

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

УДК 519.85

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій
к.т.н., доц. Нікітчук Т.М.

« 14 »  2020 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Дослідження методів оптимізації телекомунікаційних мереж»

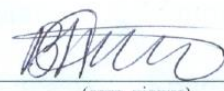
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи
студент 2 курсу, гр.ЗТРм-19


(дата, підпис)

Мищик В.А.

Керівник роботи
к.т.н., доц.


(дата, підпис)

Манойлов В.П.

Житомир
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему «Дослідження методів оптимізації телекомунікаційних мереж»

Виконав: студент 2 курсу, групи ТРм-19-1
спеціальності

172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Мицик В.А.

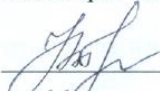
Керівник Манойлов В.П.

Рецензент Коломієць Р.О.

Житомир
2020

«Затверджено»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій

 Т.М. Нікітчук
«23» червня 2020 р.

**Завдання
на кваліфікаційну магістерську роботу**

Мицику Володимир Андрійовичу

1. Тема роботи «Дослідження методів оптимізації телекомунікаційних мереж»
затверджено наказом по університету від «16» листопада 2020 р. № 366/с
2. Мета дослідження: оптимізація телекомунікаційних мереж за критеріями якості наданих послуг
3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.
Основний алгоритм, який потребує удосконалення – алгоритм Дейкстри.
4. Основні задачі дослідження: детальний аналіз та оптимізація алгоритму Дейкстри для збільшення пропускної здатності та зменшення часу затримки у телекомунікаційних мережах.
5. Термін подання роботи до захисту 2/червень, 2020р.
6. Дата видачі завдання «23» червня 2020 р.

Науковий керівник


(підпис)

Манойлов В.П.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв
до виконання


(підпис)

Мицик В.А.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Проведено дослідження та аналіз методів оптимізації побудови цифрових мереж, трафіку та маршрутизації в телекомунікаціях в залежності від якості надання послуг. Розглянуто показники якості сервісу телекомунікаційних мереж, технології та проблемні питання при організації мереж.

Запропоновано метод оптимальної маршрутизації великих об'ємів даних та метод оптимізації маршрутизації інформаційних потоків при багатокритеріальних вимогах.

ANNOTATION

Research and analysis of methods for optimizing the construction of digital networks, traffic and routing in telecommunications depending on the quality of service. Indicators of quality of service of telecommunication networks, technologies and problematic questions at the organization of networks are considered.

The method of optimal routing of large volumes of data and the method of optimization of routing of information flows at multicriteria requirements are offered.

РЕФЕРАТ

Повний обсяг пояснювальної записки кваліфікаційної роботи складає 82 сторінки. Під час її написання було використано 22 джерела літератури, вона містить 15 рисунків та 4 таблиці.

Метою магістерської роботи є дослідження методів оптимізації телекомунікаційних мереж за критеріями якості послуг.

В розділі 1 «Огляд та аналіз літературних джерел» розглядаються теоретичні питання телекомунікаційних мереж, концепцій їх створень та параметри ефективності. Розглянуто показники якості сервісу телекомунікаційних мереж, технології та проблемні питання при організації мереж.

В розділі 2 «Дослідження та аналіз методів оптимізації побудови цифрових мереж, трафіку та маршрутизації в телекомунікаціях в залежності від якості надання послуг» розглянуті методи синтезу та аналізу систем; методи оптимізації в залежності від якості наданих послуг та запропоновано підходи до рішення задачі оптимізації маршрутизації в сучасних телекомунікаційних системах.

В розділі 3 «Дослідження і розробка методів оптимізації телекомунікаційних мереж» наведена методика оптимальної маршрутизації великих об'ємів даних та оптимізація маршрутизації інформаційних потоків при багатокритеріальних вимогах.

У висновку підсумовуються результати по виконанню кваліфікаційної роботи.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	10
1.1 Телекомунікаційна мережа	10
1.2 Параметри ефективності телекомунікаційної мережі	12
1.3 Телекомунікаційна мережа як складова інформаційної системи	13
1.4 Показники якості сервісу телекомунікаційних мереж, технології та проблемні питання при організації мереж	15
1.5 Стандартизація якості надання послуг	19
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ МЕРЕЖ, ТРАФІКУ ТА	26
МАРШРУТИЗАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ	
2.1. Загальне поняття про задачі синтезу та аналізу	26
2.2 Моделі якості послуг в телекомунікаційних мережах	30
2.3 Дослідження методів оптимізації трафіку телекомунікаційних мереж	41
2.4 Підходи до рішення задачі оптимізації маршрутизації в сучасних телекомунікаційних системах	48
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	58
3.1 Оптимальна маршрутизація великих об'ємів даних	58
3.2 Оптимізація маршрутизації інформаційних потоків при багатокритеріальних вимогах	70
ВИСНОВКИ	79
ЛІТЕРАТУРА	80

ВСТУП

Актуальність теми. Загальна тенденція розвитку інформаційного суспільства, як нового етапу в розвитку людства, на якому інформаційні та телекомунікаційні технології стають базовими, вимагає нових підходів до надання послуг в телекомунікаційних мережах (ТКМ).

Зростання конкуренції на ринку телекомунікації, розширення спектру послуг, інфраструктури та постійно зростаючі об'єми трафіку спонукають до вирішення задач оптимізації ТКМ для підвищення якості послуг, що надаються.

Рівень економічного розвитку будь-якої країни на даний час визначається ступенем впровадження новітніх технологій [1].

Особливе значення мають новітні технології, які окреслюють напрями науково-технічного прогресу. Поступовий перехід до мереж наступного покоління NGN (Next Generation Network) дозволяє підтримувати широкий спектр інфокомунікаційних послуг.

