

Г. А. Проскура

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В ІНФОКОМУНІКАЦІЯХ

2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Г. А. Проскура

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В ІНФОКОМУНІКАЦІЯХ

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2017

Рецензенти: канд. фіз.-мат. наук В. Б. Єфімов,
канд. фіз.-мат. наук О. М. Роєнко

Проскура, Г. А.
П82 Системний аналіз в інфокомунікаціях [Електронний ресурс] :
навч. посіб. / Г. А. Проскура. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім.
М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2017. – 104 с.

Подано загальносистемне уявлення про телекомунікаційні й інформаційні мережі, технології, що застосовуються для їх будувannya, і послуги, які можуть надаватися. Викладено загальні принципи будувannya мереж, наведено основні поняття й означення, моделі опису мережної архітектури, стандарти протокольних моделей, принципи будувannya телекомунікацій, а також математичні моделі, методи аналізу й синтезу телекомунікаційних мереж.

Для студентів технічних вузів спеціальності «Телекомунікації і радіотехніка».

Іл. 20. Табл. 6. Бібліогр. : 8 назв

УДК 621.39:519.17(075.8)

© Проскура Г. А., 2017
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
2017

ВСТУП

Розвиток телекомунікаційних мереж є елементом загального процесу розвитку суспільства і тісно пов'язаний майже з усіма процесами, що відбуваються в суспільних відносинах, науці й техніці, промисловості та інших областях діяльності людини. Зростання потреби в інформаційному обміні і його значущості в житті забезпечує сприятливі умови для розвитку й упровадження новітніх технологій у мережах телекомунікацій, які, зі свого боку, також впливають на процеси, що відбуваються в житті й діяльності людини. Під час еволюційного розвитку змінюються обсяги переданої інформації, види її подання, способи пересилання й зберігання, кількість джерел і споживачів, розподіл між користувачами, вимоги до своєчасності й достовірності. Зростання значущості інформації в житті суспільства, а також розвиток засобів її пересилання, оброблення й зберігання приводять до посилення значення інфокомунікаційної системи, тобто області діяльності, що містить усі інформаційні об'єкти (користувачі та інші джерела і споживачі інформації) і засоби й способи доставки інформації (телекомунікаційні системи). Згідно з існуючими уявленнями інфокомунікаційна система – це сукупність, що містить суті інформаційної і телекомунікаційної систем. Інформаційна система складається з інформації (потенційної інформації) і користувача. Телекомунікаційна система забезпечує перенесення інформації від джерела до споживача. Відповідно до цього інфокомунікаційну систему (ІКС) утворює сукупність телекомунікаційної мережі (телекомунікаційної підсистеми), прикладної підсистеми (засобів зберігання й оброблення інформації, прикладних процесів), а також підсистеми джерел і споживачів інформації (призначені для користувача підсистеми) [9]. Таким чином, інформаційно-комунікаційна мережа являє собою складну систему, тому для її вивчення зручно використовувати системний підхід. Саме з позицій системного підходу математична модель телекомунікаційної системи уявляється найбільш адекватною у вигляді складної розподіленої керованої організаційно-технічної структури, що обробляє випадковий трафік.

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ Й ОЗНАЧЕННЯ

Сьогодні вивчення дисципліни «Системний аналіз в інфокомунікаціях» є надто актуальним, а значення телекомунікацій та інформатизації – дуже великим.

Сучасний світ характеризується значною інформатизацією суспільства, яка є настільки значущою, що нинішнє суспільство спеціалісти загальноведено називають інформаційним. Пересилання, зберігання й оброблення інформації стають головною рухомою силою розвитку суспільства. Технічною базою для такого розвитку є інфокомунікаційні системи й технології (інфокомунікації). Згідно з існуючими уявленнями *інфокомунікаційна система* – це сукупність, що містить *інформаційну й телекомунікаційну* системи [1].

Розкриємо суть цих понять і з'ясуємо, у чому полягає їх відмінність і що їх об'єднує.

1.1. Телекомунікаційна мережа

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

Під засобами телекомунікацій розуміють лінії зв'язку, пристрої з'єднання середовищ, системи пересилання, комунікаційні пристрої мережі, обладнання сигналізації та ін.

Об'єктами можуть бути як термінальні пристрої користувачів і кінцеві системи мережі, так і окремі мережі. Кінцем (інтерфейсною точкою) телекомунікаційної мережі є або телекомунікаційний рознім, до якого під'єднано пристрій користувача (мережний інтерфейс), або кінцеве мережне обладнання, яке забезпечує з'єднання мереж (міжмережний інтерфейс).

Телекомунікаційні мережі можна класифікувати за типом режиму перенесення інформації (транспортування) – синхронні й асинхронні і технологічними характеристиками – середовищем пересилання, заданою

шириною смуги пропускання, якістю пересилання сигналів, швидкістю пересилання та ін.

Телекомунікаційні мережі характеризують з допомогою таких **параметрів ефективності**:

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

2. **Живучість** – характеризується здатністю зберігати повну або часткову функціональність під впливом руйнівальних причин, які виникають поза межами мережі й призводять до виходу з ладу або значних пошкоджень деякої частини її елементів (пунктів і ліній зв'язку).

3. **Пропускна здатність мережі** – її оцінювання значною мірою пов'язане з параметрами якості обслуговування, тому що реалізація конкретного навантаження має здійснюватися відповідно до заданих параметрів якості.

4. **Якість обслуговування** – визначається сукупністю показників, які відображають рівень відповідності телекомунікаційної мережі нормам експлуатації і вимогам користувачів.

5. **Рентабельність і вартість** – це зведені (загальномережні) витрати, які визначають її вартість з урахуванням експлуатації й керування. Телекомунікаційна мережа є рентабельною, якщо витрати на її організацію і забезпечення працездатності окупаються доходом від наданих користувачам послуг.

1.2. Інформаційна мережа

Інформаційна мережа (Information Network, **IN**) як *фізичний об'єкт* – це сукупність територіально розрізнених кінцевих систем, об'єднаних телекомунікаційною мережею, з допомогою якої забезпечується взаємодія прикладних процесів, активізованих у кінцевих системах, і їх колективний доступ до ресурсів мережі.

Детально пояснимо введені в означенні терміни.

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

Прикладні процеси (Application Processes, **AP**) – це процеси, які ініціюються кінцевими системами під час запуску програм користувача.

Процеси взаємодії (Interworking Processes) – це процеси в мережі, призначені для обслуговування прикладних процесів. Наприклад, визначення форматів подання інформації для пересилання мережею, установлення режимів пересилання даних, визначення маршрутів просування інформації та ін.

Прикладні процеси й процеси взаємодії підтримуються *мережними операційними системами* (МОС).

Кінцеві системи мережі можна класифікувати таким чином:

- *термінальні системи* (Terminal System) – комп'ютери користувачів мережі;
- *хостингові системи* (Host System) – комп'ютери, на яких розміщено інформаційні й програмні ресурси мережі;
- *сервери* (Servers) – комп'ютери, на яких інстальовано спеціальне програмне забезпечення, яке дає змогу надавати мережні сервіси (керування доступом для великої кількості користувачів до інформаційних ресурсів, пристроями колективного користування, реєстрація користувачів і контроль за їх правами доступу до мережі та ін.). Серверний комп'ютер можна налаштувати як для роботи в режимі хоста (інформаційний сервер), так і в режимі комунікаційного пристрою (наприклад, шлюзу);
- *адміністративні системи* (Management System) – комп'ютери, які забезпечують роботу додатків керування мережею й окремих її частин.

Ресурси мережі поділяють на такі:

- інформаційні;
- ресурси оброблення й зберігання даних;
- програмні ресурси;
- комунікаційні ресурси.

Інформаційні ресурси – це сукупність документів в інформаційних системах. Ці ресурси визначають споживчу цінність інформаційної мережі, тому їх необхідно постійно створювати й поповнювати, вчасно архівувати й оновлювати. Користування мережею має забезпечувати можливість отримувати актуальну інформацію саме тоді, коли в ній виникає потреба.

Ресурси оброблення й зберігання даних – це продуктивність процесорів та обсягів пам'яті комп'ютерів, які працюють у мережі, а також час, протягом якого їх використовують.

Програмні ресурси – це ресурси, які складаються з мережного програмного забезпечення (серверного, прикладного, робочих станцій, мережних операційних систем) та інструментальних засобів (утиліти, аналізатори проходження трафіка, засоби мережного контролю, а також програми додаткових функцій, основними серед яких є виписування рахунків, облік оплати послуг, навігація, перетворення форматів переданих інформаційних повідомлень, криптозахист інформації, аутентифікація).

Комунікаційні ресурси – це ресурси, які застосовують при транспортуванні й перерозподілі потоків інформації в мережі.

Уся інтелектуальна робота в інформаційній мережі виконується на периферії, тобто в кінцевих системах мережі, а телекомунікаційна мережа, хоча й займає центральне положення, є лише з'єднувальним компонентом (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Інформаційна мережа

Телекомунікаційна мережа у складі інформаційної виконує функції транспортувальної системи. В інформаційній мережі основними є

інформаційні процеси, які виникають під час взаємодії кінцевих систем через телекомунікаційну мережу. Основною вимогою, якій має відповідати інформаційна мережа, є забезпечення користувачів *ефективним доступом до ресурсів, що можуть розділятися* (тобто колективного використання). Усі інші вимоги – пропускну здатність, надійність, живучість – лише забезпечують якісне виконання цієї основної вимоги.

Параметри оцінювання ефективності інформаційної мережі:

1. **Час реакції мережі**, який визначається як інтервал часу між поданням запиту користувача до певної мережної служби й отриманням відповіді на цей запит.

2. **Затримка передачі**, що визначається як час між моментом надходження пакета даних на вхід будь-якого мережного пристрою або фрагмента мережі й моментом виходу з неї. Цей параметр характеризує етапи часового оброблення пакетів при проходженні їх мережею.

3. **Варіація затримки** (джитер затримки), яка характеризує коливання затримки в часі.

4. **Прозорість**, що характеризується властивістю мережі приховувати від користувача принципи її внутрішньої організації. Користувач не повинен знати місцезнаходження програмних та інформаційних ресурсів.

1.3. Інфокомунікаційна мережа

Сьогодні відбувається незворотне взаємопроникнення різних за походженням і принципами роботи мереж, таких, наприклад, як мережі пересилання комп'ютерних даних і мережі передання мовного (телефонного) трафіка. Це свідчить про те, що еволюція мереж зв'язку відбувається в напрямі конвергенції (від англ. convergence – зближення, сходження в одну точку).

Конвергенція в телекомунікаціях – це забезпечення майже однакових наборів послуг різними за технологічними можливостями мережами або об'єднання кінцевих пристроїв, таких, як телефон, персональний комп'ютер і TV-приймач, у єдиний термінал.

При конвергенції передбачається створення єдиної мережі, здатної надавати телекомунікаційні й інформаційні послуги інтегровано, а також

забезпечувати можливість необмеженого розширення спектра різних послуг. Підкреслюючи нерозривний зв'язок інформаційних і телекомунікаційних компонентів у формуванні й наданні послуг мережею, у технічній літературі часто використовують такі інтегровальні поняття, як «інфокомунікації», «інфокомунікаційна мережа».

Інфокомунікації – це сукупність мережних ресурсів, призначених для спільного застосування у виробництві й наданні телекомунікаційних, інформаційних та інших послуг інформаційного суспільства.

Інфокомунікаційна мережа – це комплекс термінальних пристроїв користувачів, кінцевих систем мережі й універсальної платформи виробництва й надання послуг, які відповідають різним вимогам користувачів до їх типу і якості.

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

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

До основних технологічних особливостей, що відрізняють інфокомунікаційні послуги від послуг традиційних мереж зв'язку, можна віднести такі:

- інфокомунікаційні послуги перебувають на верхніх рівнях моделі взаємодії відкритих систем (тоді як послуги зв'язку надаються на третьому мережному рівні);
- у більшості інфокомунікаційних послуг припускається наявність клієнтської і серверної частин; клієнтська частина реалізується в устаткуванні користувача, а серверна — на спеціальному виділеному вузлі мережі, що має назву *вузла служб*;
- при наданні інфокомунікаційних послуг зазвичай пересилається мультимедійна інформація, що характеризується високими швидкостями

пересилання даних і несиметричністю вхідного й вихідного інфокомунікаційних потоків;

- для надання інфокомунікаційних послуг найчастіше необхідними є складні багатоточкові конфігурації з'єднань;

- для інфокомунікаційних послуг характерною є різноманітність прикладних протоколів і можливостей щодо керування послугами з боку користувача;

- для ідентифікації абонентів інфокомунікаційних послуг може використовуватися додаткова адресація в межах певної інфокомунікаційної послуги.

1.4. Глобальна інформаційна інфраструктура

Кінцева мета розвитку інфокомунікацій – створення глобальної інформаційної інфраструктури.

Глобальна інформаційна інфраструктура, ГІІ (Global Information Infrastructure, **GII**) – *це інтегрована загальносвітова інформаційна мережа масового обслуговування населення на основі інтеграції глобальних і регіональних інформаційно-комунікаційних систем, а також систем цифрового телебачення й радіомовлення, супутникових систем і систем пересувного зв'язку.*

Базові технології ГІІ містять [2]:

- комп'ютерну технологію;
- телекомунікаційну технологію;
- технологію побутових електронних приладів (consumer electronics);
- технологію інформаційних застосувань або сервісів, що мають назву також індустрії змісту, або індустрії додатків (content or application industry).

Важливою особливістю комбінацій базових технологій, що задовольняють вимоги концепції ГІІ, є їх узгодженість, цілісність і закінченість у тому сенсі, що ці комбінації технологій визначають закінчені сценарії надання послуг (сервісу) кінцевому користувачеві.

Основоположні принципи ГІІ:

- а) сприяння відкритій конкуренції;
- б) залучення приватних інвестицій;
- в) визначення гнучких регулювальних структур;
- г) забезпечення відкритого доступу до мереж;
- д) гарантія забезпечення загального доступу до послуг, а саме:
 - *мобільність* – можливість доступу до послуг з різних місць і під час руху, при цьому визначення й локалізація джерела надходження запитів мають забезпечуватися мережею;
 - *номадизм* – можливість вільного переміщення, зберігаючи при цьому доступ до послуг, тобто безперервність доступу в просторі й часі;
- е) забезпечення рівних можливостей для користувачів; сприяння різноманітності змісту ГІІ;
- ж) визнання необхідності міжнародної співпраці.

Ці принципи можна реалізувати завдяки такому:

- підтримка здібності до взаємодії і взаємозв'язку;
- розвиток глобальних ринків для мереж, послуг і додатків;
- гарантія конфіденційності й захисту даних;
- захист прав інтелектуальної власності;
- співпраця в науково-дослідній діяльності й при розробленні нових застосувань;
- моніторинг соціального й суспільного значення інформаційного суспільства.

Глобальні розроблення з ГІІ проводяться окремими консорціумами й індустріальними форумами.

У рекомендації Y.101 ГІІ розглядається як майбутня інфраструктура інформаційного суспільства, що обслуговує його інформаційні (науку, освіту, засоби масової інформації, рекламу і т. д.) та інші структури. Інформація створюється і споживається кінцевими користувачами, а в ГІІ – зберігається, обробляється і пересилається на відстані. Компонентами мережної інфраструктури ГІІ можуть бути різні типи сучасних мережних технологій, інтегрованих у єдине телекомунікаційне середовище (наприклад, мережними компонентами ГІІ можуть бути системи вузькосмугового й широкосмугового доступу ISDN (N-ISDN, B-ISDN), мережі пакетної комутації PSDN, мережі кабельного телебачення CATV,

сучасні локальні мережні технології LAN та ін.). Модель доступу користувачів до прикладних і комунікаційних сервісів зображено на рис. 1.2.

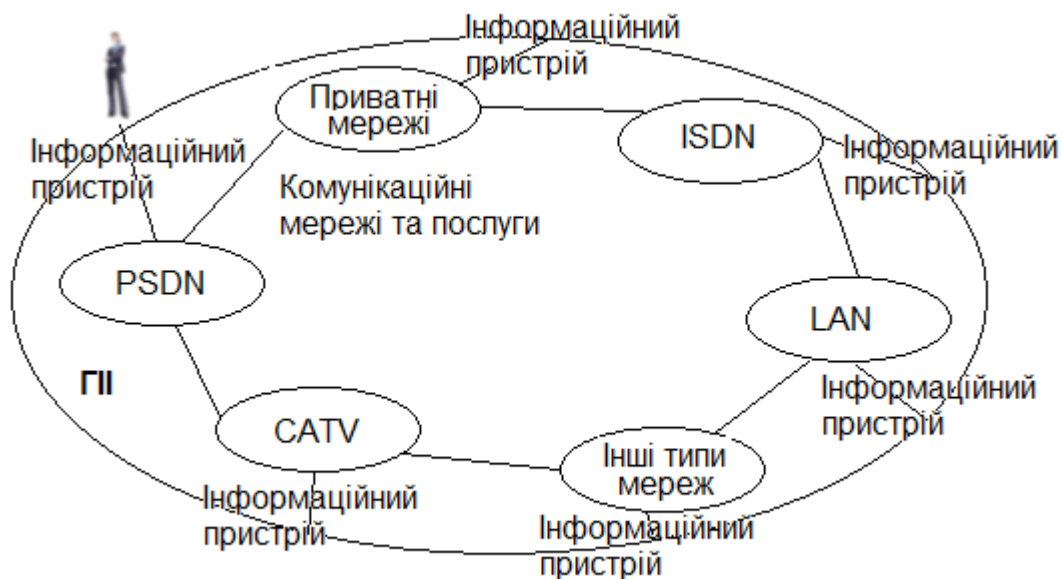


Рис. 1.2. Модель доступу до прикладних і комунікаційних сервісів ГІІ

Контрольні запитання

1. Поясніть терміни «телекомунікації», «телекомунікаційна мережа», «інформаційна мережа», «інфокомунікаційна мережа».
2. За якими параметрами оцінюють ефективність телекомунікаційної мережі?
3. Охарактеризуйте кінцеві системи й ресурси інформаційної мережі.
4. За якими параметрами оцінюють ефективність інформаційної мережі?
5. У чому полягає відмінність телекомунікаційного й інформаційного аспектів дослідження мереж і що в них є спільного?
6. Поясніть термін «конвергенція». За якими напрямками здійснюється процес конвергенції в галузі зв'язку?
7. Дайте означення поняттю «інфокомунікації».
8. Яким є призначення Глобальної інформаційної інфраструктури?

2. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І ЙОГО ОСОБЛИВОСТІ

Інфокомунікаційна мережа належить до класу об'єктів, які називають складними, або великими, системами. Такі системи за своїм складом є гетерогенними, тобто характеризуються величезною кількістю неоднорідних елементів і зв'язків між ними. Вивчення й дослідження складних систем доцільно здійснювати з позицій системного підходу.

2.1. Системний підхід і його основні принципи

Системний підхід – *напрямок методології досліджень, який полягає в дослідженні об'єкта як цілісної множини елементів у сукупності відношень і зв'язків між ними, тобто розгляд об'єкта як моделі системи.*

Основні принципи системного підходу [3]:

- *цілісність*, яка дає змогу розглядати систему одночасно і як єдине ціле, і як підсистему зверхніх рівнів;
- *зв'язність* – розгляд будь-якої частини спільно з її зв'язками з оточенням;
- *принцип декомпозиції* складної системи на підсистеми зі збереженням усіх внутрішніх і зовнішніх зв'язків;
- *ієрархічність побудови*, тобто наявність кількох (принаймні двох) елементів, розташованих на основі підпорядкування елементів нижчого рівня елементам вищого рівня;
- *структуризація*, яка дає змогу аналізувати елементи системи і їх взаємозв'язки в межах конкретної організаційної структури; зазвичай процес функціонування системи зумовлений не стільки властивостями її окремих елементів, скільки властивостями самої структури;
- *множинність*, що дає змогу використовувати декілька кібернетичних, економічних і математичних моделей для опису окремих елементів і системи в цілому;
- *системність* – властивість об'єкта мати всі ознаки системи.

Основні означення системного підходу:

- *система* – сукупність елементів і зв'язків між ними, яка утворює певну цілісність, єдність;

- *структура* – стійка в часі сукупність функціональних елементів системи й внутрішніх зв'язків між ними;
- *процес* – динамічне змінення системи в часі;
- *функція* – робота елемента в системі;
- *стан* – положення системи відносно інших її положень;
- *системний ефект* – такий результат спеціальної переорганізації елементів системи, коли ціле стає більшим, ніж проста сума частин.

Розгорнуте визначення системного підходу містить обов'язковість вивчення й практичного використання восьми його аспектів [4].

Аспекти системного підходу:

- *системно-елементний, або системно-комплексний*, який полягає у виявленні елементів, складових певної системи;
- *системно-структурний*, який полягає у з'ясуванні компонентів і елементів, внутрішніх зв'язків і залежностей між елементами певної системи, що дає змогу отримати уявлення про внутрішню організацію (будову) досліджуваної системи;
- *системно-функціональний*, який потребує виявлення функцій, для виконання яких створено й існують відповідні системи;
- *системно-цільовий* – необхідність наукового визначення завдань і підзавдань системи, їх взаємних зв'язків;
- *системно-ресурсний*, який полягає в ретельному виявленні ресурсів, потрібних для функціонування системи, вирішення системою тієї чи іншої проблеми;
- *системно-інтеграційний*, який полягає у визначенні сукупності якісних властивостей системи, що забезпечують її цілісність і особливість;
- *системно-комунікаційний* – необхідність виявлення зовнішніх зв'язків певної системи з іншими, тобто її зв'язків з навколишнім середовищем;
- *системно-історичний*, який дає змогу з'ясувати умови в часі, що вплинули на виникнення досліджуваної системи, етапи її розвитку, сучасний стан, а також можливі перспективи розвитку.

