасних мережних технологіях. Комп'ютерні мережі не тільки конвергували в мережі загального користування, а завдяки інтеграції послуг стали головними і висувають вимоги до сучасних мереж. Серед головних вимог – підвищення пропускної спроможності для забезпечення роботи обладнання високошвидкісних технологій.

Саме тому друга частина курсу присвячена розгляду особливостей побудови телекомунікаційних мереж нового покоління - NGN, що базуються на сучасних високошвидкісних технологіях провідного та радіо зв'язку як у транспортному ядрі так і у мережі доступу до нього.