NGN ґрунтується на фундаментальній ідеї розподілу функцій комутації та функцій надання послуг, що дозволяє виконати впровадження глобальної інформаційної інфраструктури (ГІІ), яка надає можливість користувачам отримати всі види телекомунікаційних послуг з високою якістю, належною вартістю у будь-якому місці та у будь-який час. Щоб забезпечити такі вимоги необхідна більш гнучка архітектура телекомунікаційної мережі, яка б легко підтримувала швидке введення в дію нових послуг та їх супроводження з визначеною достовірністю на всій глобальній мережі.

Телекомунікаційна мережа визначається великою кількістю параметрів, функціональними можливостями, конкурентоспроможністю; суворими вимогами до забезпечення захисту інформації, високою надійністю та точністю, розгалуженою інфраструктурою. Кількість службової інформації в таких системах різко зросла, разом із зростанням об'ємів надання послуг, тому потрібно реорганізувати мережі під можливість впровадження нових технологій у майбутньому.

Невпинне зростання потоків інформації приводить до постійної модернізації інформаційних мереж, як в частині обладнання вузлів мережі, так і постійного розширення пропускних здатностей каналів передачі для зростаючого обсягу мультимедійного трафіку та забезпечення його якості. Збільшення трафіку реального часу (голос, відео) створює ряд проблем та вимагає застосування нових алгоритмів оптимізації, протоколів управління і відповідно іншого обладнання. Детальний аналіз вказаних проблем, оптимізація і налаштування використовуваного обладнання ТКМ може забезпечити зростаючі вимоги. При цьому витрати на проведення таких робіт значно нижчі від можливих затрат на закупівлю та встановлення нового телекомунікаційного обладнання.

Протягом останніх років ведуться інтенсивні розробки в області оптимізації телекомунікаційних мереж за різноманітними критеріями для зменшення негативного впливу мережевих факторів і досягнення параметрів якості в процесі доставки різноманітних, в т.ч. мультимедійних, даних.

Серед вчених, які вирішували окремі задачі в цій області, можна назвати таких відомих зарубіжних та вітчизняних вчених: Kleinrock L, Blake S, Grossman D, Wang Z, Стеклов В.К., Захарченко М.В., Беркман Л.Н., Іванов А.Б., Шехтман Л.И., Вишневський В.М., Оліфер Н.А, Оліфер В.Г., Башарін Г.П., Безрук В.М., Русин Б.П., Тимченко О.В., та ін. Проте основна задача оптимізації трафіку телекомунікаційних мереж за принципами диференціального обслуговування при заданій якості послуг, незважаючи на величезне число публікацій і зусилля фірм-виробників комунікаційного обладнання, до кінця ще не вирішена і є актуальною.

Оптимізація систем в умовах апіорної невизначеності на основі багатокритеріальної оптимізації з врахуванням вимог стандартів і рекомендацій міжнародних організацій з питань взаємодії і управління відкритими інформаційними системами досить складна задача і заслуговує уваги науковців. Вирішення задач оптимізації за критеріями якості наданих послуг є складовою частиною для подальшого розвитку методів оптимізації ТКМ, оскільки

забезпечення якості послуг є найважливішою та найскладнішою проблемою в телекомунікаціях, адже саме за допомогою показників якості оцінюється ступінь задоволення споживачів цих послуг.

Метою роботи є дослідження методів оптимізації телекомунікаційних мереж за критеріями якості наданих послуг.

Об’єктом дослідження є телекомунікаційна мережа, а **предметом дослідження** – методи оптимізації телекомунікаційних мереж.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Телекомунікаційна мережа

Загальне поняття «телекомунікації» базується із [2] на уявленні про засоби, які дозволяють організувати зв'язок між двома і більше віддаленими пунктами. Секція телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку (Telecommunications Standardization Sector of International Telecommunications Union, ITU-T) у Рекомендаціях серії I (I.110, I.112) визначає термін «телекомунікації» (Telecommunications) як сукупність засобів, які забезпечують перенесення інформації, поданій у необхідній формі, на значну відстань за допомогою поширення сигналів в одному з середовищ (міді, оптичному волокні, ефірі) або сукупності середовищ.

Засобами, визначеними загальним поняттям «засоби телекомунікацій», є лінії зв'язку, пристрої з'єднання середовищ, системи передачі, комунікаційні пристрої мережі, обладнання сигналізації, синхронізації та ін. Ґрунтуючись на цих поняттях, можна дати визначення телекомунікаційній мережі.

Телекомунікаційна мережа (Telecommunication Network, TN) [2] – це системоутворююча сукупність засобів телекомунікацій, що надає територіально віддаленим об'єктам можливість інформаційної взаємодії шляхом обміну сигналами (електричними, оптичними або радіо). Об'єктами при цьому можуть виступати як термінальні пристрої користувачів та кінцеві системи мережі, так і окремі мережі.

Кінцем (інтерфейсною точкою) телекомунікаційної мережі є або телекомунікаційний роз'єм, до якого під'єднано пристрій користувача (мережевий інтерфейс), або кінцеве мережеве обладнання, яке забезпечує з'єднання мереж (міжмережевий інтерфейс) (рисунок 1.1). У англійській науковій літературі, акцентуючи саме на цьому аспекті, телекомунікаційну

мережу називають Carrier Network (мережа-переносник).