Поняття системного підходу пов'язане з таким поняттям, як «системний аналіз».

2.2. Системний аналіз. Класифікація проблем

Системний аналіз – науковий метод пізнання, що являє собою послідовність дій зі встановлення структурних зв'язків між елементами досліджуваної системи, і спирається на комплекс загальнонаукових, експериментальних, природничих, статистичних і математичних методів.

Відмінності системного аналізу від інших методів дослідження:

- у ньому враховується принципова складність об'єкта, що досліджується; беруться до уваги розгалужені та стійкі взаємні зв'язки його з оточенням; ураховується неможливість спостереження деяких властивостей об'єкта й навколишнього середовища;
- реальні явища, їх властивості й зв'язки з оточенням переводяться далі в абстрактні категорії теорії систем;
- у ньому враховуються відомі властивості складних систем, що дає змогу виявити нові конкретні властивості й взаємні зв'язки конкретного об'єкта дослідження;
- містить як один із важливих етапів визначення об'єкта (в інших методах об'єкти визначено точно);
- основою є не розв'язання «правильно сформульованих» задач, а створення правильної постановки задачі, вибір відповідних методів для її розв'язання;
- основне в системному аналізі – знайти шлях, за яким можна перетворити складну проблему на більш просту, яким чином не лише складну до розв'язання, але й для розуміння проблему перетворити на послідовність задач, для яких існують методи їх розв'язання.

У цілому системний аналіз складається з таких процедур [5]:

- формулювання проблеми;
- визначення цілей;
- визначення критеріїв досягнення цілей;
- будування моделей для обґрунтування рішень;
- пошук оптимального (допустимого) варіанта рішення;
- узгодження рішення;
- підготовка рішення до реалізації;

- керування процесом реалізації рішення;
- перевірка ефективності рішення.

Цінність системного підходу полягає в тому, що категорії системного аналізу є основою для логічного й послідовного підходу до проблеми прийняття рішень. Ефективність вирішення проблем з допомогою системного аналізу визначається структурою розв'язуваних проблем.

Класифікація проблем:

- *добре структуровані* (well-structured), або кількісно сформульовані, у яких істотні залежності з'ясовано дуже добре;
- *неструктуровані* (unstructured), або якісно виражені, що містять лише опис найважливіших ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими є абсолютно невідомими;
- *слабо структуровані* (ill-structured), або змішані, які містять як якісні, так і маловідомі, невизначені елементи, що мають тенденцію домінувати.

Для вирішення добре структурованих кількісно виражених проблем використовується *методологія дослідження операцій*, яка полягає в будівництві адекватної математичної моделі й застосуванні методів для відшукування оптимальної стратегії управління цілеспрямованими діями.

Системні методи й процедури системного аналізу:

- абстрагування й конкретизація;
- аналіз і синтез;
- індукція і дедукція;
- композиція і декомпозиція;
- лінеаризація і виокремлення нелінійних складових;
- інші методи й процедури.

Абстрагування – метод, який дає змогу переходити від конкретних питань до загальних понять і законів розвитку. Зміст цього методу полягає в суттєвому відволіканні від несуттєвих властивостей, зв'язків, відносин, предметів і в одночасному виокремленні, фіксуванні певних сторін цих предметів, що цікавлять дослідника.

Конкретизація – метод дослідження предметів у всій їх різноманітності, якісній багатогранності реального існування на відміну від абстрактного вивчення предметів.

Аналіз – розчленування предмета пізнання, абстрагування його окремих сторін або аспектів.

Синтез – метод вивчення об'єкта у його цілісності, єдиному й взаємному зв'язку його частин. Синтез пов'язаний з аналізом, оскільки дає змогу поєднати частини предмета, розчленованого під час аналізу, установити їх зв'язок і пізнати предмет як єдине ціле.

Індукція – метод пізнання, який дає змогу одержати загальний висновок на основі аналізу окремих фактів.

Дедукція — спосіб дослідження, при якому окремі положення логічно виводяться із загальних положень (аксіом, постулатів, законів).

Декомпозиція – науковий метод, у якому передбачається заміна вирішення завдання вирішенням серії менших завдань; процес поділу, що дає змогу розглядати будь-яку досліджувану систему як складну, що складається з окремих взаємозв'язаних підсистем, які зі свого боку складаються з елементів.

Для вирішення слабоструктурованих проблем використовується методологія системного аналізу, системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Зазначимо, що в більшості випадків системний аналіз застосовується до добре структурованих (детермінованих) систем. Погано структуровані (неструктуровані) системи і сьогодні є предметом глибоких наукових експериментів.

Можливим є й інший підхід класифікації, а саме *класифікація проблем відповідно до актуальних задач, що виникають під час створення систем інфокомунікацій і їх експлуатації* [7]:

- завдання розподілу – завдання з розподілу обмежених ресурсів;
- завдання з управління запасами – оптимізація величини запасу;
- завдання пошуку – знаходження об'єкта з певними характеристиками;
- завдання вибору маршруту та ін.

Методи вирішення зазначених проблем є досить різноманітними, але всі базуються на будівництві адекватної математичної моделі, за якою вибирають методології дослідження операцій. До неї належать:

1. **Аналітичні методи** (установлюються аналітичні й формульні залежності між умовами розв'язуваної задачі та її результатами):

- *методи теорії ймовірностей* – виробляються рішення, що залежать від умов випадкового характеру;

- *методи теорії масового обслуговування* – розглядаються моделі систем масового обслуговування, у яких запит на обслуговування надходить у випадкові моменти часу;

- *метод динаміки середніх* застосовується в тих випадках, коли можна скласти залежності між умовами операції і її результатом, виходячи із середніх характеристик зазначених умов;

- *методи теорії марковських випадкових процесів*, які розроблено для опису операцій, що розвиваються випадковим чином у часі.

2. **Статистичні методи** (базуються на збиранні, обробленні й аналізі статистичних матеріалів, як отриманих унаслідок фактично дій, так і вироблених штучно шляхом статистичного моделювання на ЕОМ):

- *послідовний аналіз* – дає змогу приймати рішення на основі кількох гіпотез, кожна з яких відразу ж послідовно перевіряється, наприклад, під час перевірки якості партії виробів.

- *метод статистичних випробувань* (Монте-Карло) – полягає в тому, що процес операцій програється, немовби копіюється на ЕОМ, з усіма випадковостями, що можуть статися під час операції.

3. **Методи математичного програмування** (методи, призначені для найкращого розподілу наявних обмежених ресурсів, а також для складання раціонального плану операції):

- *метод лінійного програмування* – застосовується в тих випадках, коли усі елементи моделі (або змінні) описуються системою лінійних (1-го ступеня) рівнянь або нерівностей;

- *метод нелінійного програмування* – застосовується в тих випадках, коли елементи моделі (або змінні) описуються системою нелінійних (2-го ступеня і більше) рівнянь або нерівностей;

– *метод динамічного програмування* – застосовують для вибору найкращого плану виконання багатоетапних дій, коли результат кожного наступного етапу залежить від результату попереднього;

– *методи теорії графів*, у тому числі мережне планування.

4. Теоретико-ігрові методи:

– *теорія ігор* – застосовується в тих випадках, коли невизначеність обстановки спричинена свідомими, зловмисними діями сторони конфлікту;

– *теорія статистичних рішень* – застосовується тоді, коли невизначеність ситуації спричинена об'єктивними умовами, які або є невідомими, або мають випадковий характер.

Контрольні запитання

1. Дайте означення системного підходу.
2. Сформулюйте принципи системного підходу.
3. Як практично використовуються принципи системного підходу?
4. Дайте означення системного аналізу.
5. Наведіть класифікацію проблем.
6. Назвіть етапи системного аналізу.
7. Перелічіть методи системного аналізу.
8. Дайте означення терміну «декомпозиція».

3. МОДЕЛІ СИСТЕМНОГО ОПИСУ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

3.1. Поняття архітектури мережі

Інфокомунікаційні мережі мають усі ознаки складних систем і підпорядковуються відповідним закономірностям. Перелічимо найбільш характерні з них.

Властивості складних систем

1. **Ієрархічність** – розташування частин та елементів цілого в порядку від вищого до нижчого. Дотримуючись цієї закономірності, можна розчленовувати мережу на окремі підмережі (сегменти) нижчого порядку. Наприклад, глобальну мережу можна подати сукупністю територіальних мереж різного масштабу: континентальних, регіональних, міських, локальних та ін.

2. **Комунікаційність** – закономірність, яка вказує на численність зв'язків (комунікацій) системи: зовнішніх – з навколишнім середовищем і внутрішніх – з власними підсистемами й елементами. Це означає, що мережу будь-якого рівня ієрархії не можна розглядати ізольовано, без урахування факторів, які впливають ззовні з розташованих вище систем, і водночас не можна розчленовувати її без урахування типу взаємозв'язку підмереж та елементів нижчого порядку.

3. **Емергентність** – закономірність, що полягає в цілісності системи. Так, наприклад, у мережі можна виокремити такі функціонально важливі й відносно незалежні підсистеми, як система мережних застосувань, транспортна система, система керування мережею та ін. Жодну з цих систем не можна ототожнити з мережею зв'язку в цілому, і тільки їх взаємозв'язок відображає це поняття. З іншого боку, розглядаючи й вивчаючи структури окремих підсистем, можна поглибити своє уявлення про систему.

При системному підході передбачається 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 будування кількох окремих структур системи має назву «структуризація».

Отримані внаслідок структуризації окремі структури системи є взаємозв'язаними. Щоб відобразити міжструктурні зв'язки, ізольовані структури розташовують в ієрархічному порядку, де ієрархія відбудовується відповідно до пріоритету аспектів дослідження системи. Ієрархічна структура має назву «архітектура».

Архітектура – це багаторівневий опис системи, отриманий шляхом структуризації.

Уявлення про будову й функціонування інфокомунікаційної мережі як складної системи може бути сформовано завдяки будуванню й дослідженню її архітектури з такими окремими структурами:

- *топологічна*, за якою визначають розташування пунктів мережі й ліній зв'язку;
- *організаційна*, яка визначає тип, призначення, статус елементів мережі залежно від виконуваних ними функцій;
- *логічна*, з допомогою якої можна описати роботу мережі на рівні взаємодії мережних функцій і правил установлення зв'язку між кінцевими системами, що взаємодіють через телекомунікаційну мережу;
- *фізична*, що відображає фізичні пристрої та програмні засоби, у яких реалізовано функціональні елементи мережі, фізичні середовища передання сигналів.

Кожну з конкретних структур можна відповідно змодельувати. Модель дає змогу відобразити найбільш важливі компоненти і зв'язки об'єкта, не враховуючи несуттєві відповідно до мети дослідження деталі.

Сукупність таких моделей є системним описом мережної архітектури (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Системний опис мережної архітектури

3.2. Топологічні моделі

Топологія характеризує фізичну організацію вузлів інфокомунікаційної мережі.

Топологія мережі визначає не тільки фізичне розташування елементів мережі, але (що є набагато важливішим) характер зв'язків між ними, особливості поширення сигналів мережею. Саме характер зв'язків визначає ступінь відмовостійкості мережі, необхідну складність мережної апаратури, найбільш придатний метод керування обміном, можливі типи середовищ пересилання (каналів зв'язку), допустимий розмір мережі (довжина ліній зв'язку й кількість абонентів), необхідність електричного узгодження й багато чого іншого.

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

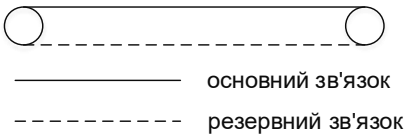
3.2.1. Топологія фізичних зв'язків

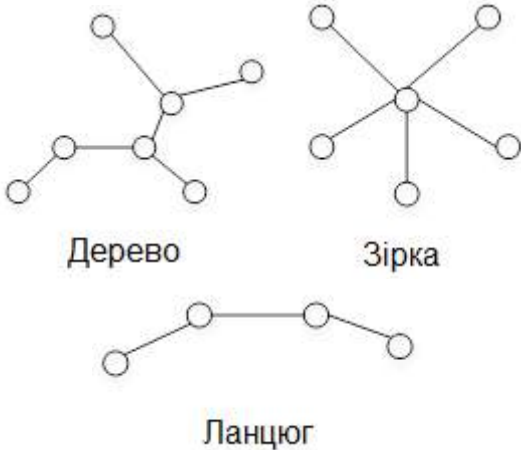
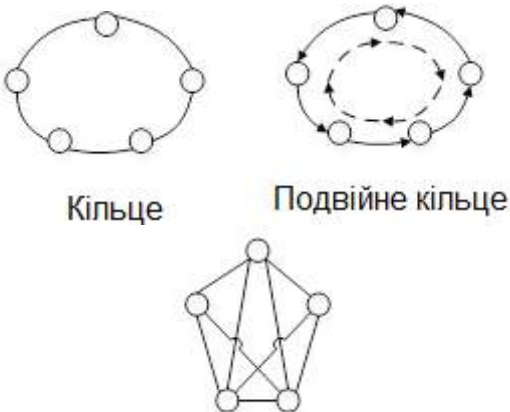
Топологія фізичних зв'язків відображає схему з'єднань елементів мережі, яку зручно зображувати у вигляді графа.

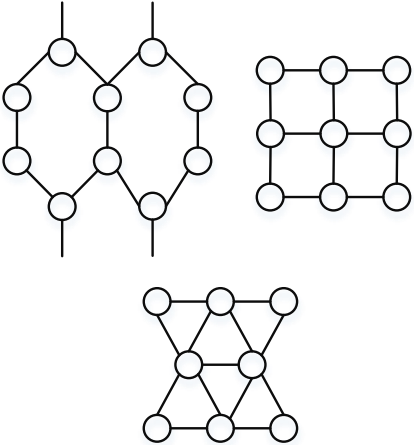
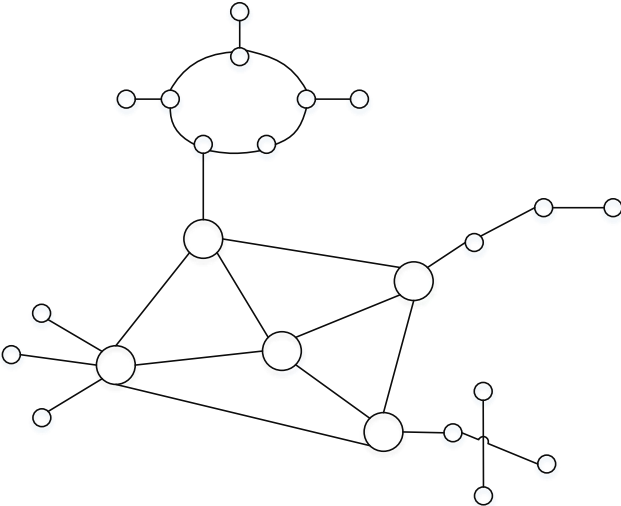
Граф – це модель топологічної структури мережі.

Вибір топології – це першочергове завдання при будівництві мережі, яке здійснюється з урахуванням таких вимог, як економічність і надійність зв'язку. Завдання вибору топології вирішується на основі використання *типових топологій* (табл. 3.1) як окремо, так і в комбінації.

Таблиця 3.1

Архітектура	Опис
Топологія «точка – точка»	
 ——— основний зв'язок ----- резервний зв'язок	Є найбільш простою базовою технологією. Являє собою сегмент мережі, який зв'язує фізично й логічно два пункти. Ця топологія часто використовується при пересиланні великих потоків інформації високошвидкісними магістральними каналами, наприклад трансокеанськими підводними кабелями, які обслуговують цифровий телефонний трафік

Деревоподібна топологія	
 Дерево Зірка Ланцюг	Особливістю такої топології є те, що зв'язність n пунктів на рівні фізичної топології досягається кількістю ребер $R = n - 1$, що забезпечує високу економічність такої мережі. Деревоподібна топологія застосовується в локальних мережах, мережах абонентського доступу
Топологія «кільце»	
 Кільце Подвійне кільце Повнозв'язна топологія	Топологія «кільце» характеризує мережу, у якій до кожного пункту під'єднано дві (і тільки дві) лінії. Подвійне кільце утворюється фізичними з'єднаннями між парами пунктів, при яких інформаційний потік спрямовується в двох протилежних напрямках, причому один напрямок використовується як основний, другий – як резервний. Застосовується в локальних мережах, у сегментах міжвузлових з'єднань територіальних мереж, у мережах абонентського доступу, організованих на базі волоконно-оптичного кабелю. Повнозв'язна топологія забезпечує фізичне й логічне з'єднання пунктів за принципом «кожен з кожним». Таку топологію мають територіальні мережі при формуванні сегментів базових і опорних (магістральних) мереж

Коміркова топологія	
	Кожен пункт сегмента має безпосередній зв'язок з невеликою кількістю пунктів, найближчих за відстанню. Коміркові сегменти мають високу надійність зв'язку при меншій кількості ребер порівняно з повнозв'язним сегментом. Використання такої топології є доцільним лише в сегментах з високою концентрацією трафіка, тому що її реалізація пов'язана зі значними витратами
Складні (змішані) топології	
	Реальні мережі часто мають складні топології, що є розширенням та/або комбінаціями базових фізичних топологій. Завдяки використанню складних топологій удається задовольняти вимоги до розширюваності й масштабованості мереж

3.2.2. Топологія логічних зв'язків

Топологія логічних зв'язків дає уявлення про шляхи переміщення інформаційних повідомлень у мережі від джерел до одержувачів згідно з адресною інформацією.

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

Логічними вузлами (далі скорочено – **вузлами**) мережі на рівні топології логічних зв'язків називають будь-які фізичні пристрої, яким призначено адресні ідентифікатори.

Вузол може бути комп'ютером (робочою станцією або сервером), комунікаційним пристроєм, мережним принтером – будь-яким пристроєм з *мережним інтерфейсом*.

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

Хост – це вузол, який є кінцевою системою мережі й не може виконувати функції транзитного вузлового пункту.

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

Адреси вузлів – це локальні або апаратні адреси.

Локальні адреси ще називають фізичними адресами, адресами точки доступу до середовища (Medium Access Control, MAC). Це унікальні числові значення, які можна встановлювати як програмно, так і апаратно. Наприклад, унікальні адреси на мережних інтерфейсних платах Ethernet установлено компанією-виробником.

Мережна адреса – це логічна адреса, яка присвоюється адміністрацією і визначає сегмент приєднання пристрою. Повна мережна адреса складається зі спільного для всіх вузлів номера мережі й унікального в цій мережі номера вузла.

Моделі топологій логічних зв'язків:

- логічна шина;
- логічне кільце;
- комутована топологія.

Принцип будування тієї чи іншої моделі топологічних зв'язків ґрунтується на виборі механізму, який забезпечує зв'язність вузлів.

Топологія логічних зв'язків може збігатися з топологією фізичних зв'язків у мережі або відрізнятися від неї. На основі однієї й тієї ж фізичної топології можна побудувати різні топології логічних зв'язків, використовуючи відповідне комунікаційне (мережне) обладнання.

3.3. Моделі організаційної структури мережі

Організаційна структура мережі зв'язку визначає рольове призначення й статус мережних елементів та утворених ними

структурних компонентів залежно від поставленого завдання й місця, що елемент займає в мережі.

Рольове призначення характеризує «права й обов'язки» елементів або виділених структурних фрагментів мережі під час реалізації покладених на них функціональних завдань, а статус – рівень їх значущості відповідно до ієрархічної належності.

Елементами моделі організаційної структури є пункти й лінії зв'язку. Їх рольове призначення й статус, яких вони набувають в межах організаційної структури мережі, залежать від виконуваних ними функціональних завдань.

Пункти мережі підрозділяються на *кінцеві й вузлові*.

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

У кінцевих пунктах інфотелекомунікаційна мережа подана пристроєм мережного закінчення, яке в організаційній структурі набуває статусу точки наявності телекомунікаційної мережі. Прикладом цього є звичайна телефонна розетка, інформаційна розетка з телекомунікаційним рознімом для під'єднання комп'ютера.

Вузловий пункт – це пункт мережі, у якому сходяться дві й більше ліній зв'язку.

У вузловому пункті зазвичай розміщується комунікаційне (мережне) обладнання, з допомогою якого можуть виконуватися *концентрація, розподіл, мультиплексування, комутація і маршрутизація*.

Концентрація – це поєднання декількох невеликих за потужністю вхідних інформаційних потоків з метою отримання більш потужного вихідного потоку.

Розподіл – це функція, протилежна концентрації, тобто відгалуження від концентрованого вхідного інформаційного потоку малих за потужністю вихідних потоків і розподіл їх між виходами.

Мультиплексування – забезпечує можливість пересилання декількох потоків інформації однією лінією, що здійснюється закріпленням за кожним із них фіксованої частини ресурсу лінії (смуги

пропускання, або часу зайняття). Зворотною функцією є демультимплексування.

Комутація – це процес установлення зв'язку між входами й виходами комутаційного пристрою на основі аналізу адресної інформації повідомлень і використання інформації відповідних таблиць комутації.

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

Порядок відношень між елементами (їх статус) у моделі організаційної структури визначається рівнями їх ієрархії (рис. 3.2).