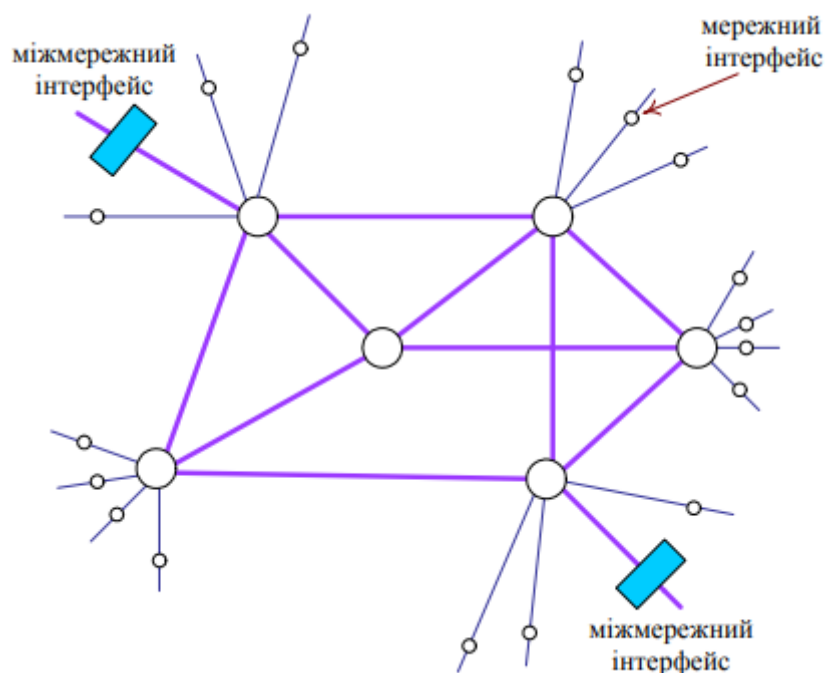


Рисунок 1.1 – Телекомунікаційна мережа

Транспортування (Transfer) інформації в мережевій термінології означає перенесення інформації, перетвореної в сигнал з кінця в кінець, тобто від джерела до одержувача. Його слід відрізнити від терміна «передача» (Transmission), під яким розуміється процес поширення сигналу у фізичному середовищі між двома суміжними пунктами мережі [2].

Транспортуючи інформацію, необхідно контролювати такі важливі мережеві функції, як якість обслуговування з кінця в кінець, керування потоками з метою запобігання перевантажень у мережі та ін. Телекомунікаційні мережі можна класифікувати за типом режиму перенесення інформації (синхронні, асинхронні) та технологічними характеристиками (середовищем передавання, заданою шириною смуги пропускання, якістю передавання сигналів, швидкістю передавання та ін.).

1.2 Параметри ефективності телекомунікаційної мережі

Телекомунікаційні мережі характеризують за показниками, які відображають у цілому можливість і ефективність транспортування інформації. Можливість транспортування інформації в телекомунікаційній мережі пов'язана зі ступенем її функціональності в часі, тобто виконанням заданих функцій в повному обсязі з необхідним рівнем якості протягом певного періоду експлуатації мережі або в конкретний момент часу. Працездатність мережі пов'язана з поняттями надійності та живучості. Різниця між цими поняттями зумовлена, насамперед, відмінностями причин та факторів, які порушують нормальну роботу мережі, та специфікою порушень [2].

Надійність мережі [2] зв'язку характеризується здатністю забезпечувати зв'язок, зберігаючи в часі значення встановлених показників якості в заданих умовах експлуатації.

Вона відображає вплив на працездатність мережі передусім внутрішніх чинників: випадкових відмов технічних засобів, спричинених процесами старіння, дефектами технології виготовлення або помилками обслуговуючого персоналу. Показниками надійності є, наприклад, відношення часу працездатності мережі до загального часу її експлуатації, ймовірність безвідмовного зв'язку та ін. Важливим показником є також кількість незалежних шляхів передавання інформаційного повідомлення, які можуть бути визначені між парою пунктів мережі.

Живучість мережі [2] зв'язку характеризується здатністю зберігати повну або часткову функціональність під впливом руйнуючих причин, які виникають поза межами мережі й призводять до виходу з ладу чи значних пошкоджень деякої частини її елементів (пунктів і ліній зв'язку). Виокремлюють два типи таких причин: стихійні й навмисні. До стихійних чинників відносяться: землетрус, повені та інші форсмажорні обставини, до навмисних – пошкодження мережі в наслідок злочинних дій.

Живучість мережі можуть характеризувати такі показники, які

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

Пропускна здатність мережі [2]. У тих випадках, коли мережа не може обслуговувати (реалізувати) необхідне навантаження, говорять про обсяг реалізованого навантаження в мережі. Величина реалізованого мережею навантаження визначає її пропускну здатність і в ряді випадків може бути оцінена кількісно апріорі. Наприклад, можна визначити величину максимального потоку інформації між двома пунктами (джерело-стік), або пропускну спроможність перетину мережі, що є найвужчим місцем при поділі мережі між джерелом і стоком на дві частини. Оцінка пропускну здатності мережі значною мірою пов'язана з параметрами якості обслуговування, тому що реалізація конкретного навантаження має здійснюватися відповідно до заданих параметрів якості.

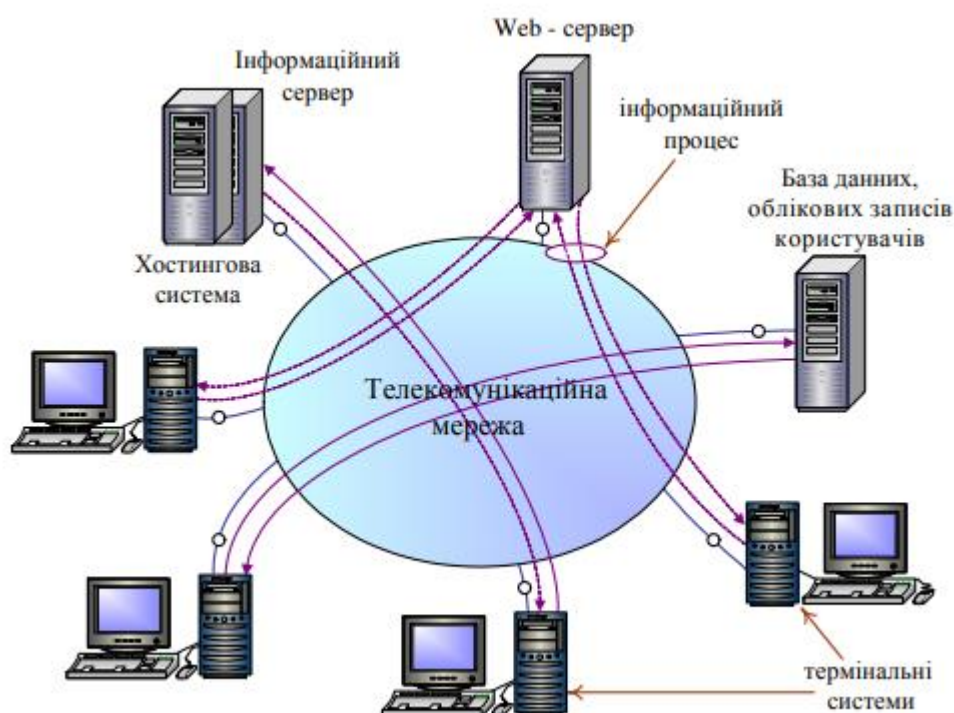
Якість обслуговування визначається сукупністю показників, які вказують на рівень відповідності телекомунікаційної мережі нормам експлуатації та вимогам користувачів.

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

1.3 Телекомунікаційна мережа як складова інформаційної системи

Телекомунікаційна мережа, входить до складу інформаційної мережі, де виконує функції транспортувальної системи. 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'єднювальним компонентом (рисунок 1.2) [2].



Риунок 1.2 – Телекомунікаційна мережа у складі інформаційної системи

Процеси конвергенції, цифровізації та комп'ютеризації мереж направлені на створення єдиної мережі, здатної надавати телекомунікаційні та інформаційні послуги інтегровано, а також забезпечувати можливість необмеженого розширення спектру різних послуг.

Інфокомунікаційна мережа – це комплекс термінальних пристроїв користувачів, кінцевих систем мережі та універсальної платформи виробництва та надання послуг, які відповідають різноманітним вимогам користувачів до їх типу та якості. Інфокомунікаційну мережу як фізичний об'єкт зображено на рисунку 1.3.

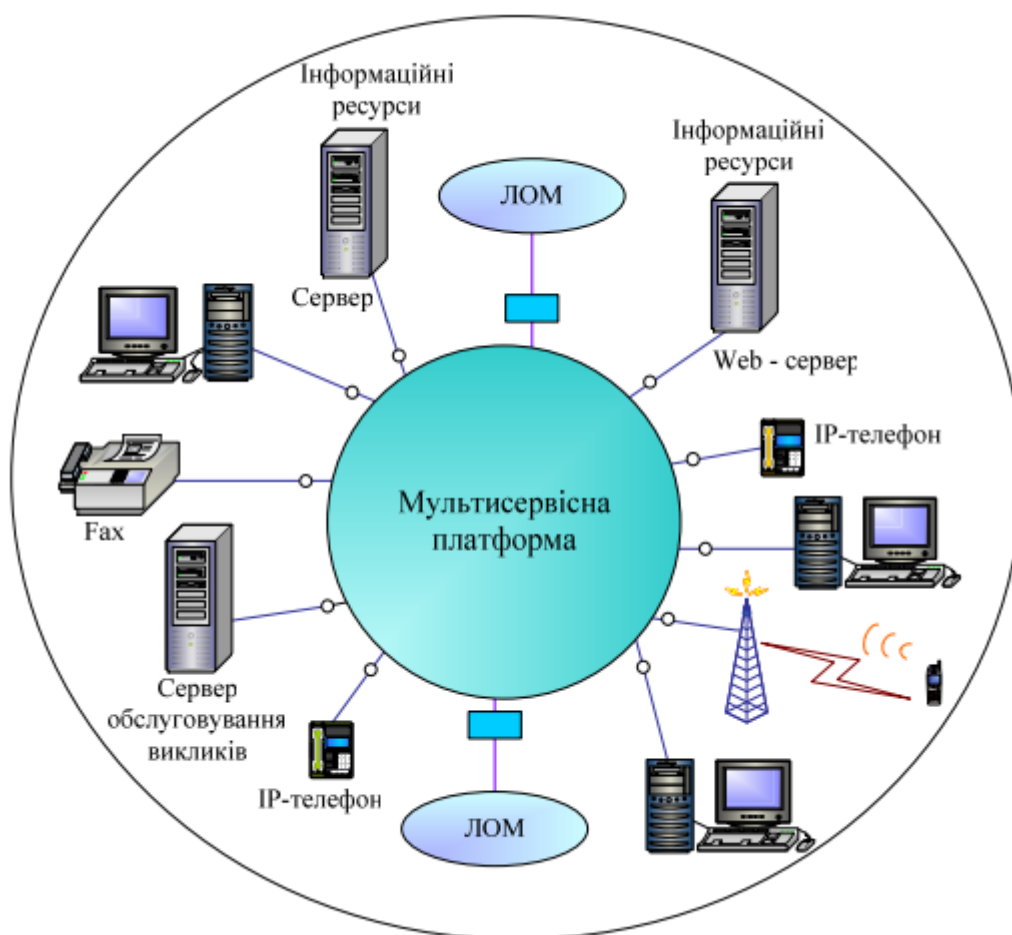


Рисунок 1.3 – Інфокомунікаційна мережа

1.4 Показники якості сервісу телекомунікаційних мереж, технології та проблемні питання при організації мереж

1.4.1 Якість послуг. Останніми роками завдяки зростанню мультимедійних додатків таких, як телеконференції, системи дистанційного навчання, тощо, що вимагають вищих швидкостей передачі і ширшої смуги пропускання, виникла потреба в розробці нової комунікаційної технології, здатної забезпечити передачу різних видів інформації за допомогою єдиного механізму передачі, і забезпечити задані значення показників якості сервісу (QoS - Quality of Service).