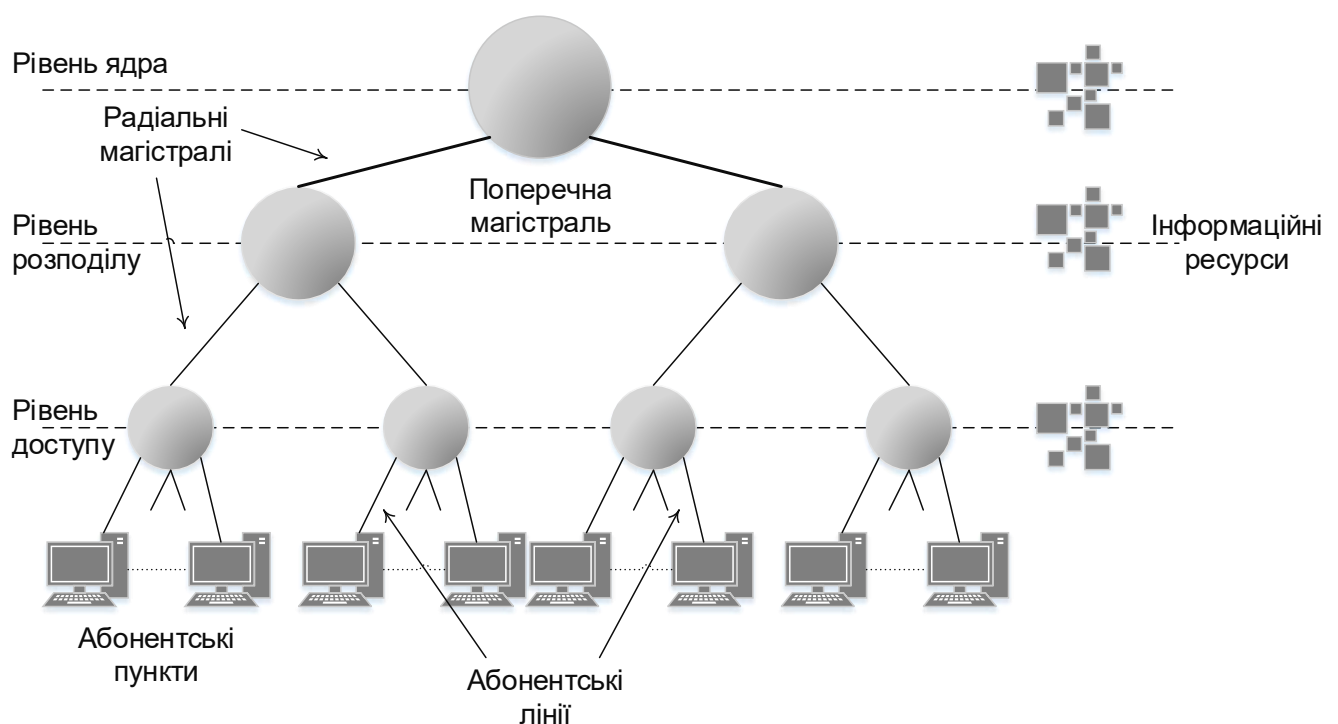


Рис. 3.2. Модель організаційної структури інфокомунікаційної мережі

Вузлові пункти всіх підрівнів розподілу виконують функцію концентрації трафіка у висхідних напрямках і функцію розподілу – у низхідних. У вузлових пунктах рівня ядра інформаційні потоки досягають максимальної концентрації і перерозподіляються між усіма іншими пунктами мережі. Вузлові пункти рівня ядра мають найвищий статус, оскільки забезпечують

зв'язність мережі в цілому завдяки об'єднанню вузлових пунктів рівня розподілу.

Точку підімкнення кінцевих систем (інформаційних центрів мережі) можна організувати у вузловому пункті будь-якого рівня.

3.4. Моделі логічної структури мережі

На логічному рівні інфокомунікаційну мережу описують такими моделями:

- функціональна;
- протокольна;
- програмного забезпечення.

3.4.1. Функціональна модель

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

Функція – це певний логічний елемент, що виконує конкретне завдання в мережі.

Реалізація функцій є допустимою в таких варіантах:

- у вигляді апаратних засобів;
- у вигляді програмного продукту (називають об'єктами).

Основні типи функцій:

- **прикладні функції** – об'єкти застосування користувачів;
- **функції оброблення й зберігання даних** – об'єкти, що забезпечують виклик об'єктів застосування, їх взаємодію, а також отримання необхідних даних або розміщення їх у базі даних;
- **функції керування послугами** – об'єкти, що дають змогу формувати послуги, необхідні користувачам, управляти ресурсами мережі, пов'язаними з їх наданням, і взаємодіяти користувачам з цими послугами;
- **комунікаційні функції** – транспортні функції, функції керування пересиланням потоків даних, функції керування телекомунікаційними послугами;

– **функції керування мережею** – об'єкти, які здійснюють керування роботою мережі в цілому (моніторинг роботоздатності елементів мережі, збір статистики про проходження сигналів, вирішення аварійних ситуацій та ін.).

Усі функціональні моделі поділяють на *функціональні підсистеми* й *домени*.

Функціональна підсистема – це функціональний модуль, що об'єднує функції та об'єкти, для яких є спільна реалізація.

На рис. 3.3 зображено функціональну модель транспортної підсистеми, у якій транспортна функція поєднана з функцією керування потоками при їх програмно-апаратній реалізації в сегментах телекомунікаційної мережі.



Рис. 3.3. Функціональна модель транспортної підсистеми: I – інтерфейс (еталонна точка телекомунікаційної мережі); NTU – мережне закінчення

Аналогічно можна виокремити підсистему послуг і програм, підсистему адміністративного керування мережею, підсистему пересилання, підсистему розподілу інформації та ін.

Домен – це функціональний модуль, сформований за принципом належності функцій і об'єктів одній групі. При цьому враховувати їх спільну дію при реалізації в апаратних засобах або програмних продуктах не потрібно.

Прикладами можуть бути домен користувача (рис. 3.4) і домен оператора мережі (рис. 3.5).

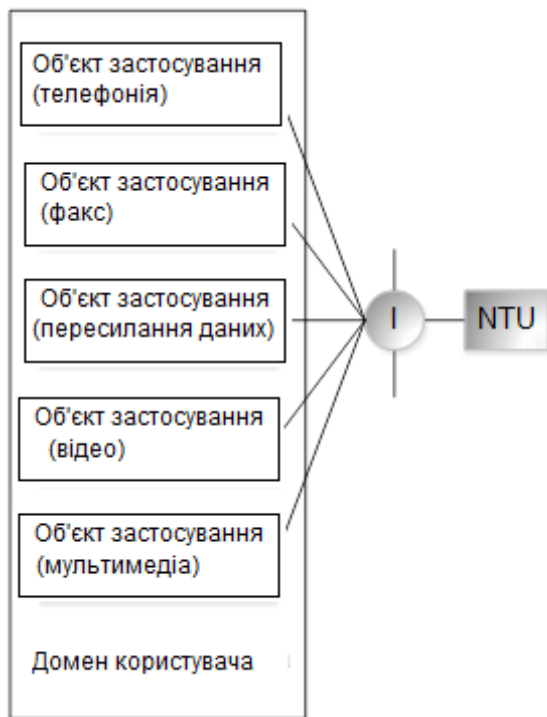


Рис. 3.4. Домен користувача



Рис. 3.5. Домен мережного оператора

3.4.2. Протокольна модель

Протокольна модель описує роботу мережі зв'язку на рівні правил взаємодії (протоколів) об'єктів (функцій) і функціональних модулів, що знаходяться на різних кінцевих системах.

Стек протоколів – являє собою ієрархію протокольних рівнів протокольної моделі конкретної мережі зв'язку.

На рис. 3.6 показано приклад протокольної моделі.

N -об'єкти, виконуючи завдання N -рівня, здійснюють локальний комплекс функцій цього рівня. Протокольні блоки розташовано на рівні таким чином, що можливість виконання завдання N -рівня цілком залежить від об'єктів рівня, розташованого нижче ($(N - 1)$ -рівня), і т. д. Таким чином, кожен нижчий рівень надає сервіс вищому рівню.

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

- інформацію, яку призначено для N -об'єкта іншої кінцевої системи (наприклад, дані користувача) і яка не пов'язана з операціями підтримки зв'язку об'єктів N -рівня;

– інформацію керування, що призначено для об'єкта $(N - 1)$ -рівня, з допомогою якої здійснюється координація процедур «з'єднання» об'єктів N -рівня різних кінцевих систем.

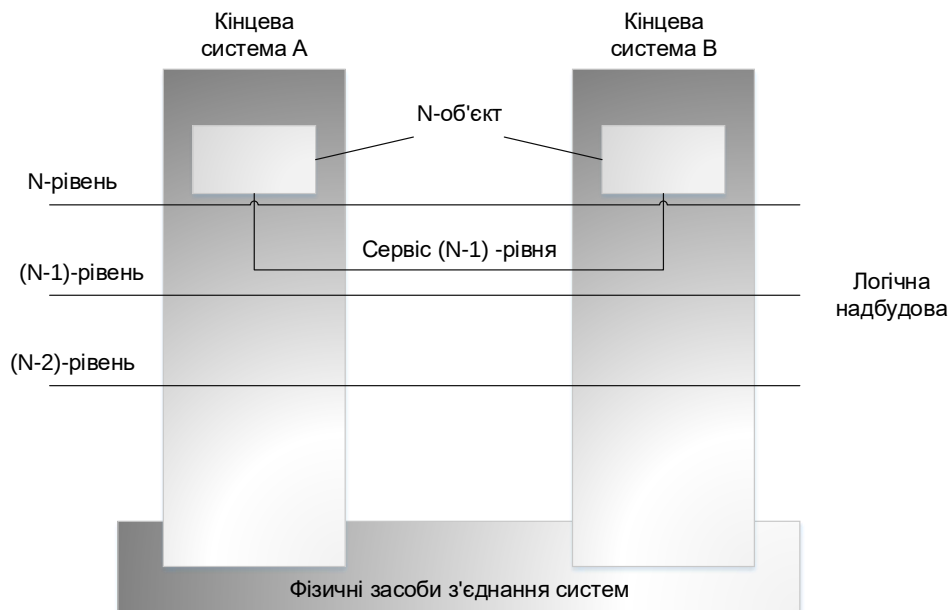


Рис. 3.6. Протокольна модель

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

3.4.3. Модель програмного забезпечення

Програмне забезпечення визначає функціональність мережі зв'язку. Елементами моделі програмного забезпечення є програмні модулі, у яких реалізовано об'єкти й логічні модулі мережі.

Ієрархія програмного забезпечення (ПЗ):

1. *Прикладне ПЗ* – реалізує об'єкти застосувань. Виокремлюють два типи додатків:

- *локально-обмежений* – інсталюється, викликається, керується й виконується в межах однієї кінцевої системи й не потребує залучення комунікаційних функцій (наприклад, редагування документа);

- *розподільчий* – складається з кількох компонентів, які можуть виконуватися в різних кінцевих системах.

2. *Проміжне ПЗ* – реалізує в мережі функції керування послугами й адміністративного керування мережею.

3. *Базове ПЗ* – призначено для забезпечення об'єктів прикладного й проміжного ПЗ виконанням спільних дій з іншими об'єктами шляхом взаємодії середовища з комунікаційними функціями мережі й логічними інтерфейсами користувачів. Організація цього середовища здійснюється уніфікованими програмними комплексами, які називають мережними операційними системами (системи UNIX і мережні версії Windows). До базового ПЗ належать також об'єкти оброблення й зберігання даних (СКБД – системи керування базами даних), базове ПЗ сервера оброблення транзакцій та ін.

Тип взаємодії між об'єктами визначається типом об'єктного інтерфейсу.

Об'єктні інтерфейси:

- *прикладний протокол* (Application Protocol, *AP*) – логічний інтерфейс між прикладними об'єктами;
- *інтерфейс прикладних програм* (Application Program Interface, *API*) – логічний інтерфейс між прикладними об'єктами й об'єктами проміжного ПЗ, які підтримують прикладні об'єкти;
- *протокол проміжного ПЗ* (Managing Protocol, *MP*) – логічний інтерфейс між об'єктами проміжного ПЗ;
- *інтерфейс базових програм* (Base Program Interface, *BPI*) – логічний інтерфейс між об'єктами проміжного й базового ПЗ, який підтримується об'єктами проміжного ПЗ;
- *інтерфейс «людина – комп'ютер»* (User-Computer Interface, *UCI*) – логічний інтерфейс між користувачем і об'єктами базового ПЗ; може містити також логічний інтерфейс з об'єктами проміжного ПЗ і навіть об'єктами додатків.

3.5. Компоненти й моделі фізичної структури мережі

Розглянемо інфокомунікаційну систему і її елементи як фізичні об'єкти.

Фізична структура мережі – являє собою склад активного й пасивного обладнання мережі й топологію його розміщення в просторі.

Активне мережне обладнання – це кінцеве й комунікаційне устаткування мережі, функціонування якого забезпечується завдяки

споживанню електроенергії від зовнішніх джерел живлення. Активне мережне обладнання виконує комплекси тих функцій мережі, які реалізуються в апаратурі.

Пасивне обладнання мережі – не потребує джерел електроживлення й містить кабельну систему, телекомунікаційні розніми, комутаційні панелі, шнури, монтажне обладнання тощо.

Узагальнена модель апаратної реалізації функцій та об'єктів демонструє, як реалізуються ті чи інші функції й об'єкти в активному обладнанні мережі, а також інтерфейси між різними апаратними засобами. Ця модель також дає змогу визначати додаткові інтерфейси між обладнанням від різних постачальників і їх характеристики, які підлягають стандартизації.

Елементи моделі апаратної реалізації (рис. 3.7):

- **апаратне забезпечення** – обладнання, у якому одну або декілька функцій реалізовано фізично;
- **програмне забезпечення** – один або декілька програмних модулів, які являють собою реалізацію одного або кількох об'єктів;
- **фізичний інтерфейс** – фізичне середовище для пересилання сигналів між різною апаратурою.

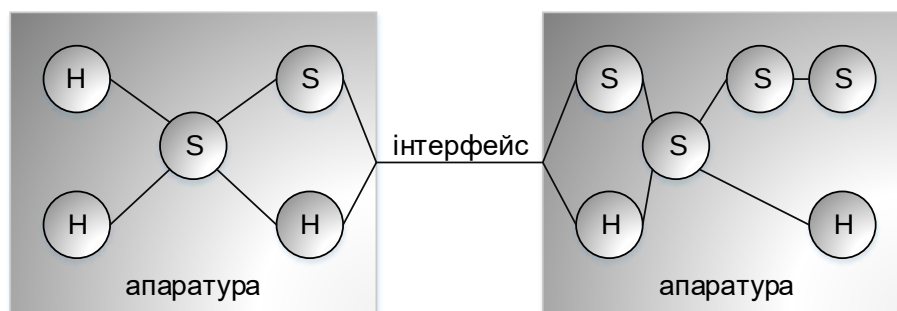


Рис. 3.7. Модель апаратної реалізації: Н – апаратне забезпечення, S – програмне забезпечення.

Контрольні запитання

1. До якого класу об'єктів належать мережі зв'язку? Якими закономірностями вони характеризуються?
2. У чому полягає особливість системного підходу при вивченні мереж зв'язку як складних систем?
3. Як трактується поняття «архітектура» у техніці?
4. Що таке архітектура мережі та її системний опис?
5. У чому полягає відмінність топологій фізичних і логічних зв'язків?
6. Перелічіть базові топології фізичних зв'язків і їхні характеристики.
7. Що відображають моделі організаційної структури мережі?
8. Що є елементами моделі організаційної структури на рівні топології фізичних зв'язків?
9. У чому полягає відмінність кінцевих пунктів інформаційної та телекомунікаційної мереж?
10. Які функції виконуються у вузлових пунктах мережі зв'язку?
11. Чим різниться рівень під'єднання кінцевих (хостингових) систем інформаційної мережі?
12. Охарактеризуйте рольове призначення вузлових пунктів у моделях організаційної структури мережі.
13. У чому полягає специфіка функцій та об'єктів мережі?
14. Назвіть основні функції, які здійснюються в інформаційній мережі.
15. Дайте означення понять «функціональна підсистема», «домен».
16. Що характеризує протокольна модель мережі?
17. Якими особливостями характеризуються рівні протокольної моделі?
18. Якою є структура програмного забезпечення мережі?
19. Що таке «модель фізичної структури мережі»?
20. З яких компонентів складається модель апаратної реалізації функцій та об'єктів мережі?

4. СТРУКТУРИЗАЦІЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ СТРАТИФІКОВАНОГО ПІДХОДУ

4.1. Структуризація систем інфокомунікацій як складних систем

Операція структуризації базується на системному підході, при якому передбачається розгляд предметів, пристроїв, способів організації робіт тощо у вигляді єдиної структури, що складається з окремих взаємозв'язаних елементів. Саме такий підхід і забезпечує найбільш успішні дослідження складних систем і їх удосконалення.

Структуризація – це розподіл системи на ієрархічні підсистеми й компоненти і встановлення між ними зв'язків і відношень.

Як уже було зазначено в розд. 3, інфокомунікаційні мережі є складними системами.

Основні властивості складних систем:

1) інфокомунікаційні системи являють собою сукупність телекомунікаційної мережі, засобів зберігання й оброблення інформації, а також джерел і споживачів інформації;

2) інфокомунікаційні системи складаються з двох основних підсистем: технічної і призначеної для користувача; взаємодія цих різних за своєю фізичною суттю підсистем визначає структуру й функції інфокомунікаційної системи;

3) інфокомунікаційні системи є «великими» системами, що містять величезну кількість компонентів, багато з яких – самі великі системи або багатофункціональні пристрої; компоненти інфокомунікаційної системи мають різні принципи будування й виконують різні функції;

4) інфокомунікаційні системи є багатозв'язними: їх різні компоненти з'єднані між собою і мають як прямі, так і зворотні зв'язки; структура й топологія інфокомунікаційних систем є змінними, керованими й залежать від користувачів;

5) інфокомунікаційні системи є великомасштабними системами, які охоплюють великі території й інтегруються в світову систему інфокомунікацій;

6) інфокомунікаційні системи є ергатичними; ергатична система – це система, складовим елементом якої є людина-оператор (або кілька людей-операторів);

7) інфокомунікаційні системи є немарковськими з огляду на процеси, що в них проходять; це означає, що поведінка системи визначається не тільки поточним станом, але й передісторією, причому досить тривалою, а також прихованими можливостями, що додаються спонтанно в певних умовах;

8) інфокомунікаційні системи є нелінійними. Важливо зазначити такі моменти:

- нелінійна залежність між різними видами обладнання в системі – це технічна нелінійність;

- нелінійна залежність між навантаженням, що створюють абоненти системи, і пропускнуою спроможністю системи; абонентське навантаження є істотно ситуаційним, пропускна здатність визначається інженерними рішеннями;

9) інфокомунікаційні системи є синергетичними, тобто самоорганізовуваними, самостійними, самозбережними, й можуть протидіяти зовнішнім впливам (такі системи характеризуються функціональною інертністю);

10) інфокомунікаційні системи є наукомісткими й базуються на перспективних технічних розробках;

11) інфокомунікаційні системи є складними системами високого рівня, тобто надскладними (надскладними називають системи, що складаються з декількох складних систем); складність утворюється внаслідок взаємодії таких факторів: багатокomпонентність, нелінійність, велика кількість ступенів свободи, наявність пам'яті.

Отже, інфокомунікації, безсумнівно, належать до розряду складних систем, і тому їх вивчення й поліпшення базується на структуризації.

Однак з ускладненням систем і збільшенням кількості складових використання елементів механізму структуризації стало громіздким і утрудненим. Тоді дослідники почали використовувати інший інструмент, який отримав назву стратифікації.

4.2. Стратифікаційний підхід в інфокомунікаціях

Стратифікація – це поділ системи на сукупність елементів, що відображають її поведінку на різних рівнях декомпозиції (ці рівні називають стратами).

В інфокомунікаціях унаслідок використання механізму стратифікації було створено мережну модель OSI (Open Systems Interconnection Basic Reference Model – базова еталонна модель взаємодії відкритих систем).

Модель OSI – абстрактна мережна модель для комунікацій і розроблення мережних протоколів.

Модель OSI являє собою рівневий підхід до мережі. Кожен рівень обслуговує свою частину процесу взаємодії. Завдяки такій структурі спільна робота мережного обладнання й програмного забезпечення стає набагато простішою, прозорішою і зрозумілішою. Саме ця модель дає змогу розбити все різноманіття використовуваних в інфокомунікаційних системах операцій (протоколів) на сім шарів, що взаємодіють один з одним, усередині яких можливим є їх окремий аналіз і розгляд.

Рівні (шари) моделі OSI наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Номер рівня	Рівень	Тип даних	Функції
Підсистема користувача			
7	Прикладний	Дані	Доступ до мережних служб
6	Представницький	Потік	Подання й кодування даних
5	Сеансовий	Сеанси	Керування сеансом зв'язку
4	Транспортний	Сегменти/ Дейтаграми	Безпечне й надійне з'єднання «точка – точка»
Підсистема мережі			
3	Мережний	Пакети	Визначення маршруту й логічна адресація
2	Канальний	Кадри	Фізична адресація
1	Фізичний	Біти	Робота із середовищем пересилання, сигналами й двійковими даними

Отже, усі мережні функції в моделі поділено на сім рівнів. При цьому вищі рівні виконують більш складні, глобальні завдання, для чого використовують рівні, що стоять нижче, а також керують ними. Рівень, що стоїть нижче, надає послуги рівню, що стоїть вище, при цьому не важливо, яким чином виконуються ці послуги. Нижчі рівні виконують більш прості й конкретні функції. Найкращим випадком є такий, коли кожен рівень взаємодіє тільки з тими, які знаходяться поруч з ним (вище й нижче за нього). Верхній рівень відповідає прикладній задачі, що працює в певний момент додатком, нижній – безпосередньому пересиланню сигналів каналом зв'язку.

Кожному рівню з деякою часткою умовності відповідає свій *операнд* – логічно неподільний елемент даних, яким на окремому рівні можна оперувати в межах моделі й використовуваних протоколів: на фізичному рівні найдрібніша одиниця – біт, на канальному рівні інформацію об'єднано в кадри, на мережному – пакети, на транспортному – сегменти. Будь-який фрагмент даних, логічно об'єднаних для пересилання, – кадр, пакет, дейтаграма – вважається повідомленням. Саме повідомлення в загальному вигляді є операндами сеансового, представницького й прикладного рівнів.

Відповідні функції реалізуються кожним абонентом мережі. При цьому кожен рівень одного абонента працює так, ніби він має прямий зв'язок з відповідним рівнем іншого абонента. Між однойменними рівнями абонентів мережі існує віртуальний (логічний) зв'язок, наприклад між прикладними рівнями абонентів, що взаємодіють в мережі. Реальний, фізичний зв'язок (кабель, радіоканал) абоненти однієї мережі мають тільки на самому нижньому, першому, фізичному рівні (рис. 5.1). У передавальному пристрої абонента інформація проходить усі рівні, починаючи з верхнього й закінчуючи нижнім. У приймальному пристрої абонента отримана інформація проходить зворотний шлях: від нижнього рівня до верхнього.

Зупинимося на призначенні кожного з рівнів еталонної моделі. Почнемо з верхнього рівня, оскільки саме на ньому починається активізація процесу пересилання інформації. Цей рівень є найбільш близьким до користувача.



Рис. 4.1. Еталонна модель OSI

7. Прикладний рівень (*Application layer*), або рівень додатків, здійснює керування терміналами й прикладними процесами в кінцевих системах мережі, які є джерелами й споживачами інформації. Цей рівень надає сервіси безпосередньо для прикладних програм користувачів.

Щоб уникнути несумісності між призначеними для користувача програмами, прикладний рівень визначає стандартні способи надання сервісів цього рівня. Самі сервіси прикладного рівня не є застосуваннями. Прикладний рівень надає програмістам набір відкритих стандартних інтерфейсів прикладного програмування (Application Programming Interface, API), які можна використовувати для виконання таких функцій мережного застосування, як пересилання файлів, віддалена реєстрація та ін.

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

Протоколи взаємодії об'єктів цього рівня отримали назву прикладних.

6. Представницький рівень (*Presentation layer*) – здійснює інтерпретацію й перетворення даних, що пересилаються у мережі, на тип, зрозумілий прикладним процесам; забезпечує подання даних в узгоджених форматах і синтаксисі, трансляцію й інтерпретацію програм з різних мов, шифрування й стискання даних. Завдяки цьому мережа не обмежує застосування різних типів ЕОМ як кінцевих систем. На практиці багато функцій цього рівня групуються з функціями прикладного рівня, тому протоколи представницького рівня не набули належного розвитку й не використовуються в багатьох мережах.

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

У сесіях з установленням логічного з'єднання запити встановлення й розриву з'єднання, а також запити пересилання даних, відправляються на транспортний рівень, розміщений нижче. Сеансовий рівень після сесії здійснює поступове, а не раптове завершення сесії, виконує процедуру відправлення службового повідомлення про завершення сеансу зв'язку, що дає змогу запобігти втраті даних у разі, коли одна зі сторін має намір перервати діалог, а інша – ні.

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

4. Транспортний рівень (*Transport layer*) виконує сегментування повідомлень і керування наскрізним, безпомилковим транспортуванням даних від джерела до споживача. Складність протоколів транспортного рівня є зворотно пропорційною надійності сервісів рівнів, розташованих нижче (мережного, каналного, фізичного).

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

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

Протоколи транспортного рівня поділяються на два види: протоколи, орієнтовані на встановлення з'єднання, і такі, що забезпечують для вищих рівнів надійний сервіс без установлення з'єднання (використовується, коли гарантувати наскрізну доставку даних не потрібно). Сервіс без установлення з'єднання використовується при обміні даними в реальному масштабі часу (аудіо- або відеопроцеси), для яких доставка без затримки є значно важливішою, ніж достовірність, яка досягається шляхом повторного пересилання сегментів. Крім того, такий сервіс дає змогу більш ефективно використовувати мережу, не займаючи її пропускну здатність величезною кількістю службової інформації.

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

Ці чотири рівня еталонної моделі визначають і реалізують процеси взаємодії користувачів, тому їх іноді називають **підсистемою користувача**.

Три нижніх рівні визначають роботу безпосередньо мережі зв'язку при обслуговуванні користувачів, тому їх називають **підсистемою мережі**.

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

Основною функцією мережного рівня є маршрутизація, яка полягає в прийнятті рішення, через які конкретно проміжні пункти має пройти маршрут пересилання даних, що відправляються з однієї кінцевої системи в іншу, і як має виконуватися комутація, що відповідає конкретному маршруту, між входами й виходами мережних пристроїв, розташованих у проміжних пунктах мережі.

Блоки даних, з якими оперує мережний рівень, називають пакетами. Пакет утворюється шляхом додавання до сегмента, переданого з транспортного рівня, заголовка, який містить адресу мережного рівня. Адреса складається з двох частин та ідентифікує як адресу мережі кінцевого користувача, так і самого користувача в ній. Мережний рівень вирішує також завдання взаємодії мереж з різними технологіями і створення захисних бар'єрів на шляху небажаного трафіка між мережами.

На мережному рівні використовуються два види протоколів: власне мережні протоколи, які забезпечують просування пакетів через мережу. Саме їх зазвичай асоціюють з протоколами мережного рівня. Іншим видом мережних протоколів є протоколи маршрутизації, які обмінюються маршрутною інформацією. З допомогою цих протоколів маршрутизатори збирають інформацію про топологію міжмережних з'єднань. Протоколи мережного рівня виконуються модулями операційної системи, а також програмними й апаратними засобами маршрутизаторів.

2. Канальний рівень (*Data-link layer*) відповідає за якісне пересилання даних між двома пунктами, зв'язаними фізичним каналом з урахуванням особливостей середовища-передавача.

Блок даних на каналному рівні називають кадром, або фреймом. Пакети мережного рівня, об'єднані в кадр, обрамовуються розділовими прапорцями (спеціальними послідовностями бітів, розміщеними на початку й у кінці блоку пакетів). Крім того, до кадру додається контрольна сума, з використанням якої здійснюється перевірка правильності переданого каналом кадру. У разі виявлення невірної помилки, приймач надсилає запит до передавача про повторне пересилання кадру. Теорію пересилання даних і теорію кодування досить добре розроблено, що дає змогу забезпечити високу ефективність роботи протоколів каналного рівня. Необхідно зазначити, що функція виправлення бітових помилок не завжди є обов'язковою для каналного рівня, тому в деяких протоколах каналного рівня її немає (Ethernet, Frame relay). Іноді в глобальних мережах функції каналного рівня виокремити важко, оскільки в одному й тому самому протоколі їх об'єднують з функціями мережного рівня (ATM, Frame relay). Важливими функціями каналного рівня є керування доступом до каналу зв'язку, синхронізація кадрів, керування потоком даних, адресація, установлення з'єднання й роз'єднання.

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

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

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

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

Функціональні, за якими визначають функції окремих каналів фізичних інтерфейсів пристроїв, що взаємодіють через передавальне середовище. Основними схемами взаємодії пристроїв на фізичному рівні є симплексний (однобічний), напівдуплексний (почерговий) і дуплексний зв'язки (двобічний, одночасний, який іноді називають повнодуплексним). При цьому може бути реалізовано два варіанти організації зв'язку: «точка – точка» і «точка – багато точок».

Процедурні, за якими встановлюють правила і з допомогою яких відбувається обмін потоками бітів через фізичне середовище. Ці правила реалізують схеми роботи послідовного й паралельного інтерфейсів. У першому випадку між взаємодійними пристроями існує тільки один канал зв'язку, яким біти передаються один за одним. Це призводить до обмеження швидкості пересилання і, отже, повільної роботи інтерфейсу. У другому випадку кілька бітів передаються між взаємодійними пристроями одночасно декількома каналами. Швидкість пересилання при цьому збільшується.

Однією з важливих функцій фізичного рівня є *мультиплексування*, що забезпечує об'єднання безлічі вузькосмугових (низькошвидкісних) каналів у один широкосмуговий (високошвидкісний).

Функції фізичного рівня реалізуються на всіх пристроях, підімкнених до мережі. З боку комп'ютера функції фізичного рівня виконуються мережним адаптером або послідовним портом. До фізичного рівня належать фізичні, електричні й механічні інтерфейси між двома системами.

У моделі OSI однакові рівні різних систем з'єднуються між собою з допомогою протоколів, однак не безпосередньо, а тільки через фізичний рівень, що забезпечує повну сумісність будь-яких систем різного типу.

Після введення моделі OSI було створено методологічну основу будування уніфікованих телекомунікаційних мереж. Незважаючи на те, що було розроблено й інші моделі, саме модель OSI стала базою для об'єднання всього різноманіття програмно-апаратних засобів. У табл. 4.2 показано, як застосовується еталонна модель для телефонної мережі й мережі інтернет.

Таблиця 4.2

Рівень	Мережа інтернет	Телефонна мережа
7	Визначає наявність партнерів і необхідні ресурси, синхронізує роботу прикладних програм, установлює угоди щодо процедур усунення помилок і керує цілісністю переміщення даних	Виявляється у властивостях лінії зв'язку, без урахування її внутрішньої схеми побудови. До таких властивостей належать діапазон робочих частот (0,3...3,4 кГц), рівень шумів, АЧХ
6	Відповідає за подання даних, посланих з прикладного рівня однієї системи на адресу іншої, для чого погоджує формат і синтаксис переміщуваних даних. У разі необхідності можуть виконуватися алгоритми шифрування для захисту переміщуваних даних	Виявляє себе за необхідності узгодження спільної роботи методів дискретизації або алгоритмів стискування мовної інформації
5	Установлює, керує і завершує сеанси взаємодії між двома або більше прикладними завданнями, а також синхронізує і керує переміщенням інформації між ними. Установлює клас послуг і повідомляє про виняткові ситуації, забезпечує відповідність символічного подання адреси з двійковим поданням відповідно до протоколів DNS та ін.	Керує викликом і сигналізацією під час набору й пересилання номера на АТС. Здійснює контроль виконання системи розрахунків з абонентами. У мережах рухомого зв'язку забезпечує спостереження за зміненням місця розташування абонента і переадресацією виклику. В інтелектуальних мережах виконує кілька додаткових функцій оброблення викликів і сеансів
4	Забезпечує перенесення інформації через надійне або ненадійне з'єднання, реалізує якість обслуговування трафіка, який є запитуваним сеансовим рівнем, з метою запобігання переповненню однієї системи даними з іншої системи	Реалізує методи мультиплексування мовного трафіка, а також додаткові методи мультиплексування для об'єднання мовного трафіка з іншими його видами

Рівень	Мережа інтернет	Телефонна мережа
3	Забезпечує встановлення необхідного типу з'єднання між двома кінцевими системами шляхом вибору маршруту через кілька підмереж. Протоколи маршрутизації здійснюють синхронізацію маршрутних таблиць, за якими алгоритми маршрутизації вираховують маршрути	Установлює з'єднання між абонентами з допомогою системи сигналізації (наприклад, організує тракт пересилання через вузли комутації всієї множини підмереж)
2	Забезпечує транзит даних через фізичний канал. Виконуючи це завдання, вирішуються питання фізичної адресації, топології мережі, лінійної дисципліни (спосіб використання каналу пересилання), упорядкованої доставки блоків даних, повідомлення про несправності й керування потоком даних	
1	Визначає електротехнічні, механічні, процедурні й функціональні характеристики активації, підтримки й дезактивації фізичного каналу між кінцевими системами. Специфікації фізичного рівня визначають рівні напруг і синхронізацію їх змінення, швидкість і максимальні відстані пересилання повідомлень, фізичні з'єднувачі та інші аналогічні характеристики	

4.3. Відповідність рівнів моделі OSI стеку протоколів TCP/IP

Сьогодні мережі з комутацією пакетів базуються переважно на стеку протоколів TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

Стек протоколів TCP/IP – це промисловий стандарт стеку протоколів, розроблений для глобальних мереж. Стандарти TCP/IP опубліковано в серії документів Request For Comment (RFC).

Оскільки стек TCP/IP було розроблено раніше, ніж модель ISO/OSI, то, незважаючи на його багаторівневу структуру, відповідність рівнів стеку TCP/IP рівням моделі OSI є досить умовною. На рис. 4.2 зображено структуру стеку TCP/IP у співвідношенні з рівнями моделі OSI.

Протоколи стеку TCP/IP мають чотири рівні.

Прикладний рівень (рівень додатків) забезпечує зв'язок між прикладними процесами й додатками взаємодійних хостів. Основні протоколи цього рівня: FTP (File Transfer Protocol) – протокол пересилання файлів; HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) – протокол пересилання гіпертекстових файлів; SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) – простий протокол пересилання пошти; TELNET – протокол видаленого входу до системи; SNMP (Simple Network Management Protocol) – простий протокол мережного керування; DNS (Domain Name System) – служба імен доменів або прикладний сервіс в інтернет-мережі, який дає хостам змогу перетворювати інтернет-імена на IP-адреси; MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) – багатоцільові розширення інтернет-пошти, які підтримують обмін мультимедійними повідомленнями, визначаючи процедури, які дають змогу користувачеві приєднувати до повідомлення електронної пошти файли різних форматів (тексти, зображення, аудіо-, відеододатки й програмні додатки).

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

Рівні моделі OSI		Концептуальні рівні стеку TCP/IP
Прикладний		Прикладний
Представницький		
Сеансовий		
Транспортний		Транспортний
Мережний		Міжмережний
Канальний		Мережного інтерфейсу
Фізичний		

Рис. 4.2. Порівняння архітектур зв'язку TCP/IP і OSI

Транспортний рівень відповідає за виконання функції наскрізного пересилання даних і тому реалізується лише в кінцевих системах. Протоколи цього рівня приховують від рівня додатків подробиці про мережу (або мережі), якою транспортуються дані. На цьому рівні виконуються два основні протоколи: TCP (Transmission Control Protocol) – протокол

керування пересиланням, орієнтований на логічне з'єднання й послідовне пересилання блоків даних; UDP (Ustr Datagram Protocol) – протокол датаграм користувачів, який забезпечує швидке, але ненадійне пересилання блоків даних, які самостійно переміщуються мережею без установлення логічного з'єднання.

Міжмережний рівень забезпечує функцію маршрутизації при пересиланні даних від одного хоста до іншого через вузли однієї або декількох логічних мереж. Основний протокол цього рівня – протокол IP (Internet Protocol). Його має підтримувати усі кінцеві системи (хости) й мережні комунікаційні пристрої, які здійснюють функцію маршрутизації. До допоміжних протоколів цього рівня належать ICMP (Internet Control Message Protocol), IGMP (Internet Group Managment Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), BGP (Border Gateway Protocol), RSVP (ReSerVation Protocol), RIP (Routing Internet Protocol), ARP (Address Resolution Protocol).

Рівень мережного інтерфейсу Найнижчий рівень стеку TCP/IP відповідає фізичному й каналному рівням моделі OSI. У стеку протоколів TCP/IP цей рівень не регламентовано. Рівень мережного інтерфейсу відповідає за приймання дейтаграмм і пересилання їх конкретною мережею. Інтерфейс із мережею можна реалізувати драйвером пристрою або системою (комутатор, маршрутизатор), що використовує свій протокол каналного рівня. Цей рівень підтримує стандарти фізичного й каналного рівнів популярних локальних мереж: Ethernet, Token Ring, FDDI тощо. Для територіально розподілених мереж підтримуються протоколи з'єднань PPP і SLIP, а для глобальних мереж – протокол X.25. Передбачено підтримку технології ATM.

Як бачимо, існує два варіанти стратифікації інфокомунікаційної системи:

- модель TCP/IP,
- модель OSI.

Кожен з цих варіантів має свої переваги й недоліки (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Модель ISO/OSI	Стек протоколів TCP/IP
Переваги	
Сьогодні розглядається як еталонна багаторівнева модель архітектури зв'язку інфокомунікаційних мереж і основа для розроблення стандартів нових протоколів. Дає змогу визначити межі телекомунікаційної та інформаційної мереж у загальній архітектурі зв'язку, а саме: фізичний, каналний, мережний і транспортний рівні відображають принцип роботи телекомунікаційної мережі, а сеансовий, представницький і прикладний – інформаційної мережі	Майже всі існуючі великомасштабні мережі функціонують на основі стеку TCP/IP. Це – основний спосіб отримання доступу в інтернет. Усі сучасні операційні системи підтримують стек TCP/IP. Набув широкого застосування при створенні корпоративних мереж, які використовують транспортні послуги інтернету й гіпертекстову технологію WWW. Є основою гнучкої технології для поєднання різномірних систем і мереж на рівні як реалізації транспортної функції, так і взаємодії прикладних процесів
Недоліки	
Протягом багатьох років поширеною була думка, що архітектура OSI стане домінантною серед усіх комерційних стеків протоколів, що конкурують між собою, таких, як Системна мережна архітектура (Systems Network Architecture, SNA) компанії IBM і стек TCP/IP. Однак оскільки в стек TCP/IP увійшли протоколи, які мають статус стандартів інтернету, більшість розробників нових мережних продуктів почали спиратися саме на нього	Відсутність розмежувань концептуальних понять інтерфейсу, протоколу й рівневого сервісу, що досить чітко зроблено в моделі ISO/OSI. Унаслідок цього модель TCP/IP не може застосуватися для розроблення нових мереж. З допомогою моделі TCP/IP неможливо описати жоден інший стек протоколів, окрім TCP/IP. Стек TCP/IP не може розглядатися як повноцінна модель, однак самі протоколи є добре апробованими і надзвичайно популярними

Контрольні запитання

1. Дайте означення понять «структуризація» і «стратифікація».
2. Які функції реалізуються на прикладному рівні моделі OSI?

3. Перелічіть рівні моделі OSI. Які протоколи використовуються на кожному з рівнів.
4. Які функції реалізуються на сеансовому рівні моделі OSI?
5. Що стандартизує модель OSI?
6. Чому модель OSI називають еталонною? На що впливає змінення кількості рівнів у моделі?
7. У чому полягають особливості стеку TCP/IP?
8. Порівняйте переваги й недоліки моделей OSI і TCP/IP.
9. Дайте означення фізичного й програмного інтерфейсів і вкажіть їх місце в моделі OSI.
10. Складіть таблицю відповідності рівнів моделей OSI і TCP/IP із зазначенням на кожному рівні використовуваних протоколів.

5. ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ЯК ОСНОВА БУДУВАННЯ АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

5.1. Основні параметри інфокомунікаційних систем

Крім стратифікації дуже важливим елементом системного аналізу є параметризація.

Параметризація – це елемент системного аналізу об'єкта, який полягає у виокремленні й визначенні основних істотних параметрів і розрахунок їх числових значень [9].

Суттєвість/несуттєвість тих чи інших параметрів системи залежить від характеру задачі й цілей, яких необхідно досягти. Раніше було розглянуто деякі істотні проблеми сучасних інфокомунікацій. До них належить проблема дефіциту пропускної здатності каналів, трактів. Не існує однозначної відповіді, як має бути вирішено цю проблему. Однак є безліч приватних варіантів рішення, і кожен із них має свої суттєві параметри, наприклад збільшення швидкості пересилання (пропускної здатності) оптичних ліній зв'язку завдяки розподілу оптичного спектра на піддіапазони (технологія VDM). У цьому випадку істотними є такі параметри: ширина спектра оптичного піддіапазону; фізичні характеристики електрооптичних і оптико-електричних перетворювачів; характеристики оптичних підсилювачів та ін. Якщо пропускна здатність збільшується завдяки використанню методів статистичного кодування/декодування, то суттєвими є такі характеристики: розподіл імовірностей виникнення окремих градацій переданого сигналу; імовірність виникнення змін сигналу; наявність кореляційних зв'язків між елементами, що передаються, та ін. Якщо вирішується завдання підвищення якісних характеристик системи зв'язку, наприклад, шляхом зменшення ймовірності відмови завдяки об'єднанню декількох мереж в одну, то істотними є ймовірності безвідмовної роботи окремих мереж.

Усі ці (та інші) суттєві характеристики є основою для створення моделей, на яких базується весь системний аналіз.

Без параметризації і моделювання неможливо вирішувати проблеми, що виникають не тільки в галузі інфокомунікацій, але й в інших сферах нашого життя.

5.2. Моделювання як основа системного аналізу

Одним із дослідних видів людської діяльності є моделювання, тобто спосіб вивчення закономірностей поведінки систем або явищ під впливом різних факторів.

Моделювання – це заміщення одного об'єкта іншим з метою отримання інформації про найважливіші властивості об'єкта-оригіналу з допомогою об'єкта-моделі. Цей спосіб є одним із найбільш поширених при вивченні різних процесів і явищ.

Моделювання складається з двох основних етапів:

- розроблення моделі;
- дослідження моделі й формулювання висновків.

Таким чином, основою моделювання є поняття про моделі.

Модель – це деяке уявлення про систему, зафіксоване деякою мовою або в певній формі, що відображає найбільш істотні закономірності її структури й процесу функціонування. Іншими словами, модель є матеріально або теоретично створеною системою, призначеною замінити або подати об'єкт дослідження під час пізнання. Модель має бути більш зручною для дослідження. Вивчення моделі й реалізація з її допомогою різних завдань дає змогу отримати інформацію про реальний об'єкт дослідження.

Загальні вимоги до моделей:

1) *адекватність* – ступінь відповідності моделі реальному об'єкту або явищу й цілям дослідження;

2) *повнота* – надання отримувачу всієї необхідної інформації про об'єкт;

3) *гнучкість* – можливість відтворення різних ситуацій у всьому діапазоні змінення умов і параметрів;

4) *трудомісткість* розроблення, яка має бути прийнятною для наявного часу й програмних засобів;

5) *стійкість* – здатність моделі зберігати адекватність при дослідженні ефективності системи на всьому можливому діапазоні робочого навантаження.

Усі існуючі моделі поділяються на реальні (натурні, аналогові) та ідеальні (знакові). До знакових належать концептуальні (вербальні, графічні) і математичні моделі (рис. 5.1).