Відповідно до рекомендації ITU-T E.800, якість послуг (QoS – Quality of Service [4 – 7]) – це сукупність специфічних параметрів, що відносяться до

внутрішньої структури мережі та обумовлюють якість її роботи і характеризують споживчі властивості послуги в термінах, зрозумілих користувачам.

В даний час можна стверджувати, що забезпечення QoS необхідного рівня сервісу при передачі різномірної інформації є найважливішим завданням сучасних комунікаційних мереж. Звичайні IP-мережі не орієнтовані на забезпечення необхідного рівня QoS, оскільки спочатку IP-технологія була орієнтована на передачу даних простих додатків, для чого було досить використовувати прості програмовані маршрутизатори.

Першою технологією, здатною забезпечити заданий рівень якості обслуговування (QoS), була технологія ATM (Asynchronous Transfer Mode). Ця технологія з'явилася у середині 90-х років XX століття, і вона надала єдиний транспортний механізм для передачі різномірної інформації (аудіо, відео і дані) на високих і надвисоких швидкостях. Відмітними особливостями цієї технології стали введення різних категорій сервісу і показників якості обслуговування QoS.

Одним з важливих завдань, що виникають при організації управління в мережах ATM є управління трафіком і контроль перевантажень, які виникають.

При управлінні трафіком категорії ABR (Available Bit Rate -передача з доступною швидкістю) використовуються різні алгоритми управління на основі зворотного зв'язку (33), що використовують спеціальні службові комірки управління – прямі FRM (Forward resource management) і зворотні BRM (Backward resource management). Основний недолік такої системи – це велике запізнювання в реалізації управління, оскільки загальна затримка у видачі управління на зміни швидкості передачі джерелу визначається сумарною затримкою на проходження прямої комірки (FRM) від джерела до адресата і зворотної комірки (BRM) від адресата до джерела.

З метою підвищення якості (ефективності) управління трафіком на основі зворотного зв'язку в мережах ATM доцільно використовувати модель, що дозволяє на основі поточної інформації про швидкість передачі джерела і

завантаження буферів прогнозувати раціональну швидкість передачі в наступний момент часу.

1.4.2 Критерії якості. Розглянувши [2, 3], можна виділити критерії якості телекомунікаційних послуг та їх зв'язок з використовуваними механізмами керування трафіком (рисунок 1.4) [3]. Показано, що механізми загального сервісу IntServ/RSVP крім трафіку типу Best Effort підтримують ще два класи: контрольованого навантаження (CL) і гарантування послуги (GS), чим забезпечують необхідну якість трафіку для обслуговування додатків реального часу. Механізм DiffServ забезпечує простий метод структурування трафіку по класах сервісу CoS з відповідними пріоритетами. Оскільки така схема, на відміну від IntServ, не вимагає витрат часу на попереднє встановлення параметрів транспортування трафіку по маршруту проходження інформаційного потоку, то використовує менший обсяг буфера і смугу пропускання, ніж механізми IntServ.

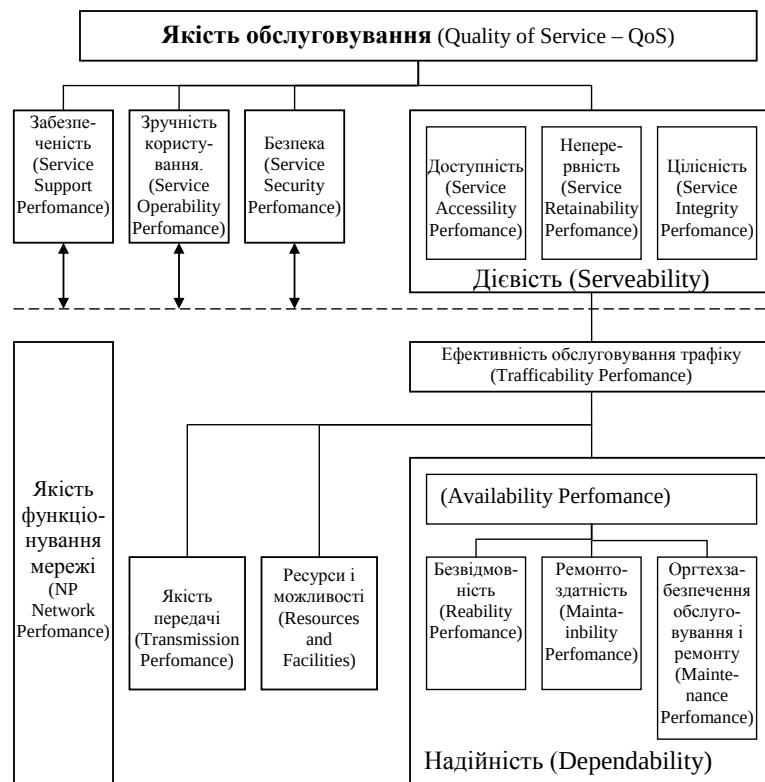


Рисунок 1.4 – Класифікація якості обслуговування та функціонування телекомунікаційної мережі

Визначено, що алгоритм RSVP, який найбільш ефективний для багатоадресних додатків, тобто систем групового мовлення, транспорту інформації з заданим QoS, використовує метод структурування трафіку по класах сервісу CoS з відповідними пріоритетами. Механізм MPLS підвищує ефективність проходження трафіку за рахунок спрощення процесів маршрутизації з використанням протоколу IGP за рахунок визначення найкоротшого маршруту OSPF або за допомогою взаємодії посередницьких мережесистем IS-IS, завдяки відсутності витрат часу на попередній аналіз параметрів транспортування трафіку по маршруті проходження інформаційного потоку.

1.4.3 Характеристики якості обслуговування [3, 4]. Уся сукупність характеристик якості обслуговування і функціонування мережі поділяється на дві категорії:

- *первинні* - визначені шляхом прямого спостереження в точці доступу до послуги і відносяться до певного моменту часу;
- *похідні* - визначенні на підставі одного або декількох первинних атрибутів або усереднені за деякий інтервал часу.

Керуючі впливи системи керування по забезпеченню QoS зводяться до структурування інформаційних потоків і визначенню алгоритмів обробки кожного виду трафіку у вузлах комутації. Розподіл ресурсів вузлів комутації виробляється за допомогою різних алгоритмів буферизації пам'яті і призначення пріоритетів для організації черг пакетів і визначення порядку їхньої обробки.

У середовищі IP можна реалізувати два механізми QoS :

- *абсолютний механізм QoS*, що резервує ресурси вузлів мережевої інфраструктури і гарантує відповідність параметрів трафіку заданій якості;
- *релевантний (відносний або порівняльний) механізм QoS*, заснований на структуруванні інформаційних потоків за допомогою пріоритетів, що

дозволяють агрегувати інформаційні потоки з близькими вимогами по якості в обмежений набір класів (CoS), що ділять мережеві ресурси між собою відповідно до призначених їм пріоритетів.

Відповідно, для IP середовища існують дві основні моделі організації QoS при датаграмній маршрутизації трафіку в мережі: Integrated Services (IntServ) і Differentiated Services (DiffServ). IntServ використовує протокол Resource Reservation Protocol (RSVP), який є протоколом сигналізації, що може використовуватися в режимі інкапсуляції в заголовок User Data Protocol (UDP) або Transmission Control Protocol (TCP) для резервування мережевих ресурсів між RSVP вузлами.

DiffServ визначає метод структурування трафіка по класах сервісу CoS з відповідними пріоритетами. Він використовує поле типу сервісу в заголовку IP-пакета (DS byte) для визначення алгоритму його транспортування від вузла до вузла мережі. Така схема, на відміну від IntServ, не вимагає витрат часу на попереднє визначення параметрів транспортування трафіка по маршруту проходження інформаційного потоку.

В [3,4] показано, що механізми IntServ забезпечують необхідну якість обслуговування додатків реального часу, проте вимагають більшого обсягу буфера і смуги пропускання, ніж механізми диференціального сервісу Diffserv.

Таким чином, більш ефективним методом транспортування даних є механізми диференціального сервісу зі структуруванням трафіка по класах сервісу CoS і відповідними пріоритетами.

Проте задача отримання заданої якості послуг та оптимальних параметрів мережі до кінця ще не вирішена оскільки динамічний характер мультимедійних послуг ускладнює можливість прогнозування необхідних мережевих ресурсів для забезпечення QoS.

1.5 Стандартизація якості надання послуг

Стандартизацією якості послуг на міжнародному рівні займаються

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ), включаючи Сектор телекомунікацій (МСЕ-Т) і Сектор радіозв'язку (МСЕ-Р), Європейський інститут з телекомунікаційних стандартів (European Telecommunications Standardization Institute, ETSI), а також партнерство 3GPP. У МСЕ розробкою рекомендацією, що відносяться до питань забезпечення якості послуг у мережах фіксованого зв'язку, включаючи кінцеве обладнання, мережі доступу, транспортні мережі, мережі телефонного зв'язку, займається сектор МСЕ-Т, а питаннями забезпечення якості послуг в мережах бездротового зв'язку, включаючи, кінцеве обладнання, мережі рухомого зв'язку, супутникового зв'язку, займається сектор МСЕ-Р [11-12]/МСЕ-Т розробив базові рекомендації, що створюють загальну основу для стандартизації питань забезпечення якості послуг в мережах електрозв'язку, включаючи наступні рекомендації (таблиця 1.1 [5-12]) Провідною дослідницькою комісією (ДК) МСЕ-Т у сфері якості послуг зв'язку є ДК12 (« Параметри роботи мережі, якість послуг і якість сприйняття »). У МСЕ-Р раніше питаннями якості послуг займалася ДК8 («Мобільний зв'язок, 17 радіолокація, аматорська зв'язок, супутниковий зв'язок і послуги»). На даний момент часу ДК 8 розформована, а її запитання розподілені між ДК4 і ДК5.

Одним з найбільш важливих документів, підготовлених раніше діючої ДК8 МСЕ-Р, є рекомендація МСЕ-РМ.1079-2. Дана рекомендація визначає вимоги до QoS в мережах доступу ІМТ-2000 при передачі голосової інформації і даних, а також вимоги до часу встановлення з'єднання, затримці в мережі доступу ІМТ-2000 при встановленні з'єднання. У ETSI стандартизацією вимог до якості послуг, у тому числі для мереж рухомого зв'язку, займається технічний комітет з якості послуг при передачі голосової та мультимедійної інформації (Speech and Multimedia Transmission Quality Technical Committee, TCSTQ).

Таблиця 1.1 Базові рекомендації MCE-T

Номер рекомендації	Назва рекомендації	Зміст рекомендації
MCE-T G.1000	«Якість послуг зв'язку»	Приведено загальне визначення QoS.
MCE-T G.1010	«Категорії якості послуг мультимедіа з точки зору кінцевого користувача»	Наведено категорії QoS для послуг мультимедіа з точки зору кінцевого користувача, а також їх співвідношення з характеристиками роботи мережі
MCE-T E.800	"Терміни та визначення, що відносяться до якості послуг зв'язку та роботи мереж, включаючи надійність»	Наведено поняття якості послуг.
MCE-T Y.1514	«Параметри роботи мереж для надання послуг, що базуються на протоколі IP».	Наведено класи QoS і деякі параметри QoS для мереж з комутацією пакетів по протоколу IP.
MCE-T Y.1515	«Параметри роботи мереж для надання додатків реального часу».	Наведено параметри QoS, необхідні для додатків, що вимагають режиму реального часу

Цей технічний комітет координує розробку питань якості різними технічними комітетами ETSI і в своїй роботі тісно взаємодіє з MCE, 3GPP, Європейським комітетом з стандартизації в галузі електротехніки (European Committee for Electrotechnical Standardisation, CENELEC), міжнародним проектом VoLTE («Голос по LTE») і ін..