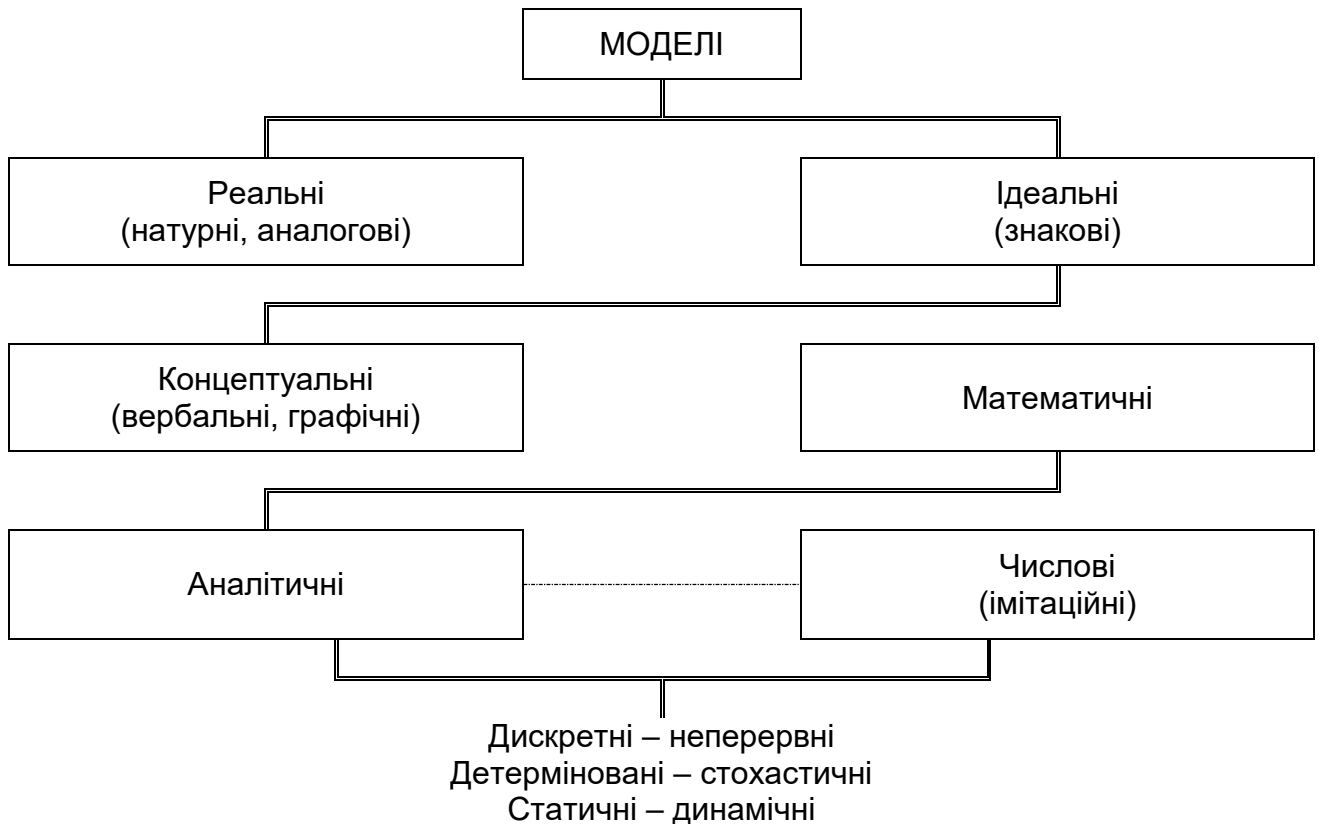


Рис. 5.1. Класифікація моделей

Чітко розмежовувати види моделювання складно, оскільки в математичних (аналітичних) моделях часто доводиться використовувати числовий експеримент із застосуванням ЕОМ, а в імітаційних (системних) моделях неможливо обійтися без аналітичного розв'язання поставленої задачі (на рис. 5.1 ці зв'язки показано пунктиром). Тому протиставляти математичне й імітаційне моделювання не можна. Навпаки, конкретні математичні моделі, у тому числі й аналітичні, є основою (базою), на якій можна успішно побудувати імітаційну модель, що може допомогти під час дослідження складних систем. Тому коли будь-яка математична модель використовується для числового (імітаційного) експерименту або для відтворення й прогнозування реальних явищ, ситуацій, процесів або систем, йдеться про успішне використання імітаційного математичного моделювання в практиці наукових досліджень.

Реальні моделі – це предметні (фізичні) моделі, які відображають зовнішню властивість і внутрішню побудову початкових об'єктів, суть процесів і явищ об'єкта-оригіналу.

Реальні моделі поділяються на такі:

- *натурні* – макети реальних систем, зменшених у певному масштабі (глобус як модель земної кулі, макет жилого мікрорайону); натурне моделювання може також реалізовуватися й на частинах реальної системи (відпрацювання моделі управління на окремих підприємствах фірми у вигляді експерименту) і на цілій системі; характерним для цього випадку є обмежені властивості експериментування;

- *аналогові* – властивість реальної системи подається деякою іншою властивістю аналогічної за поведінкою моделі; так, вплив сили тертя в маятнику можна змоделювати опором в аналогічній електричній схемі.

Ідеальні моделі – існують у голові дослідника у вигляді певних уявних образів, на папері, магнітних носіях у вигляді математичних формул, знаків, графіків, схем, таблиць тощо.

Можна виокремити два основних види ідеальних моделей:

- *концептуальні* – абстрактні моделі, які визначають структуру модельованої системи, властивості її елементів і причиново-наслідкові зв'язки, що є властивими системі й суттєвими для досягнення мети моделювання; концептуальні моделі можуть бути *вербальними* й *графічними*;

- *математичні* – моделі, що являють собою системи математичних співвідношень, які описують досліджуваний процес або явище.

Математичні моделі можна поділити на два основних класи:

- *аналітичні моделі* – між параметрами системи встановлюються формульні аналітичні залежності, для опису цих залежностей розроблено мову алгебричних, диференціальних, інтегральних та інших рівнянь;

- *імітаційні моделі* – моделі, які відтворюють процес функціонування системи в часі шляхом моделювання елементарних явищ у системі, обміну сигналами між елементами системи, формування вихідних сигналів і змінення станів елементів. Імітаційні моделі дають змогу врахувати такі різноманітні властивості елементів системи, як неперервність і дискретність, детермінізм і стохастичність, лінійність і нелінійність. При дослідженні

складних систем імітаційне моделювання в багатьох випадках є єдиним практичним методом отримання інформації про поведінку системи.

За видами використовуваних математичних засобів математичні моделі поділяються на такі:

- *дискретні* (усі змінні й параметри є дискретними величинами) або *неперервні*;
- *детерміновані* (у таких системах новий стан залежить тільки від часу й поточного стану системи, тобто якщо маються умови, що визначають перехід системи в новий стан, то можна однозначно сказати, у який саме стан вона перейде) або *стохастичні* (для таких систем можна вказати безліч можливих станів переходу і лише в деяких випадках – імовірнісні характеристики переходу в кожен із цих станів);
- *статичні* (безліч станів такої системи містить один елемент) або *динамічні* (безліч станів містить більше одного елемента або вони можуть змінюватися в часі).

При вирішенні практичних завдань інфокомунікацій широкого використання набули графічні й аналітичні моделі (хоча інші варіанти теж є допустимими).

5.3. Будівництво аналітичних моделей в інфокомунікаціях

Суть аналітичного моделювання полягає у відображенні функціональної залежності між параметрами об'єкта (системи) у вигляді математичних виразів.

Звичайно, таких залежностей між елементами системи буде дуже багато, набагато більше, ніж самих елементів. Наприклад, між двома елементами може бути тільки один зв'язок (залежність). Між трьома – три, між чотирма – шість, між п'ятьма – десять і т. д. Відображати ці зв'язки у вигляді формул не завжди просто, а іноді й неможливо. Однак у найпростіших випадках це вдається. Наприклад, розглянемо роботу звичайного мультіплексора. Його графічну модель зображено на рис. 5.2.

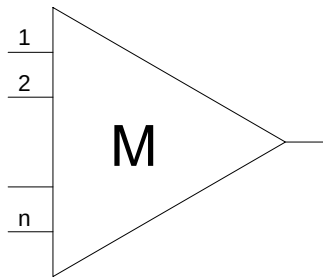


Рис. 5.2. Графічна модель мультиплексора

Якщо на входи мультиплексора надходять потоки зі швидкістю $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$, то сумарна швидкість на виході

$$V_{out} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n,$$

$$V_{out} = \sum_{i=1}^n V_i.$$

Це й буде аналітичною моделлю мультиплексора як частини системи інфокомунікацій. Очевидно, ця модель буде доречною при вирішенні завдань з визначення й оптимізації швидкості пересилання.

Аналітичне моделювання можна провести як для всієї системи інфокомунікацій у цілому, так і для її складових елементів. При цьому складність моделі як в одному, так і в другому випадку буде залежати від постановки завдання й умов, за яких її буде вирішено. Слід також зазначити, що складність моделі залежить від охоплення рівнів моделі OSI.

Таким чином, стратифікація і параметризація є потужними інструментами під час розв'язання задач системного аналізу.

Контрольні запитання

1. Дайте означення поняття «параметризація».
2. Як визначити суттєвість якого-небудь параметра при розв'язанні задач? Поясніть на прикладі.
3. Назвіть характеристики (параметри), які впливають на якість пересилання мови в телефонному каналі.
4. Чим відрізняється модель від реального об'єкта?
5. Дайте означення понять «модель» і «моделювання».
6. Наведіть аналітичну й графічну моделі демультимплексора. На якому рівні семирівневої моделі OSI знаходиться демультимплексор?
7. Дайте означення понять «аналітична модель», «імітаційна модель».

6. ПРИНЦИПИ БУДУВАННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

6.1. Сегментний підхід при будівництві мереж

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

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

Зважаючи на економічну доцільність, основним завданням сегментації слід уважати максимізацію частки трафіка, який замикається всередині сегментів, і мінімізацію тієї його частини, яка циркулює між сегментами.

Раніше діяло правило, що базується на результатах експлуатації мереж електрозв'язку, яке свідчить про те, що мережа має поділятися на сегменти таким чином, щоб 80 % трафіка розподілялося всередині сегментів і лише 20% – між сегментами. Сьогодні ця закономірність не завжди підтверджується. Непоодинокими є відсоткове співвідношення 50 : 50 і навіть 20 : 80, коли основна частина звернень спрямована до зовнішніх інформаційних ресурсів (наприклад, ресурсів інтернету). Однак вимога максимізації трафіка всередині сегмента при синтезі мережі залишається актуальною.

Способи виокремлення сегментів інфокомунікаційної мережі можна класифікувати за ознаками, які найбільш часто використовуються.

1. **Виокремлення сегментів за масштабом охопленої території** (рис. 6.1.) До виокремленого сегмента можна вжити термін «мережа», який не суперечить загальноприйнятій термінології, а для повноти ієрархії логічно ввести поняття глобальної мережі.

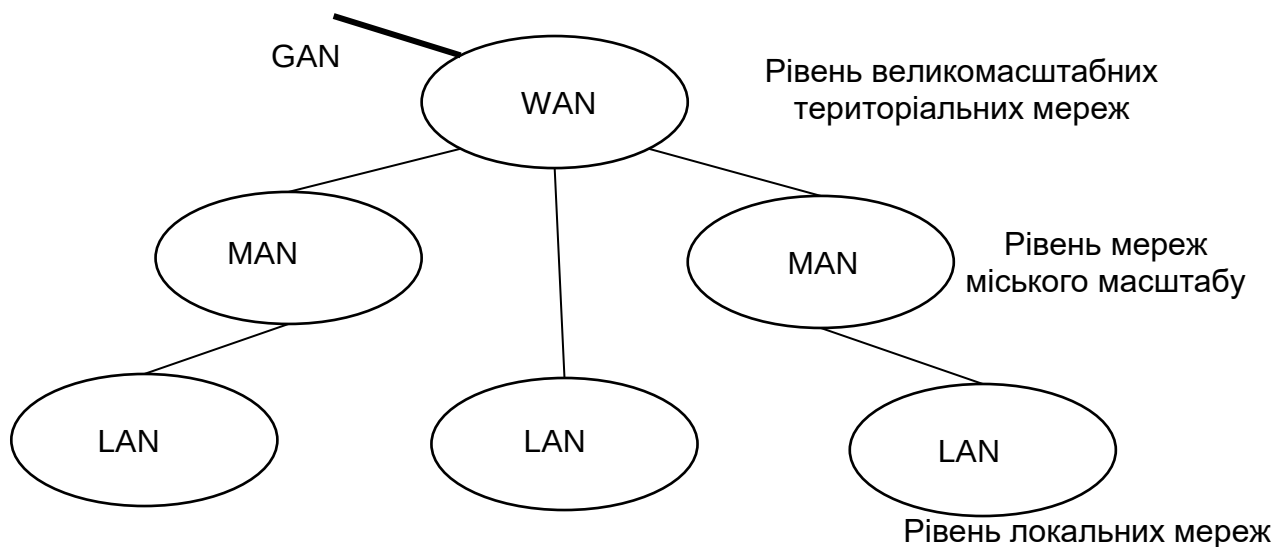


Рис. 6.1. Ієрархія мереж

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

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

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

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

2. Виокремлення сегментів на основі декомпозиції транспортної функції. Мережна активність при транспортуванні інформації різними ділянками мережі визначається інтенсивністю створеного в них мережного трафіка. Принцип розподілу інтенсивності трафіка на різних ділянках інфокомунікаційної мережі може бути основою декомпозиції транспортної функції. При такій декомпозиції передбачається

виокремлення трьох типів сегментів, які вирішують відносно самостійні функціональні підзавдання, а саме: *транспортні мережі, мережі доступу й розподільні мережі*.

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

Мережею доступу (Access Network) називають сегмент інфокомунікаційної мережі, у якому формуються інформаційні потоки, спрямовані в транспортну мережу.

Хоча мережі доступу й транспортна мережа спільно вирішують завдання реалізації транспортної функції з перенесення інформації з одного кінця в інший, телекомунікаційні технології, які використовуються в них, істотно різняться.

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

Розподільною мережею (Distribution Network) називають сегмент інфокомунікаційної мережі, з допомогою якого концентрований потік, що надходить з транспортної мережі, перерозподіляється і надходить до споживачів.

На практиці функції мережі доступу й розподільної мережі часто поєднуються в одному сегменті.

3. Виокремлення сегментів за технологічною ознакою. Визначаючи сегменти за ознаками телекомунікаційної технології, вживають поняття, яке пов'язане з назвою відповідного технологічного стандарту або протоколу, наприклад: «мережа Ethernet», «мережа ISDN», «мережа ATM», «мережа SDH», «IP-мережа» та ін.

Принцип технологічної однорідності дає змогу виокремити сегменти, до яких вживається термін «хмара».

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

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

6.2. Будівництво сегментів фізичного, каналного й мережного рівнів

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

З'єднаність усіх пунктів у сегменті на фізичному рівні можна досягти:

- використанням окремих ліній зв'язку для кожної пари кінцевих пунктів (повнозв'язна топологія «кожен з кожним»);
- спільним комунікаційним середовищем;
- вузлоутворенням.

Повнозв'язна топологія – це фізичне середовище пересилання, у якому з'єднаність кінцевих пунктів забезпечується принципом «точка – точка».

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

Спільне комунікаційне середовище – це фізичне середовище пересилання, у якому з'єднаність кінцевих пунктів забезпечується принципом «точка – багато точок» (шинна топологія).

Пари пунктів можуть взаємодіяти у спільному середовищі, не заважаючи одна одній, тільки по чергові, тому що спільне комунікаційне

середовище є єдиним приладом, який обслуговує запити на обмін інформацією різних співвідносних пар пунктів.

Недоліки сегментів, побудованих на базі спільного середовища пересилання:

- дефіцит пропускної здатності й зменшення продуктивності сегмента при збільшенні кількості під'єднаних кінцевих пунктів;
- обмеження фізичної довжини сегмента, зумовлене загасанням сигналів у фізичному середовищі пересилання.

Використовуючи мультиплексування, у спільному комунікаційному середовищі можна організувати кілька незалежних каналів, поділивши його смугу пропускання на канали меншої пропускної здатності. Кожен з них можна використовувати або за принципом спільного комунікаційного середовища для під'єднання декількох кінцевих пунктів, або як незалежні канали двоточкового з'єднання для під'єднання окремих пар пунктів. У будь-якому разі обмеженням є дефіцит пропускної здатності спільного середовища пересилання, використання якого, незважаючи на зазначені недоліки, завжди є економічно вигідним рішенням.

Основні переваги спільного комунікаційного середовища – простота фізичної топології мережі, а також відносно просте й недороге комунікаційне обладнання, у якому не потрібно аналізувати адресну інформацію повідомлень, що пересилаються. Це завдання перекладається на обладнання кінцевих пунктів, де аналізується адреса кожного надісланого повідомлення й обробляється лише те з них, яке адресовано певному пункту.

Вузлоутворення – це фізичне середовище пересилання, у якому передбачається структуризація сегмента зі встановленою ієрархією вузлових пунктів, де розміщується активне комунікаційне устаткування, що забезпечує зв'язність з'єднаних у них ліній. Вузлоутворення є компромісом між двома розглянутими вище способами організації зв'язних фізичних сегментів.

При будівництві сегментів фізичного рівня у вузлових пунктах використовується обладнання, у якому не передбачено оброблення адресної інформації повідомлень, що пересилаються. Це – устаткування

фізичного рівня моделі OSI/ISO, наприклад повторювачі, концентратори, мультиплексори.

Реалізацією принципу вузлоутворення в сегменті називають його фізичну структуризацію, оскільки вузлові пункти можуть мати різний статус і таким чином формувати ієрархію. Фізично структурований сегмент залишається сегментом зі спільним комунікаційним середовищем, а отже, у ньому зберігаються усі його недоліки.

Сегменти каналного рівня утворюються шляхом розміщення у вузлових пунктах сегмента устаткування, здатного аналізувати адресну інформацію кадрів, що пересилаються (комунікаційного обладнання каналного рівня моделі OSI/ISO), і на її основі виконувати функцію комутації вхідних і вихідних ліній зв'язку. Такий принцип вузлоутворення в сегментах отримав назву *«логічна структуризація»*. У логічно структурованому сегменті у вузлових пунктах по суті відбувається поділ спільного комунікаційного середовища на менші за розміром фізичні сегменти, у межах яких властиві йому недоліки мінімізуються або їх зовсім немає.

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

Використання комутованої топології дає змогу вирішити декілька найважливіших завдань, таких, як підвищення продуктивності сегмента й забезпечення його оптимальною масштабованістю.

Сегментом мережного рівня є певна сукупність логічних вузлів, виокремлених за принципом домену.

При доменному принципі передбачається спосіб групування вузлів у поіменовані групи – домени. У цьому випадку ім'ям для кожного домену є спільний для вузлів, що належать до нього, номер – адреса мережного рівня.

Групу вузлів, які мають єдиний мережний номер, називають *логічною мережею*.

Обмін трафіком двох і більше логічних мереж називають міжмережною взаємодією. Примежовим комунікаційним пристроєм, який виконує процедуру міжмережної взаємодії, є маршрутизатор (обладнання мережного рівня OSI/ISO). Він здатен не тільки розрізняти мережні адреси, а й виконувати фільтрацію трафіка, спрямованого у відповідні логічні мережі. Маршрутизатор обробляє пакети, які дістаються із кадрів, на основі мережної адреси і не аналізує MAC-адресу, тим самим перешкоджаючи потраплянню службового широкомовного трафіка з однієї логічної мережі в іншу. У зв'язку з цим логічну мережу ще називають доменом широкомовного трафіка.

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

Узагальнені характеристики сегментів:

- *розмір* сегмента визначається фізичною відстанню між найбільш віддаленими точками;
- *масштаб* сегмента визначається кількістю об'єднаних у ньому хостів;
- *внутрішньосегментний трафік* у загальному випадку складається з локального трафіка, вихідного, вхідного й транзитного відносно сегмента, який розглядається;
- *локальний трафік* – це трафік, який формується внаслідок інформаційного обміну хостів у межах сегмента. Розподіл локального трафіка в сегменті будемо називати замиканням трафіка в сегменті;
- *вихідний трафік* – це трафік, який генерується хостами сегмента і є спрямованим за межі цього сегмента до хостів інших сегментів;
- *вхідний трафік* – це трафік, генерований хостами інших сегментів і призначений хостам певного сегмента;
- *транзитний відносно сегмента трафік* – це трафік, генерований хостами інших сегментів та адресований хостам, розташованим поза певним сегментом.

Відповідно до перелічених складових внутрішньосегментного трафіка розрізняють такі види сегментів:

Сегмент замикання локального трафіка – сегмент, у якому циркулює тільки локальний трафік. Це – приклад закритої, ізольованої мережі. Топологія логічних зв'язків у такому сегменті є повнозв'язною для співвідносних пунктів.

Сегмент формування вихідного трафіка – сегмент, хости якого генерують трафік, спрямований за межі сегмента.

Сегмент розподілу вхідного трафіка – сегмент, у якому є лише трафік, який надходить від зовнішніх відносно нього хостів.

Сегмент формування транзитного трафіка – сегмент, у якому є концентрований трафік від хостів зовнішніх сегментів. Цей сегмент має особливий статус магістрального сегмента, який об'єднує опорні, опорно-транзитні або власне транзитні вузли й визначає рівень замикання трафіка, оскільки перерозподіляє трафік між усіма об'єднаними ним сегментами, що мають нижчий статус.

Відмінною особливістю такого сегмента є підвищення вимог до пропускнуої здатності магістральних ліній і продуктивності вузлів.

6.3. Поєднання сегментів мережі

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

Розширюваність – це можливість збільшення розміру сегмента шляхом порівняно нескладного долучення нових структурних фрагментів.

Поняття розширюваності пов'язують зазвичай з фізичними сегментами, побудованими на основі спільного комунікаційного середовища пересилання.

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

На рис. 6.2 показано приклад розширення локальної мережі, у якій для з'єднання комп'ютерів використовується загальний кабель. Збільшення довжини сегмента здійснено шляхом нарощення додаткових ділянок, приєднаних повторювачами.



```
graph TD; C1[Концентратор] --- C2[Концентратор]; C1 --- C3[Концентратор]; C1 --- C4[Концентратор]; C2 --- D2_1(( )); C2 --- D2_2(( )); C2 --- D2_3(( )); C2 --- D2_4(( )); C3 --- D3_1(( )); C3 --- D3_2(( )); C3 --- D3_3(( )); C3 --- D3_4(( )); C4 --- D4_1(( )); C4 --- D4_2(( )); C4 --- D4_3(( )); C4 --- D4_4(( )); D2_1 --- RG1[Рабочая группа 1]; D2_2 --- RG1; D2_3 --- RG1; D2_4 --- RG1; D3_1 --- RG2[Рабочая группа 2]; D3_2 --- RG2; D3_3 --- RG2; D3_4 --- RG2; D4_1 --- RG3[Рабочая группа 3]; D4_2 --- RG3; D4_3 --- RG3; D4_4 --- RG3;
```

Комутована топологія з використанням комунікаційного устаткування не нижче канального рівня на відміну від спільного комунікаційного

середовища дає змогу забезпечити оптимальну масштабованість сегмента.

Масштабованість – це можливість необмеженого під'єднання хостів і цілих сегментів, що не впливає на продуктивність мережі в цілому.

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

Об'єднання сегментів на мережному рівні розглядається як забезпечення міжмережної взаємодії, тобто засіб обміну даними між логічними мережами з використанням комунікаційного обладнання й протоколів третього рівня моделі OSI/ISO. Таке об'єднання логічних мереж називають інтермережею (internetwork, internet).

У мережах, які використовують стек протоколів TCP/IP, взаємодія логічних мереж здійснюється на основі протоколу міжмережної взаємодії (Internet Protocol, IP). У зв'язку з цим нарівні з терміном «інтермережа», використовуються також терміни «IP-мережа», «TCP/IP-мережа» (за назвою протоколу й стеку відповідно).

Таким чином, сегментний підхід при синтезі інфокомунікаційної мережі забезпечує в цілому вирішення таких важливих завдань:

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

Контрольні запитання

1. У чому полягає суть сегментного підходу при синтезі інфокомунікаційних мереж?
2. Перелічіть основні класифікаційні ознаки, за якими здійснюється виокремлення сегментів.
3. Що таке сегменти LAN, MAN, WAN?
4. Дайте означення таких понять, як «транспортна мережа», «мережа доступу», «розподільна мережа».
5. Що називають сегментом фізичного рівня?
6. Перелічіть механізми забезпечення зв'язності в сегментах. У чому полягають переваги й недоліки кожного з них?
7. У чому полягає відмінність між фізичною і логічною структуризацією сегментів?
8. Які переваги в сегменті забезпечуються завдяки використанню обладнання канального рівня?
9. На якому принципі базується утворення сегментів мережного рівня? Як називають сегменти мережного рівня?
10. Яке комунікаційне обладнання забезпечує міжмережну взаємодію логічних мереж?
11. Перелічіть узагальнені характеристики сегментів.
12. Охарактеризуйте складники внутрішньосегментного трафіка.
13. Які види сегментів розрізняють відповідно до типу формованого внутрішньосегментного трафіка?
14. Як різняться способи об'єднання сегментів на фізичному, канальному й мережному рівнях?
15. Які фактори є обмеженнями при розширенні й масштабуванні сегментів?
16. Що розуміють під «інтермережею»?
17. Чим різняться поняття «інтермережа» й «інтернет» і що між ними є спільним?

7. МЕТОДИ СИНТЕЗУ Й АНАЛІЗУ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

7.1. Загальне поняття про задачі синтезу й аналізу

Усі завдання при будівництві й експлуатації інфокомунікаційних мереж можна поділити на два класи: задачі синтезу й задачі аналізу.

«Синтез» у перекладі з грецької означає «з'єднання, складання».

Задача синтезу постає як під час будівництва нової мережі, так і реконструкції й розвитку наявних мереж. За типом ця задача є техніко-економічною, тому що найчастіше треба прийняти рішення, оптимальне за економічними показниками, такими, наприклад, як мінімум капіталовкладень, максимум рентабельності тощо.

При синтезі мережі зазвичай вважається, що розташування пунктів мережі є заданим. При цьому топологія ліній зв'язку є невідомою характеристикою і її можна варіювати залежно від оптимізації економічних показників. Це дає змогу розглядати мінімум витрат на лінії зв'язку як цільовий критерій оптимального синтезу мережі. На конфігурацію ліній зв'язку між пунктами мережі може бути накладено обмеження, зокрема заборона окремих географічних трас, наприклад, під час перетинання ними водних або гірських перешкод.

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

Задача аналізу є актуальною для наявних, тобто вже синтезованих, мереж. Такі задачі спрямовано на знаходження екстремальних шляхів пересилання інформаційних потоків, визначення сукупності шляхів заданої транзитності, оцінювання пропускну здатності мережі, імовірності підтримки зв'язку між пунктами та ін.

Для того щоб розв'язати конкретну задачу синтезу або аналізу інфокомунікаційної мережі, її необхідно **формалізувати**, тобто записати у вигляді схеми: що задано, що необхідно визначити і з якими обмеженнями.

Формалізацію можна виконати словесно (таку форму називають вербальною моделлю задачі) або у вигляді математичної моделі, яка

описує задачу термінами тієї чи іншої теорії (наприклад, теорії графів, теорії множин, теорії оптимальних рішень та ін.).

Здійснення формалізації потребує не тільки розуміння самої проблеми, а й вибору адекватної моделі об'єкта. Моделювання об'єкта синтезу або аналізу дає змогу з'ясувати й відтворити найбільш істотні відповідно до поставленого завдання елементи об'єкта і зв'язки між ними.

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

У задачах синтезу й аналізу зв'язувальних мереж найчастіше використовують **оптимізаційні математичні моделі**, де критерій оптимізації записують як **цільову функцію**, для якої необхідно знайти **екстремум** (мінімум або максимум). На параметри цільової функції зазвичай накладають обмеження, за якими визначають межі змінення значень шуканих параметрів. Обмеження записують як рівняння й нерівності, що містять деякі логічно зв'язані сукупності цих параметрів. Таку систему рівнянь або нерівностей називають системою обмежень задачі.

Задачі, у яких треба відшукати екстремум (мінімум або максимум) деякої цільової функції, що відображає критерій оптимальності розв'язання, називають екстремальними.

Особливістю екстремальних задач синтезу й аналізу телекомунікаційних мереж є їх велика розмірність. Формулювання цих задач термінами графових і мережних моделей дає змогу отримати значну кількість ефективних методів та алгоритмів їх розв'язання, орієнтованих на застосування ЕОМ.

Під **алгоритмом** розуміють формалізовану покрокову процедуру, що забезпечує розв'язання задачі.

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

Точні алгоритми завжди гарантують знаходження оптимального розв'язання задачі (глобального оптимуму цільової функції). Наприклад,

алгоритм повного перебирання всіх можливих розв'язків з вибором найкращого серед них, є точним алгоритмом.

Точні алгоритми зазвичай є досить трудомісткими, тому у практиці часто використовують більш прості алгоритми, що забезпечують швидке розв'язання задачі з прийнятною точністю. Такі алгоритми будують, використовуючи раціональні правила знаходження розв'язання. Ці правила називають *евристиками*. Розв'язання задачі можна повторити, використовуючи інші евристики. Як доводить практика, збільшуючи витрати часу, *евристичний алгоритм* дає змогу знайти розв'язок, близький до оптимального.

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

7.2. Модельне подання інфокомунікаційної мережі як об'єкта синтезу й аналізу

Мережа зв'язку (інфокомунікаційна мережа) як об'єкт синтезу й аналізу – це сукупність розосереджених у просторі пунктів і ліній, які їх з'єднують. Математичною моделлю такого об'єкта може бути граф.

Графом називають певну сукупність точок, з'єднаних лініями.

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

Вершини можна позначити малими латинськими літерами (i, j, k, l, s) або арабськими цифрами (1, 2, 3, 4, 5), а ребра (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 ребра (дуги) (рис. 8.1).

Граф, у якому задано напрямок дуг стрілками, називають **орієнтованим (орграфом)**, у протилежному випадку – **неорієнтованим**.

Неорієнтовані дуги називають **ребрами**.

Змішаний граф – це граф, ребра (дуги) якого є і орієнтованими, і неорієнтованими.

Граф, кожній дузі (ребру) якого відповідають деякі числові характеристики, називають **зваженим графом**, а самі характеристики називають **вагами**. Ваговими характеристиками мережі можуть бути відстані, пропускна здатність, вартість та ін.

Зважений граф називають **мережею** (у цьому випадку мається на увазі ще одна модель мережі зв'язку, а не фізичний об'єкт).

Паралельні ребра – це ребра, що мають однакові кінцеві вершини.

Петля – це ребро, кінцеві вершини якого збігаються.

Простий граф – це граф без петель і паралельних ребер.

Мультиграф – це граф з петлями і паралельними ребрами.

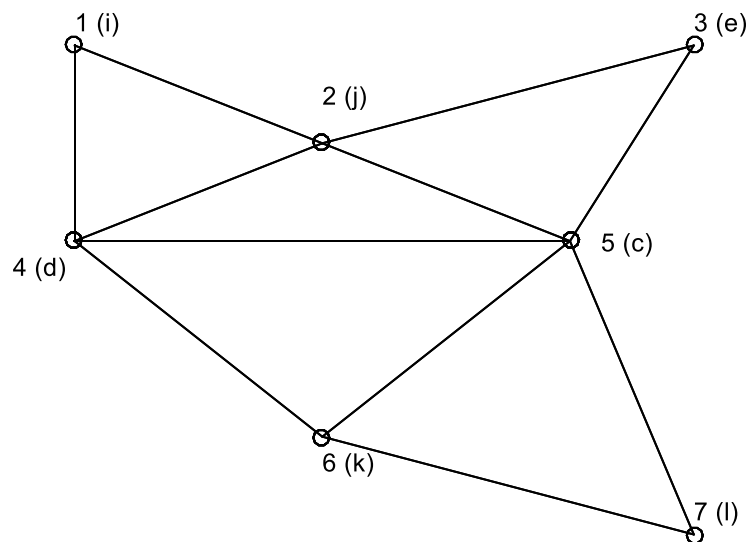


Рис. 7.1. Графова модель мережі

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

Між вершиною і суміжними з нею дугами (ребрами) існує відношення **інцидентності**. Вершина i дуга є інцидентними одна одній, якщо вершина є для цієї дуги кінцевою або початковою точкою.

Ізольована вершина – це вершина, що не є інцидентною ніякому ребру.

Нуль-граф – це граф, що складається з ізольованих вершин.

Кількість ребер, інцидентних одній вершині v_i , $\rho(v_i)$ називають ступенем вершини v_i .

Для орієнтованого графа ступінь вершини складається з двох напівступенів – напівступінь вихіду $\rho(v_i)^-$ (кількість дуг, що виходять з вершини v_i) і напівступінь входу $\rho(v_i)^+$ (кількість дуг, що входять у вершину v_i).

Вершину, що має ступінь $\rho(v_i)=1$, називають **висною**.

Ступінь ізольованої вершини $\rho(v_i)=0$.

Сума ступенів усіх вершин графа є парним числом, що дорівнює подвоєній кількості ребер графа.

Повний граф – це граф, будь-які дві вершини якого з'єднані ребром.

Однорідний граф ступеня k – це граф, ступені усіх вершин якого є однаковими й дорівнюють k .

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

Найбільш поширеними дискретними формами графа є матричне і списочне подання.

Матричне подання графів

Матриця суміжностей. Це матриця $A = [a_{ij}]$ розміром $(n \times n)$ елементів, які можуть набувати таких значень:

$$A = \begin{cases} a_{ij} = 1, & \text{якщо вершини є суміжними;} \\ a_{ij} = 0, & \text{якщо вершини не є суміжними.} \end{cases}$$

Для оргграфа елементи матриці суміжностей набувають таких значень:

$$A = \begin{cases} a_{ij} = 1, & \text{якщо є дуга з вершини } a_i \text{ у вершину } a_j; \\ a_{ij} = 0, & \text{якщо такої дуги немає.} \end{cases}$$

Матриця суміжностей графа, показаного на рис. 7.1, має вигляд

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

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

У неорієнтованому графі матриця суміжностей є симетричною основній діагоналі, отже, в пам'яті ЕОМ може зберігатися лише один з її трикутників (верхній або нижній), що заощаджує пам'ять, але ускладнює її оброблення в ЕОМ.

Матриця інцидентності. Це матриця $B = [b_{ij}]$ розміром $(n \times m)$ елементів, які можуть набувати таких значень:

$$B = \begin{cases} b_{ij} = 1, \text{ якщо вершина } i \text{ є інцидентною ребру } j; \\ b_{ij} = 0, \text{ якщо вершина } i \text{ не є інцидентною ребру } j. \end{cases}$$

Для орграфа елементи матриці інцидентності набувають таких значень:

$$B = \begin{cases} b_{ij} = 1, \text{ якщо вершина } i \text{ є інцидентною ребру } j \text{ і є його початком;} \\ b_{ij} = 0, \text{ якщо вершина } i \text{ не є інцидентною ребру } j; \\ b_{ij} = -1, \text{ якщо вершина } i \text{ є інцидентною ребру } j \text{ і є його кінцем.} \end{cases}$$

Пронумеруємо дуги графа, наведеного на рис. 7.1: $(1, 2) = 1, (2, 3) = 2, (1, 4) = 3, (4, 2) = 4, (2, 5) = 5, (3, 5) = 6, (4, 5) = 7, (4, 6) = 8, (5, 6) = 9, (5, 7) = 10, (6, 7) = 11$. Тоді матриця інцидентності набуде вигляду

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

Матриця ваг. Мережу (зважений граф) у дискретному вигляді може бути відтворено матрицею ваг $W = [w_{ij}]$, де w_{ij} – вага дуги (ребра) за її (його) наявності. Вага ненаявних дуг (ребер), як вважається, дорівнює ∞ або 0, що залежить від умов поставленої задачі.

Списки

Якщо граф є *розрідженим* (має малу кількість дуг (ребер)), то можливим є більш компактне подання графа $G(V, E)$, а саме списком суміжностей і списком дуг (ребер).

Список суміжностей. Для кожної вершини записується список суміжних вершин.

Список суміжностей графа, показаного на рис. 7.1, набуде вигляду

1: 2, 4;

2: 1, 3, 4, 5;

3: 2, 5;

4: 1, 2, 5, 6;

5: 2, 3, 4, 6, 7;

6: 4, 5, 7;

7: 5, 6.

Список ребер (дуг). Цей список записується парами суміжних вершин (початкова вершина, кінцева вершина, якщо є вага ребра). Список ребер графа, показаного на рис. 7.1, набуде вигляду

(1, 2), (2, 3), (1, 4), (4, 2), (2, 5), (4, 5), (3, 5), (4, 6), (5, 6), (5, 7), (6, 7).

Контрольні запитання

1. Які задачі належать до класу задач синтезу, а які – до класу аналізу?
2. Перелічіть форми модельного подання мережі зв'язку як об'єкта синтезу й аналізу. Охарактеризуйте кожну з них.
3. Що називають графом, орієнтованим графом, неорієнтованим графом? Який граф називають мережею?
4. Що таке відношення суміжності й інцидентності елементів графа?
5. Назвіть переваги й недоліки точних та евристичних алгоритмів.

8. ЗАДАЧІ СИНТЕЗУ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Розв'язання будь-якої задачі синтезу мережі зв'язку обов'язково складатиметься з визначення топології фізичних зв'язків для деякої заданої сукупності пунктів, розосереджених у просторі. Неважко уявити, що кількість топологічних варіантів можливих фізичних зв'язків у цьому випадку може бути доволі значною. Закономірно постає питання про вибір такого варіанта, який відповідатиме деякому заздалегідь визначеному критерію оптимальності. Таким чином, задачі синтезу мереж зв'язку є екстремальними, для розв'язання яких можна застосовувати точні й евристичні алгоритми. Чим більшою є розмірність мережі, тим складнішим буде застосування точних методів і алгоритмів. Однак сегментний підхід до будування інфокомунікаційних мереж дає змогу здійснювати декомпозицію загальної задачі синтезу мережі на кілька підзадач оптимального синтезу її сегментів, які виконують відносно самостійні завдання щодо забезпечення основної телекомунікаційної функції – транспортування інформаційних потоків. Отже, можна казати про оптимальний синтез мережі абонентського доступу, транспортної мережі та ін.

У сучасній теорії графів пропонуються методи й алгоритми розв'язання задач оптимального синтезу топологій фізичних зв'язків для сегментів інфокомунікаційних мереж.

8.1. Синтез мережі мінімальної вартості

Задача синтезу мережі мінімальної вартості – це об'єднання деякої множини точок таким чином, щоб кожна пара точок стала зв'язною (безпосередньо або через інші точки), а загальна вагова характеристика зв'язків виявилася мінімальною.

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

З теорії графів і мереж відомо, що розв'язком поставленої задачі є мережа з топологією фізичних зв'язків типу «дерево», тобто такого графа,

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

Граф типу «дерево», у якому для кожної пари вершин існує шлях, який їх з'єднує, називають покривним деревом.

Математично задача синтезу мережі мінімальної вартості зводиться до знаходження мінімального покривного дерева. Цю задачу формулюють таким чином: нехай задано неорієнтований граф $G(N, V)$, де множині вершин N відповідає множина пунктів мережі, загальна кількість яких дорівнює n , а множина ребер V – відстаням $\{l_{ij}\}$ між парами пунктів. Відомою є вартість C_{ij} організації одиниці довжини (наприклад, одного кілометра) лінії зв'язку між пунктами i та j .

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

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

Для розв'язання поставленої задачі існує кілька ефективних алгоритмів знаходження покривного дерева. Найбільш відомими з них є алгоритми Пріма й Краскала.

8.1.1. Алгоритм Пріма

Алгоритм Пріма – це алгоритм будівництва мінімального покривного дерева зваженого зв'язного неорієнтованого графа. Алгоритм вперше було відкрито 1930 року чеським математиком Войцехом Ярніком, пізніше перевідкрито Робертом Прімом 1957 року, і незалежно від них – Е. Дейкстрою 1959 року.

На вхід алгоритма подається зв'язний неорієнтований граф $G(N, V)$. Для кожного ребра задається його вартість.

Спочатку береться довільна вершина і знаходиться ребро з мінімальною вартістю, інцидентне цій вершині. Знайдене ребро і дві вершини, що з ним з'єднуються, утворюють дерево. Потім розглядаються

ребра графа, один кінець яких – вершина, що вже належить дереву, а інший – не належить. З цих ребер вибирається ребро з мінімальною вартістю. Вибране на кожному кроці ребро приєднується до дерева. Зростання дерева відбувається доти, доки не буде вибрано всі вершини вихідного графа. При цьому загальна кількість ребер не повинна перевищувати $(n - 1)$ і між усіма n вершинами покривного дерева має бути зв'язність.

Результатом роботи алгоритму є покривне дерево мінімальної вартості.

Процедура виконання алгоритму Пріма

К р о к 1. Мережа $G'(N, V')$, яку треба визначити, початково містить n вершин і не має ребер. Вибирають одну довільну вершину і позначають як «вибрану». Інші $(n - 1)$ вершин є «невибраними».

К р о к 2. Відшуковують ребро (i, j) , яке належить $G(N, V)$ з мінімальною вагою, у якого вершина i належить підмножині «вибраних» вершин, а вершина j – підмножині «невибраних» вершин.

К р о к 3. Ребро (i, j) розміщують у мережі $G'(N, V')$, яку треба визначити, а вершину j , вилучаючи з підмножини «невибраних», розташовують у підмножині «вибраних» вершин. Якщо підмножина «невибраних» вершин виявилася порожньою, то роботу алгоритму завершено, інакше – перехід до кроку 2.