У повноваження TCSTQ входять питання забезпечення якості, що відносяться до стандартизації кінцевого і мережевого устаткування, використовуваного для передачі голосової та мультимедійної інформації, параметри роботи мережі з кінця в кінець, параметри QoS для мережі і послуг, і методи оцінки якості сприйняття. Основні документи ETSI, в яких наведено загальні підходи до забезпечення якості послуг зв'язку, представлені в таблиці 1.2 [4-12].

Основні документи 3GPP, в яких наведено загальні підходи до забезпечення якості послуг зв'язку, представлені в таблиці 1.3 [4-12].

Таблиця 1.2 Основні документи ETSI, в яких наведено загальні підходи до забезпечення якості послуг

Номер документа	Назва документа	Зміст документа
ETSI ETR 003	Network Aspects (NA); General aspects of Quality of Service (QoS) and Network Performance (NP)	Визначення понять «QoS» і «NP», їх взаємозв'язок.
ETSI ETR 138	Network Aspects (NA); Quality of service indicators for Open Network Provision (ONP) of voice telephony and Integrated Services Digital Network (ISDN)	Параметри QoS для голосових послуг в мережах телефонного зв'язку і ISDN.
ETSI EG 202 057-1 V1.3.1..	Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 1: General	Визначення параметрів QoS для різних послуг. Загальні рекомендації з вимірювання цих параметрів і збору статистики
ETSI EG 202 057-2 V1.3.	1 Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 2: Voice telephony, Group 3 fax and modem data services	Визначення параметрів QoS для послуг телефонного зв'язку, передачі факсимільних повідомлень, передачі даних і передачі коротких текстових повідомлень.

Таблиця 1.3 – Основні документи 3GPP, в яких наведено загальні підходи до забезпечення якості послуг зв'язку

Номер документа	Назва документа	Зміст документа
3GPP TS 23 207 V11.0.0 (2012-09) 3rd	Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; End-to-end Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 11)	Вимоги до архітектури підтримки QoS в мережах рухомого зв'язку, побудованих з використанням технології комутації пакетів IP і IMS.
3GPP TS 29.208 V6.7.0 (2007-06) 3rd	Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core	Потоки сигналізації для резервування мережеских ресурсів відповідно з

	Network and Terminals; End-to-end Quality of Service (QoS) signalling flows (Release 6)	показниками якості в мережах рухомого зв'язку, побудованих з використанням технології комутації пакетів IP і IMS.
3GPP TS 29.213	Policy and Charging Control signalling flows and Quality of Service (QoS) parameter mapping (ETSI TS 129.213)	Модель відображення параметрів QoS між протоколами верхнього і нижніх рівнів.
3GPP TR 23.802 V7.0.0 (2005-09) 3rd	Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Architectural enhancements for end-to-end Quality of Service (QoS) (Release 7)	Сценарії встановлення з'єднань в мережах рухомого зв'язку, побудованих на технологіях комутації пакетів IP і IMS, з урахуванням забезпечення якості послуг.
3GPP TS 22.105 V11.0.0 (2012-09) 3rd	Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Services and service capabilities (Release 11)	Класифікація послуг і параметри якості в мережах рухомого зв'язку.
3GPP TS 22.278 V12.1.0 (2012-06) 3rd	Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for the Evolved Packet System (EPS) (Release 12)	Основні аспекти QoS, що сприймаються користувачами послугами стосовно до мереж LTE.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Створення ефективного інформаційного простору передбачає активне використання телекомунікаційних систем і мереж інформаційного обміну, широкомасштабну комп'ютеризацію процесів обробки інформації в усіх сферах діяльності. Інформаційна інфраструктура – це комплекс програмно-технічних засобів, організаційних систем і нормативних баз, який забезпечує організацію взаємодії інформаційних потоків, функціонування і розвиток засобів інформаційної взаємодії та інформаційного простору світу, континенту, країни, регіону чи організації [13, 14].

Інформаційна інфраструктура включає в себе територіально розподілені державні та корпоративні комп'ютерні і телекомунікаційні мережі, системи конфіденційного призначення і загального користування, мережі та канали передачі даних, засоби комутації та управління інформаційними потоками.

Поява мобільного зв'язку та бездротових мереж істотно вплинула на організацію телекомунікаційних мереж, і на сьогоднішній день вони охоплюють величезні території з великим числом користувачів [13]. Серед багатьох вимог, що висуваються до бездротових мереж, основною є забезпечення високої продуктивності з гарантованою якістю обслуговування запитів користувачів. Сфера телекомунікацій є одним із найбільших секторів світової економіки, що динамічно розвивається і формує передумови для подальшого розвитку інформаційного суспільства. Світова телекомунікаційна сфера надає широкий спектр сучасних телекомунікаційних та інформаційно-комунікаційних послуг, якісні характеристики яких відповідають потребам найвимогливіших споживачів.

Проведено огляд стану проблеми, виконано системний аналіз понять телекомунікаційної мережі та якості згідно рекомендацій ITU-T на основі проведеної класифікації якості послуг по доставці різних видів трафіку [7]: даних, мультимедійного (аудіо, відео, IPTV, дистанційне навчання, мережні ігри), реального часу. Визначенні поняття якості обслуговування та

характеристики мереж, які впливають на цю якість для різних видів трафіку: передачі даних, мультимедійного, реального часу. Відповідно до рекомендації ITU-T E.800, якість послуг (QoS – Quality of Service) – це сукупність специфічних параметрів, що відносяться до внутрішньої структури мережі та обумовлюють якість її роботи і характеризують споживчі властивості послуги в термінах, зрозумілих користувачам.