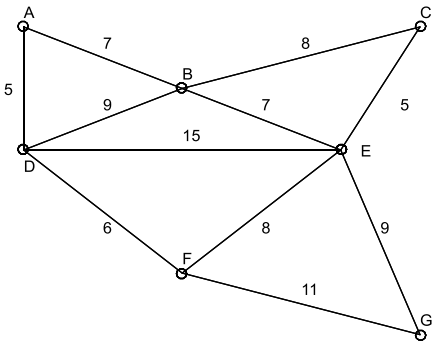
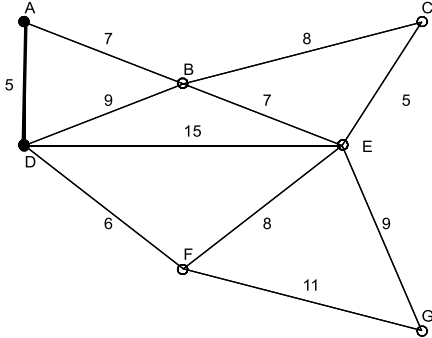
П р и к л а д

Задано сім пунктів мережі, відстані між якими зведено в матрицю $L = \|l_{ij}\|$:

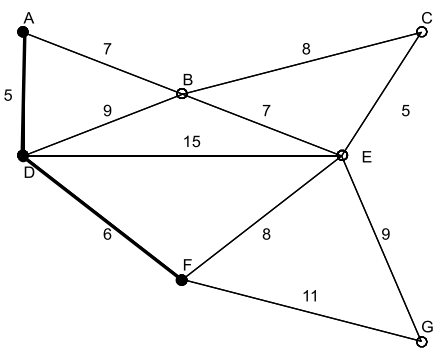
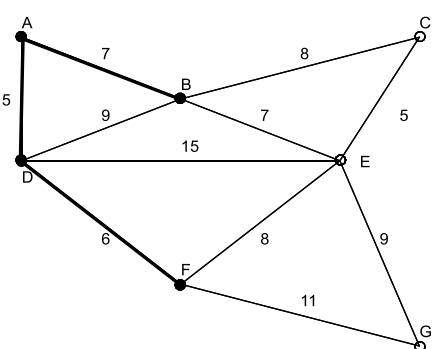
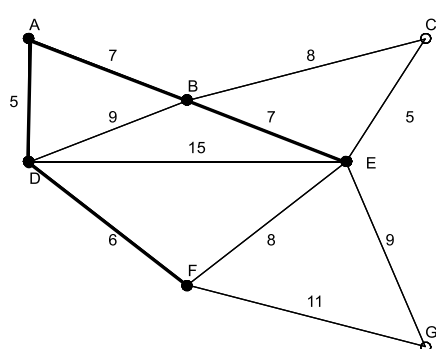
$$L = \begin{vmatrix} 0 & 7 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 8 & 9 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 5 & 9 & 0 & 0 & 15 & 6 & 0 \\ 0 & 7 & 5 & 15 & 0 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 8 & 0 & 11 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 11 & 0 \end{vmatrix}.$$

Алгоритм будівництва мінімального покривного дерева $G'(N, V')$ наведено в табл. 8.1.

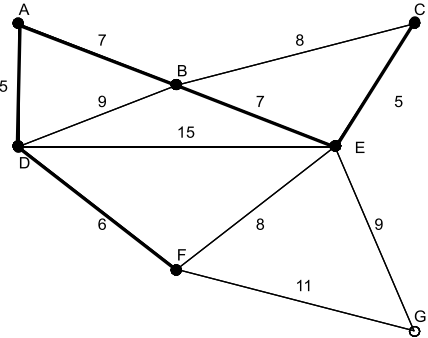
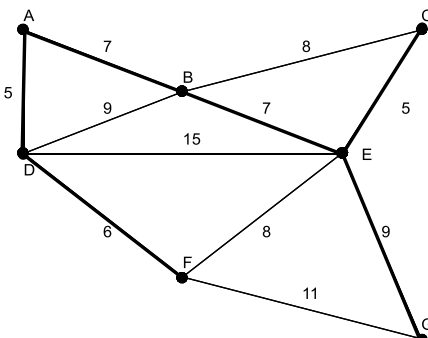
Таблиця 8.1

Граф	Опис
 Підмножина «вибраних» вершин {} Ребра {} Підмножина «невибраних» вершин {A, B, C, D, E, F, G}	Вихідний зв'язний зважений неорієнтований граф $G(N, V)$
 Підмножина «вибраних» вершин {D, A} Ребра {D, A} = 5 Підмножина «невибраних» вершин {B, C, E, F, G}	Як початкова довільно вибирається вершина D. Кожну з вершин A, B, E і F з'єднано з D єдиним ребром. Вершина A є найближчою до вершини D і вибирається як друга вершина разом з ребром AD

Продовження табл. 8.1

Граф	Опис
 Підмножина «вибраних» вершин {D, A, F} Ребра {D, A} = 5, {D, F} = 6 Підмножина «невибраних» вершин {B, C, E, G}	Наступна вершина – найближча до будь-якої з вибраних вершин D або A. Вершина B віддалена від вершини D на 9 і від A – на 7. Відстань до вершини E дорівнює 15, а до F – 6. Вершина F є найближчою, тому її додають до дерева разом з ребром DF
 Підмножина «вибраних» вершин {D, A, F, B} Ребра {D, A} = 5, {D, F} = 6, {A, B} = 7 Підмножина «невибраних» вершин {C, E, G}	Аналогічним чином вибирається вершина B, віддалена від вершини A на 7
 Підмножина «вибраних» вершин {D, A, F, B, E} Ребра {D, A} = 5, {D, F} = 6, {A, B} = 7, {E, B} = 7 Підмножина «невибраних» вершин {C, G}	У цьому випадку є можливість вибрати вершини C, E, G. Вершина C віддалена від вершини B на 8, вершина E віддалена від вершини B на 7, а вершина G віддалена від вершини F на 11. Вершина E – найближча, тому її додають до дерева разом з ребром BE

Закінчення табл. 8.1

Граф	Опис
 Підмножина «вибраних» вершин {D, A, F, B, E, C} Ребра {D, A} = 5, {D, F} = 6, {A, B} = 7, {E, B} = 7, {E, C} = 5 Підмножина «невибраних» вершин {G}	У цьому випадку доступні тільки вершини C і G. Відстань від вершини E до вершини C дорівнює 5, а до вершини G – 9. Вибираються вершина C і ребро EC
 Підмножина «вибраних» вершин {D, A, F, B, E, C, G} Ребра {D, A} = 5, {D, F} = 6, {A, B} = 7, {E, B} = 7, {E, C} = 5, {E, G} = 9 Підмножина «невибраних» вершин {}	Залишилася єдина вершина – G. Відстань від вершини F до неї дорівнює 11, від вершини E – 9. Вершина E ближче, тому вибираються вершина G і ребро EG. Вибрано всі вершини, мінімальне покривне дерево побудовано (виділено жирним).

Знайдено шуканий граф $G'(N, V')$, який є покривним деревом, тому що містить усі вершини, а кількість ребер є меншою на одиницю від кількості вершин ($n = 7, v = 6$), і забезпечує зв'язність кожної пари вершин.

8.1.2. Алгоритм Краскала

Алгоритм, описаний Джозефом Краскалом 1956 року, майже не відрізняється від алгоритма, запропонованого Отакаром Борувкою 1926 року.

Спочатку множина ребер установлюється порожньою. Потім, поки це можливо, проводиться така операція: з усіх ребер, додавання яких до вже

наявної множини не викличе появи у графі циклу, вибирається ребро мінімальної ваги. Коли таких ребер більше немає, алгоритм завершено. Знайдений підграф вихідного графа, що містить усі його вершини і знайдену множину ребер, і є його мінімальним покривним деревом.

8.2. Визначення оптимального місця розташування опорного вузла в кабельній мережі абонентського доступу

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

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

Вершина m , яка належить множині N , є медіаною графа $G(N, V)$, якщо це не суперечить умові

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

Величину $R_m = \sum_{j=1}^n l_{mj}$ називають **медіанною довжиною** графа $G(N, V)$, яка є найменшою сумарною довжиною ребер, що з'єднують вершину m з іншими вершинами графа.

Алгоритм визначення медіани графа G

К р о к 1. У вихідній матриці ваг $L = [l_{ij}]$, яка відповідає довжині ребер, знаходимо суму елементів для кожного рядка:

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

К р о к 2. Серед значень R_i відшукуємо мінімальне R_m . Вершина m і є медіаною графа G . Кінець роботи алгоритму.

8.3. Визначення оптимального місця розташування базової станції в мережі стаціонарного радіодоступу

Припустимо, що задано розташування пунктів мережі, у якій реалізовано абонентський стаціонарний радіодоступ до базової станції (БС). Необхідно знайти місце розташування базової станції, яка по радіоканалах зв'язується з абонентськими пунктами (АП). Бажано, щоб відстань від БС до будь-якого АП була мінімальною, що забезпечить стійкий радіозв'язок з урахуванням меншої потужності передавача БС.

Зрозуміло, що такий критерій задовольнити майже неможливо. Тому будемо мінімізувати відстань до найбільш віддаленого від БС абонентського пункту, інші АП у цьому випадку автоматично будуть знаходитися ближче до БС. Закономірно, що БС (якщо це можливо) повинна займати центральне положення відносно всіх АП.

Задачу знаходження пункту, у якому доцільно розташувати БС, можна звести до задачі знаходження *центра графа*.

Вершину s називають центром графа $G(N, V)$, якщо це не суперечить умові

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

Алгоритм знаходження центра графа (вершини s)

К р о к 1. У кожному рядку i вихідної матриці ваг $L = [I_{ij}]$ знаходимо елемент з максимальним значенням.

К р о к 2. Серед максимальних значень елементів рядків знаходимо найменше значення $I_{sj} \in \{I_{ij}\}$. Вершина s і є центром графа. Кінець роботи алгоритму.

Таким чином, мінімізувавши відстань від точки s до найвіддаленішої вершини, було забезпечено до всіх інших вершин гарантовано меншу відстань.

8.4. Визначення циклу найменшої довжини для організації транспортного кільця

Кільцеві топології фізичних зв'язків часто використовують для будівництва сегментів інфокомунікаційних мереж, особливо транспортних.

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

Цикл – послідовність дуг (ребер) графа, що складають шлях, який починається й закінчується в одній і тій самій вершині.

Контур – послідовність вершин графа, які належать циклу.

Пошук циклу (контуру) є доцільним лише в графі, кількість ребер якого є більшою від кількості його вершин n .

Власне кажучи, у задачах синтезу вихідний граф допустимих зв'язків між вершинами завжди є надлишковим (кількість ребер є більшою від кількості вершин). У такому графі можна утворити $n!$ циклів, що містять дуги (ребра) різної ваги, серед яких можна відшукати цикл найменшої сумарної ваги дуг (ребер). Розв'язавши подібну задачу, можна, наприклад, оптимізувати витрати на будівництво транспортної мережі.

Задача про **знаходження циклу найменшої довжини** в теорії графів є відомою як **задача комівояжера**. Її можна формалізувати таким чином.

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

Розв'язком цієї задачі є **гамільтонів контур** у графі $G(N, V)$, який відповідає маршруту найменшої довжини. Назва «гамільтонів контур» походить від прізвища ірландського математика Вільяма Гамільтона, який 1859 року вперше розпочав дослідження цих задач.

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

Задачу про знаходження гамільтанового контуру можна розв'язати з допомогою точного методу.

Пронумеруємо n міст цілими числами від 1 до n . За базовим містом закріпимо номер n . Звернемо увагу на те, що тур комівояжера однозначно відповідає перестановці цілих чисел 1, 2, ..., $(n - 1)$. Базове місто під номером n при цьому постійно є останнім і в процесах переставлення не бере участі. Кожній перестановці можна поставити у відповідність деяке

число, яке визначає довжину маршруту комівояжера як суму довжин ребер циклу, що з'єднує всі n вершин графа.

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

Не важко переконатися, що ефективність обчислювальної процедури для розв'язання цієї задачі точним методом різко зменшується зі збільшенням числа n вершин графа. Як доводить практика, ефективність можна вважати задовільною, якщо кількість вершин у графі не більша від 30. У зв'язку з цим для розв'язання задачі про знаходження гамільтонового контуру часто використовують евристичні алгоритми з такою, наприклад, евристикою: *на кожному кроці рухаємося тільки до найближчого пункту*. Використання евристики дає змогу одержати прийнятний розв'язок за час, необхідний для будування тільки одного контуру.

Визначення гамільтонового циклу найменшої довжини є актуальним при визначенні оптимальної кільцевої топології сегментів інфокомунікаційних мереж.

Контрольні запитання

1. Які задачі належать до класу задач синтезу мереж зв'язку?
2. Що називають графом, орієнтованим графом, неорієнтованим графом? Який граф називають покривним деревом?
3. Перелічіть вимоги, яким мають задовольняти розв'язки задачі синтезу мережі мінімальної вартості.
4. У чому полягає суть алгоритму Пріма, що забезпечує будування мережі мінімальної вартості? Чи можна застосувати алгоритм Пріма для будування мережі максимальної вартості? Якщо так, то яким чином?
5. Чи можна використовувати алгоритм Пріма для неповнозв'язної вихідної матриці відстаней? Що це означає?
6. Алгоритм Пріма є точним чи евристичним?
7. У чому полягає суть алгоритму Краскала?
8. Яку вершину називають медіаною графа?

9. Сформулюйте алгоритм визначення медіани графа за матрицею відстаней між усіма парами вершин графа.
10. Яку вершину називають центром графа? Сформулюйте алгоритм визначення центра графа.
11. Який контур називають гамільтоновим циклом?
12. Що є точним розв'язком задачі комівояжера?
13. Які евристики можна використовувати для розв'язання задачі про визначення транспортного кільця?

9. ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Задачі аналізу інфокомунікаційної мережі ґрунтуються на синтезованій топології фізичних зв'язків і найчастіше зводяться до з'ясування оптимальних топологій логічних зв'язків. Це стосується будування оптимальних планів розподілу інформаційних потоків у мережі, вибору найкращих маршрутів передання інформаційних повідомлень, підвищення надійності й живучості мережі та ін.

Задачі синтезу й аналізу пов'язані між собою, оскільки можливості оптимізації топології логічних зв'язків обмежуються топологією фізичних зв'язків у мережі. Якщо неможливо виконати умови оптимального будування топології логічних зв'язків, то доводиться повертатися до синтезу інших топологій фізичних зв'язків. Унаслідок цього будування інфокомунікаційної мережі та її сегментів перетворюється на ітераційний процес.

9.1. Знаходження найкоротшого шляху в мережі зв'язку

Задача про знаходження найкоротшого за довжиною шляху в мережі зв'язку є фундаментальною задачею комбінаторної оптимізації. З її допомогою можна вирішити широке коло практичних завдань, які виникають під час керування інфокомунікаційними мережами, упровадження нових телекомунікаційних технологій, методів маршрутизації та ін. Закономірно, що як довжини можуть розглядатися будь-які інші вагові характеристики елементів графа.

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

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

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

Задачу про знаходження найкоротшого шляху можна сформулювати в такому вигляді.

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

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

Одним із найбільш ефективних алгоритмів, які розв'язують поставлену задачу, є **алгоритм Дейкстри**.

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

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

Позначки поділяють на *тимчасові* й *постійні*. Тимчасові позначки можуть змінюватися під час роботи алгоритму, а постійні – не змінюються.

Алгоритм Дейкстри

К р о к 1. Для вершини s береться, що $L_{ss} = 0$, а для інших вершин $L_{sj} = \infty$. Усі вершини мають тимчасові позначки типу (L_{sj}, s) .

К р о к 2. Серед вершин з тимчасовими позначками вибираємо вершину r , для якої L_{sr} має найменше значення серед усіх L_{sj} . Таким чином, позначка вершини r стає постійною.

К р о к 3. Якщо усі вершини мережі отримали постійні позначки, то робота алгоритму закінчується, інакше – перехід до кроку 4.

К р о к 4. Перераховуємо тимчасові позначки для вершин, суміжних з вершиною r , яка отримала постійну позначку на кроці 2, відповідно до формули $L_{sj} = \min(L_{sj}, L_{sr} + L_{rj})$. Перехід до кроку 2.

Трасування шляху μ_{st} здійснюється у зворотному напрямку – з вершини t до вершини s , керуючись вершинами i в постійних позначках.

Проілюструємо роботу алгоритму Дейкстри на прикладі. Знайдемо найкоротший шлях з вершини s до вершини t у мережі (рис. 9.1). Ваги, проставлені біля ребер, визначають їхні довжини.

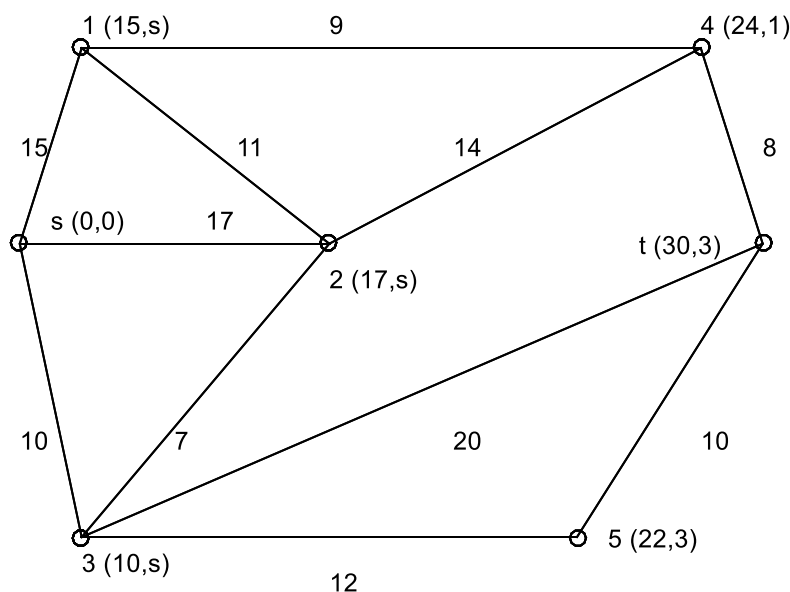


Рис. 9.1. Ілюстрація роботи алгоритму Дейкстри

К р о к 1. Позначка P для вершини s має такий вигляд: $P_s = (0,0)$. Для інших вершин $P_i = (\infty, s)$. Усі позначки є тимчасовими.

К р о к 2. Серед тимчасових позначок найменшу довжину має вершина s , оскільки $L_{ss} = 0$. Її позначка стає постійною (позначимо її подвійними дужками).

К р о к 3. Перераховуємо тимчасові позначки для вершин, суміжних з вершиною s . Для вершини 1 параметр довжини

$$L_{s1} = L_{ss} + l_{s1} = 0 + 15 = 15.$$

Отримане значення є меншим від наявного ($L_{s1} = \infty$), а тому нове значення тимчасової позначки $P_1 = (15, s)$.

Для вершини 2 нова позначка $P_2 = (17, s)$, для вершини 3 – $P_3 = (10, s)$

Перейшовши до кроку 2, вибираємо вершину 3, тому що вона має найменший параметр довжини ($L_{s3} = 10$) серед усіх вершин з тимчасовими позначками. Її позначка стає постійною. Оскільки ще не всі вершини отримали постійні позначки, переходимо до кроку 3 і здійснюємо перерахунок позначок для вершин, суміжних з вершиною 3. Позначку $P_2 = (17, s)$ можна залишити без змін, тому що новий параметр довжини дорівнює попереднім значенням: $P_5 = (22, 3)$, $P_t = (30, 3)$.

Вершина 1 на кроці 2 отримує постійну позначку, оскільки її параметр довжини є мінімальним.

Нове значення позначки на кроці 3 отримує вершина 4: $P_4 = (24, 1)$. Повертаючись до кроку 2, робимо постійну позначку на вершині 5. Змінити значення позначок на кроці 4 не вдається. Фіксуємо наступну вершину з постійною позначкою – це вершина 4.

Змінити тимчасову позначку для вершини t не вдається, і вона автоматично стає постійною.

На цьому робота алгоритму закінчується. Довжина визначеного шляху μ_{st} дорівнює 30 (перший параметр постійної позначки для вершини t). Трасування шляху визначаємо, рухаючись у зворотному напрямку від t до s через вершину, визначену як другий параметр постійної позначки. У цьому випадку маємо $t \rightarrow 3 \rightarrow s$.

9.2. Визначення множини шляхів заданої транзитності

Існує кілька обмежень, які накладаються під час знаходження шляхів у зв'язувальних мережах, з яких розглянемо обмеження на їх транзитність.

Під **транзитністю** шляху μ_{st} розуміють кількість проміжних пунктів, які належать до нього (без урахування початкового s і кінцевого t пунктів), або кількість ліній зв'язку, які з'єднують на шляху тільки транзитні пункти. Кількість проміжних пунктів називають параметром **транзитності** T на шляху μ_{st} .

Обмеження за транзитністю на шляху надсилання повідомлення залежать від вимог до якості обслуговування у мережі (наприклад, до часу

проходження повідомлення мережею, часу оброблення повідомлення у вузлах та ін.).

З допомогою термінів теорії графів задачу формулюємо таким чином.

Задано деякий вихідний граф $G(N, V)$, у відповідність множині N потужністю n вершин якого поставлено пункти мережі зв'язку, а множині V – лінії зв'язку. Необхідно визначити множину шляхів $M = \{\mu_{sj}\}$ із заданої вершини s до інших вершин $i \in N, i \neq s, i = 1, \dots, n$, графа G , для яких параметр транзитності T не перевищує певної заданої величини T_0 , тобто

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

Одним із найбільш зручних і легких для реалізації на ЕОМ методів визначення шляхів, які відповідають цій вимозі, є будівництво так званого **ярусного дерева** шляхів від заданої вершини s до інших вершин графа.

На рис. 9.2 наведено вихідний граф і ярусне дерево, що йому відповідає, з параметром $T_0 = 2$.

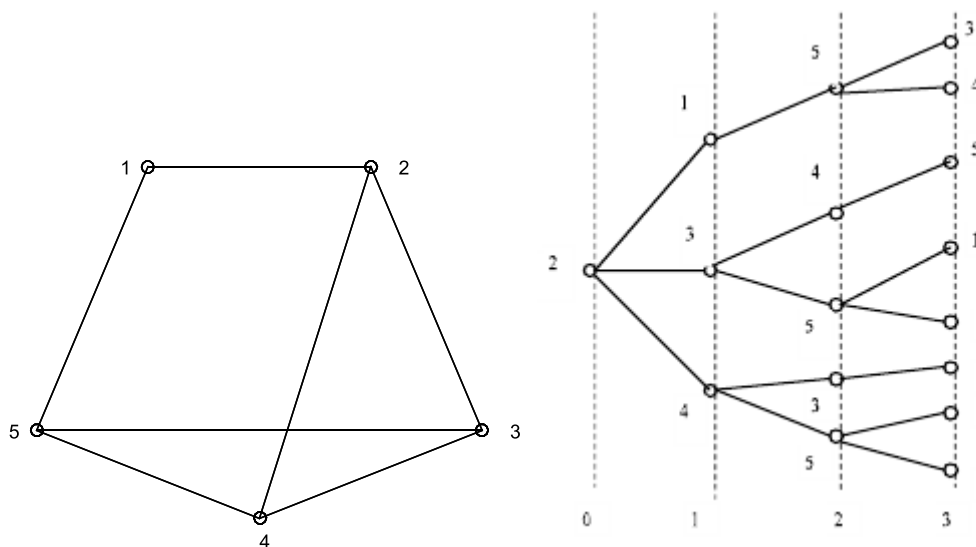


Рис. 9.2. Вихідний граф і ярусне дерево

Алгоритм будівництва ярусного дерева

Крок 1. Утворюємо підмножини нульового ярусу, який міститиме єдиний елемент – вершину s . Використовуючи матрицю суміжності, виписати номери стовпців у рядку з номером s , елементи якого $a_{sj} = 1$.

Таким чином, отримаємо підмножину вершин першого ярусу, утворену вершиною s .

К р о к 2. Утворюємо підмножину вершин наступного ярусу. Для цього:

а) по чергово вибираємо вершини попереднього ярусу, для кожної з яких вибираємо рядок з однойменним номером у матриці суміжності;

б) для кожного рядка виписуємо номери стовпців, визначені ненульовим елементами;

в) з кожної з утворених підмножин вилучаємо номери вершин (номери стовпців), відносно яких утворювалися підмножини вершин у попередніх ярусах. Усі невикреслені елементи (номери стовпців) утворюють підмножини наступного ярусу.

К р о к 3. Якщо номер ярусу дорівнює $(T_0 + 1)$, то алгоритм закінчено, інакше – переходимо до кроку 2.

Алгоритми знаходження екстремальних шляхів (найкоротших за довжиною і транзитністю) застосовують для визначення оптимальних маршрутів у мережах як із пакетною комутацією, так і з комутацією каналів. Результати їх роботи, зазвичай, зводять до будування маршрутних матриць, які зберігаються в транзитних пунктах телекомунікаційних сегментів із комутованою топологією. Їх призначено для обчислення вихідного порту під час комутації вхід – вихід, наприклад, у маршрутизаторах, комутаційних телефонних станціях.

Спеціальні технічні можливості комутаційного обладнання іноді дають змогу вибирати додаткові напрямки (обхідні) у разі зайнятості напрямку першого вибору. Порядок вибору напрямків визначають маршрутною матрицею, кількість рядків якої відповідає кількості шляхів, нумерація рядків – призначеному порядку їх зайняття, а кількість стовпців – адресам пунктів призначення. Елементом маршрутної матриці є номер порту вихідної лінії на шляху відповідного вибору з певного транзитного пункту до пункту призначення.

9.3. Задачі про потоки

Під час будь-якого переміщення деяких об'єктів з одного пункту в інший виникають потоки і, якщо їх розглядати з урахуванням обмежень на

переміщення, виникає необхідність розв'язати задачу про знаходження максимальної величини потоку, який може існувати в умовах заданих обмежень.

Задачі про потоки в мережах (зважених графах) привертають особливу увагу завдяки специфіці своєї структури. Для подальшого роз'яснення необхідними є такі означення.

Число x_{ij} називають потоком по дузі (ребру (i, j)), якщо $x_{ij} \leq b_{ij}$, де b_{ij} – пропускна здатність цієї дуги (ребра).

Потоком P_{st} з деякої вершини s , яку називають **джерелом**, у деяку вершину t , що називають **стоком**, у мережі є множина невід'ємних чисел x_{ij} – потоків по дугах (ребрах), якщо ці числа не суперечать таким обмеженням:

$$\sum x_{ij} - \sum x_{jr} = \begin{cases} -P_{st}, & \text{якщо } j = s \text{ (джерело);} \\ 0, & \text{якщо } j = s, t; \\ P_{st}, & \text{якщо } j = t \text{ (сток);} \end{cases} \quad (9.1)$$

$$P_{st} \geq 0; \quad 0 \leq x_{ij} \leq b_{ij} \text{ для всіх } (i, j) \in V. \quad (9.2)$$

У цьому випадку першу суму беруть по дугах, які ведуть до вершини j , а другу суму – по дугах, що виходять з вершини j .

З обмеження (9.1) випливає, що в кожную вершину (крім джерела й стоку) надходить стільки потоку, скільки з неї виходить. Це називають **умовою збереження потоку**. Обмеження (9.2) означає, що потік по дузі обмежено її пропускною здатністю.

Серед задач про потік найважливішою є задача про знаходження максимальної величини P_{st} у зваженому графі, де обмеженнями ваг дуг є їх пропускні здатності.

Отже, задано деяку мережу G (зважений граф), у якій потрібно передати потік з однієї вершини в іншу. Може виявитися, що дуги мережі G є ненадійними. Якщо «достатню» кількість дуг буде пошкоджено, то мережа не зможе передати потрібний потік. Ця ситуація є аналогічною до вилучення певної кількості дуг, у якій граф стає поділеним на декілька окремих компонент.

Якісне сприйняття подальшого матеріалу потребує визначення таких термінів.

Перерізом мережі називають мінімальну кількість дуг (ребер), вилучення яких з мережі порушує її зв'язність.

Пропускною здатністю перерізу називають суму пропускних здатностей дуг, орієнтованих у напрямку від джерела до стоку, або ребер, які складають цей переріз.

Переріз, який розділяє джерело s і стік t і має найменшу пропускну здатність, називають **мінімальним перерізом**.

Мінімальний переріз, який розділяє джерело s і стік t , є аналогом «вузького місця» у мережі, а отже, величина максимального потоку з s у t не може бути більшою за його пропускну здатність. Таким чином, величина максимального потоку характеризує пропускну здатність мережі між двома цими точками. Існує теорема про максимальний потік, доведена Фордом і Фалкерсоном.

Теорема про максимальний потік: величина максимального потоку завжди дорівнює мінімальній пропускній здатності перерізу серед усіх перерізів, які розділяють джерело s і стік t .

Теорема про максимальний потік і мінімальний переріз є основною в теорії потоків у мережах.

Отже, для оцінювання пропускну здатності зв'язної мережі достатньо визначити величину максимального потоку з s у t , який вона може пропустити, причому обчислення його дугових компонентів, знаходження шляхів пересилання може бути необов'язковим. Для цього відповідно до теореми про максимальний потік достатньо перебрати всі перерізи, які розділяють ці дві вершини, обчислити для кожного з них пропускну здатність і вибрати найменшу.

Як бачимо, це – задача комбінаторної оптимізації. Основна складність якої полягає в знаходженні ефективного методу породження множини перерізів, які розділяють джерело s і стік t .

Класичними методами визначення множини перерізів у мережі є методи, у яких застосовують операції булевої алгебри над елементами

матриць. Слід зауважити, що реалізація таких алгоритмів є досить трудомісткою для обчислення.

Наведемо метод, який дає змогу уникнути цього недоліку.

Нехай задано неорієнтований зважений граф $G(N, V)$, де N – кількість вершин графа потужністю n , а V – кількість ребер, вагами яких є їх пропускні здатності b_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$).

Ребра, що складають переріз, який розділяє джерело s і стік t , будемо записувати з допомогою двох неперетинних підмножин відповідно до початкових N_1 і кінцевих N_2 вершин, інцидентних цим ребрам.

Вершини підмножин N_1 і N_2 позначимо, наприклад, 0 – для вершин, що належать до N_1 , і 1 – для вершин, що належать до N_2 . Нехай джерело s належить N_1 , а стік $t \in N_2$. Отже, вершину s буде позначено нулем, а t – одиницею.

Щоб знайти мінімальний переріз серед усіх можливих, необхідно з'ясувати правило, яке породжує перерізи. Для цього запропоновано використовувати принцип подання чисел натурального ряду в двійковому вигляді. Розрядність двійкового числа в цьому випадку визначається кількістю залишених непозначеними вершин і становитиме $(n - 2)$. Отже, максимальна кількість двійкових чисел дорівнює $2^{(n-2)}$. Ця ж величина відповідатиме максимально можливій кількості перерізів, які розділяють s і t .

Різні комбінації нулів та одиниць у кожному двійковому числі можна використовувати для розподілу $(n - 2)$ вершин на підмножини N_1 і N_2 для чергового перерізу.

Для зручності перенумеруємо всі вершини вихідного графа, використовуючи числа натурального ряду від 1 до n , як показано на рис. 9.3. Далі організуємо лічильник від 0 до $2^{(n-2)}$, який буде генерувати двійкові числа розрядністю $(n - 2)$. Кожній позиції двійкового числа необхідно поставити у відповідність номер непозначеної вершини (порядок не має значення). Нагадаємо, що вершини s і t тут не беруть участі, тому що вони від початку вже отримали позначки і їх відповідно розподілено в підмножини: $s \in N_1, t \in N_2$.

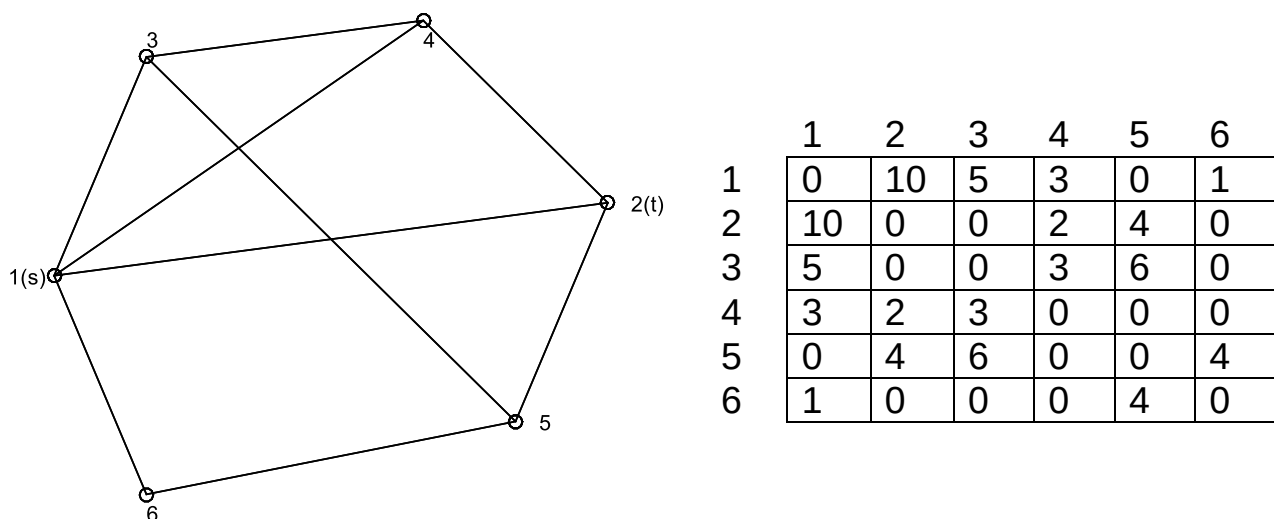


Рис. 9.3. Модель і матриця пропускних здатностей ребер неорієнтованої мережі

Після отримання чергового двійкового числа необхідно сформувати підмножини N_1 і N_2 , зафіксувати перелік інцидентних їм ребер і визначити пропускну здатність відповідного перерізу.

Слід зазначити, що з допомогою запропонованого способу отримання переліку ребер, утворюються ребра, яких може не бути у фізичному графі. Ці ребра можна або не розглядати, або враховувати з нульовою пропускну здатністю.

Мінімальне серед усіх $2^{(n-2)}$ отриманих значень пропускних здатностей перерізів і буде розв'язком цієї задачі – пропускну здатністю мережі з джерела s у стік t .

Формалізуємо зазначену процедуру покроковим алгоритмом.

К р о к 1. Джерело (вершину s) позначимо «0», а стік (вершину t) – «1». Візьмемо значення лічильника перерізів C таким, що дорівнює нулю. Сформуємо сітку двійкового числа розрядністю $(n-2)$, відповідно до кожної позиції якого поставимо ідентифікатор (номер) однієї з непозначених вершин.

К р о к 2. Отримаємо двійкове подання числа C і сформуємо підмножини N_1 і N_2 , використовуючи значення позицій двійкового числа як позначки для сортування непозначених вершин. Складемо перелік ребер наступного перерізу й визначимо його пропускну здатність $B_i(N_1, N_2)$ як суму пропускних здатностей ребер b_{ij} , де $i \in N_1$, $j \in N_2$.

К р о к 3. Збільшимо значення C на одиницю. Якщо C є більшим ніж $2^{(n-2)}$, то перейдемо до кроку 4, інакше – до кроку 2.

К р о к 4. Серед отриманих значень $\{B_i(N_1, N_2)\}$ вибираємо найменше.

Розглянемо приклад, що ілюструє роботу алгоритму.

Нехай потрібно оцінити пропускну здатність між джерелом s і стоком t у неорієнтованій мережі, модель і матрицю пропускних здатностей ребер якої показано на рис. 9.3.

Нехай вершина 1 є джерелом s , і її позначено «0», а вершина 2 – стоком t , яку позначено «1».

Комбінації позначок інших вершин у вигляді двійкових чисел для всіх можливих перерізів і величин їх пропускних здатностей зведено в табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Значення C	Двійкові комбінації				$B_i(N_1, N_2)$
	Номери непозначених вершин				
	3	4	5	6	
0	0	0	0	0	16
1	0	0	0	1	21
2	0	0	1	0	22
3	0	0	1	1	19
4	0	1	0	0	20
5	0	1	0	1	25
6	0	1	1	0	30
7	0	1	1	1	23
8	1	0	0	0	30
9	1	0	0	1	35
10	1	0	1	0	24
11	1	0	1	1	21
12	1	1	0	0	21
13	1	1	0	1	33
14	1	1	1	0	23
15	1	1	1	1	19

Так, наприклад, двійкове подання числа «нуль» дає змогу сформувати підмножини вершин $N_1 = (1, 3, 4, 5, 6)$, $N_2 = (2)$ і список ребер, які мають ненульову вагу, відповідного перерізу: (1,2), (4,2), (5,2). Сумарна пропускна здатність цих ребер дорівнює 16.

Наступному перерізу відповідають розбиття $N_1 = (1, 3, 4, 5)$ і $N_2 = (2, 6)$, ребра з ненульовими вагами (1,2), (1,6), (4,2), (5,2), (5,6), (4,2), (5,2), (5,6) і пропускна здатність, яка дорівнює 21.

За даними табл. 9.1 переріз під номером 0 має найменшу пропускну здатність, яка в цьому випадку і визначає пропускну здатність між вершинами s і t у заданій мережі.

Для розв'язання задач про потоки мережі (зважені графи) може бути класифіковано відповідно до типу породжуваних потоків. Наведемо означення, необхідні для подальшого засвоєння інформації.

*Мережу, яка має одне джерело й один стік, називають **двополюсною**.*

*Мережу, у якій кожную пару вершин можна розглядати як джерело і як стік, називають **багатополюсною**.*

*Якщо в мережі є кілька джерел і стоків, а потік може йти з будь-якого джерела в будь-який стік, то такий потік називають **однопродуктовим** (наприклад, мережі газопроводів, нафтопроводів, енергомережі та ін.).*

*Якщо в мережі з кількома джерелами й стоками потік повинен йти з деяких виокремлених джерел до деяких фіксованих стоків, то такий потік називають **багатопродуктовим** (наприклад, мережі інформаційного зв'язку, перевезень поштових відправлень тощо).*

У задачах про багатопродуктові потоки на відміну від задач про однопродуктові можна виявити кілька істотних відмінностей. Наприклад, відомо, що ребро (i, j) завжди можна замінити двома дугами з протилежно напрямленими стрілками, (i, j) і (j, i) . Якщо по цих дугах переміщуються однакові за величиною дугові потоки однопродуктового потоку, то можна стверджувати, що в ребрі (i, j) потоку немає. Немає сенсу переміщати продукт з пункту i до пункту j у тому випадку, якщо той же самий продукт і з такою самою кількістю переміщується з пункту j в пункт i .

Знаходження максимального однопродуктового потоку в багатополюсній мережі ґрунтується на методах розв'язання так званих транспортних задач.

Інакше відбувається у багатопродуктових потоках. Два однакових за величиною різнопродуктових потоки, які переміщуються по одному ребру в

протилежних напрямках, не знищують один одного. Ця особливість є прикметною, зокрема, для потоків інформації в інфокомунікаційних мережах. Саме це затруднює розв'язання задач для мереж з багатопродуктовими потоками.

Визначення максимального багатопродуктового потоку в мережі точними методами поки не відбулося, а отже, зводиться до будування плану розподілу потоків з допомогою евристичних алгоритмів.

Контрольні запитання

1. Які задачі належать до класу задач синтезу, а які – до класу аналізу?
2. Що називають шляхом у мережі, довжиною шляху, транзитним шляхом, найкоротшим шляхом?
3. Наведіть практичні ситуації, у яких виникає необхідність застосовувати задачі про визначення найкоротшого шляху.
4. У чому полягає ідея алгоритму Дейкстри пошуку найкоротших шляхів у мережі зв'язку?
5. Чи можна використовувати алгоритм Дейкстри для знаходження шляхів, найкоротших за транзитністю? Якщо так, то яким чином?
6. На чому базується метод будування «ярусного дерева»?
7. Що називають потоком із джерела в стік?
8. Дайте означення перерізу мережі. Який переріз називають мінімальним?
9. Сформулюйте теорему про максимальний потік і мінімальний переріз.
10. Яку мережу називають двополюсною, багатопольною?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Воробієнко, П. П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : підруч. / П. П. Воробієнко, Л. А. Нікітюк, П. І. Резніченко. – Київ : САММІТ-Книга, 2010. – 356 с.
2. Шерепа, І. В. Глобальна інформаційна інфраструктура : навч. посіб. / І. В. Шерепа, К. С. Шулакова. – Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2009. – 172 с.
3. Аршинова, О. І. Системний аналіз : навч. посіб. / О. І. Аршинова, А. В. Шевченко. – Київ : НАУ, 2008. – 128 с.
4. Сорока, К. О. Основи теорії систем і системного аналізу : навч. посіб. / К. О. Сорока. – Харків : ХНАМГ, 2004. – 291 с.
5. Шарапов, О. Д. Системний аналіз : навч.-метод. посіб. / О. Д. Шарапов, В. Д. Дербенцев, Д. Є. Семьонов. – Київ : КНЕУ, 2003. — 154 с.
6. Поповский, В. В. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах : учеб. для вузов / В. В. Поповский, В. Ф. Олейник. – Харьков : ООО «Компания СМІТ», 2011. – 362 с.
7. Системный анализ в информационных технологиях : учеб. пособие / Ю. Ю. Громов, Н. А. Земской, А. В. Лагутин и др. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 176 с.
8. Васильев, К. К. Математическое моделирование систем связи : учеб. пособие / К. К. Васильев, М. Н. Служивый. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 170 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Основні поняття й означення.....	4
1.1. Телекомунікаційна мережа.....	4
1.2. Інформаційна мережа.....	5
1.3. Інфокомунікаційна мережа.....	8
1.4. Глобальна інформаційна інфраструктура.....	10
Контрольні запитання.....	12
2. Системний аналіз і його особливості.....	13
2.1. Системний підхід і його основні принципи.....	13
2.2. Системний аналіз. Класифікація проблем.....	15
Контрольні запитання.....	19
3. Моделі системного опису інфокомунікаційної мережі.....	20
3.1. Поняття архітектури мережі.....	20
3.2. Топологічні моделі.....	22
3.3. Моделі організаційної структури мережі.....	25
3.4. Моделі логічної структури мережі.....	28
3.5. Компоненти й моделі фізичної структури мережі.....	32
Контрольні запитання.....	34
4. Структуризація інфокомунікаційних систем на основі стратифікованого підходу.....	35
4.1. Структуризація систем інфокомунікацій як складних систем....	35
4.2. Стратифікаційний підхід в інфокомунікаціях.....	37
4.3. Відповідність рівнів моделі OSI стеку протоколів TCP/IP.....	46
Контрольні запитання.....	49
5. Параметризація як основа будування аналітичної моделі інфокомунікаційних систем.....	51
5.1. Основні параметри інфокомунікаційних систем.....	51
5.2. Моделювання як основа системного аналізу.....	52
5.3. Будування аналітичних моделей в інфокомунікаціях.....	55
Контрольні запитання.....	56
6. Принципи будування інфокомунікаційних мереж.....	58
6.1. Сегментний підхід при будуванні мереж.....	58
6.2. Будування сегментів фізичного, каналного й мережного рівнів.....	61
6.3. Поєднання сегментів мережі.....	65
Контрольні запитання.....	68
7. Методи синтезу й аналізу інфокомунікаційних мереж.....	69
7.1. Загальне поняття про задачі синтезу і аналізу.....	69
7.2. Модельне подання інфокомунікаційної мережі як об'єкта синтезу й аналізу.....	71
Контрольні запитання.....	76
8. Задачі синтезу інфокомунікаційних мереж.....	77
8.1. Синтез мережі мінімальної вартості.....	77

8.2. Визначення оптимального місця розташування опорного вузла в кабельній мережі абонентського доступу.....	83
8.3. Визначення оптимального місця розташування базової станції в мережі стаціонарного радіодоступу.....	84
8.4. Визначення циклу найменшої довжини для організації транспортного кільця.....	84
Контрольні запитання.....	86
9. Задачі аналізу інфокомунікаційних мереж.....	88
9.1. Знаходження найкоротшого шляху в мережі зв'язку.....	88
9.2. Визначення множини шляхів заданої транзитності.....	91
9.3. Задачі про потоки.....	94
Контрольні запитання.....	100
Бібліографічний список.....	101

Навчальне видання

Проскура Галина Анатоліївна

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В ІНФОКОМУНІКАЦІЯХ

Редактор О. Ф. Серьожкіна

Зв. план, 2017

Підписано до видання 22.12.2017

Ум. друк. арк. 5,8. Обл.-вид. арк. 6,5. Електронний ресурс

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001