Невпинне зростання потоків інформації приводить до постійної модернізації інформаційних мереж, як в частині обладнання вузлів мережі, так і постійного розширення пропускних здатностей каналів передачі для зростаючого обсягу мультимедійного трафіку та забезпечення його якості. Збільшення трафіку реального часу (голос, відео) створює ряд проблем та вимагає застосування нових алгоритмів оптимізації, протоколів управління і відповідно іншого обладнання. Детальний аналіз вказаних проблем, оптимізація і налаштування використовуваного обладнання ТКМ може забезпечити зростаючі вимоги. Проте задача отримання заданої якості послуг та оптимальних параметрів мережі до кінця ще не вирішена оскільки динамічний характер мультимедійних послуг ускладнює можливість прогнозування необхідних мережевих ресурсів для забезпечення QoS.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ МЕРЕЖ, ТРАФІКУ ТА МАРШРУТИЗАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ

2.1. Загальне поняття про задачі синтезу та аналізу

Усі задачі, які виникають у процесі побудови та експлуатації телекомунікаційних мереж, можна розділити на два класи: задачі синтезу й аналізу зв'язувальних мереж [15]. Під зв'язувальною мережею розуміють сегмент телекомунікаційної мережі, для кожної пари пунктів якого може бути знайдено, принаймні, один шлях, який їх пов'язує. Задача синтезу зв'язувальної мережі постає як у процесі побудови нової мережі, так і під час реконструкції та розвитку наявних мереж. За типом ця задача є технікоекономічною, тому що найчастіше треба знайти рішення, оптимальне за економічними показниками, такими, наприклад, як мінімум капіталовкладень, максимум рентабельності та ін. Для синтезу мережі, зазвичай, є заданим географічне розташування пунктів мережі, які слід об'єднати в зв'язну мережу (саме поняття «синтез» у перекладі з грецької означає «з'єднання», «складання»). При цьому топологія ліній зв'язку є невідомою характеристикою, яку необхідно з'ясувати, й вона може варіюватися залежно від оптимізації економічних показників. Це дає змогу розглядати мінімум витрат на лінії зв'язку як цільовий критерій оптимального синтезу мережі. На конфігурацію ліній зв'язку між пунктами мережі може бути накладено обмеження, зокрема заборона окремих географічних трас, наприклад, якщо вони перетинають водні або гірські перешкоди.

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

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

Для того, щоб вирішити конкретне завдання синтезу або аналізу телекомунікаційної мережі, її необхідно формалізувати, тобто записати у вигляді схеми: що дано, що необхідно визначити і з якими обмеженнями. Формалізацію можна виконати словесно (таку форму називають вербальною моделлю завдання) або у вигляді математичної моделі, яка описує завдання термінами тієї чи іншої теорії (наприклад, теорії графів, теорії множин, теорії оптимальних рішень та ін.) Здійснення формалізації вимагає не тільки розуміння самої проблеми, а й вибору адекватної моделі об'єкта (телекомунікаційної мережі).

Моделювання об'єкта синтезу або аналізу дає змогу з'ясувати та відтворити найбільш істотні, відповідно до поставленого завдання, елементи об'єкта та зв'язки між ними, не відволікаючись на деталі. Для модельного відтворення зв'язувальної мережі найчастотніше застосовують графи. На основі моделі об'єкта та її параметрів (кількості пунктів та ліній мережі, відстаней між пунктами, пропускної здатності вузлів і ліній мережі, вартісних параметрів та ін.) можна побудувати математичну модель, яка відображає залежність між відшукуваними параметрами та незалежними змінними завдання. У задачах синтезу та аналізу зв'язувальних мереж найчастіше використовують оптимізаційні математичні моделі, де критерій оптимізації записують як цільову функцію, для якої необхідно знайти екстремум (мінімум або максимум). На входні в цільову функцію параметри, як правило, накладають обмеження, які вказують, у яких межах можуть змінюватися значення відшукуваних параметрів. Обмеження записують як рівняння та нерівності, що містять деякі логічно пов'язані сукупності цих параметрів. Таку систему

рівнянь або нерівностей називають системою обмежень задачі. Задачі, в яких треба відшукати екстремум (мінімум або максимум) деякої цільової функції, що відображає критерій оптимальності рішення, називають екстремальними.

Прикметною особливістю екстремальних задач синтезу та аналізу телекомунікаційних мереж є їх велика розмірність. Формулювання цих завдань термінами графових та мережевих моделей дає змогу отримати значну кількість ефективних (зважаючи на подолання обчислювальної складності) методів та алгоритмів їх вирішення, орієнтованих на застосування ЕОМ. Такі алгоритми розглядаються [15]).

Під алгоритмом розуміють формалізовану покрокову процедуру, що забезпечує знаходження рішення завдання, виконання якого можна доручити ЕОМ. Розрізняють алгоритми точні та наближені, так звані евристичні. Точні алгоритми завжди гарантують знаходження оптимального рішення (глобального оптимуму цільової функції). Наприклад, алгоритм повного перебору всіх можливих рішень з вибором найкращого серед них, є точним алгоритмом. Точні алгоритми, як правило, досить трудомісткі. Тому у практиці часто використовують більш прості алгоритми, що забезпечують швидке вирішення з прийнятною точністю. Такі алгоритми будують, використовуючи раціональні, з точки зору логіки людини, правила знаходження рішення.

Зв'язувальна мережа як об'єкт синтезу і аналізу – це сукупність розосереджених у просторі пунктів і ліній, які їх з'єднують. Математичною моделлю такого об'єкта може бути **граф** [15] – певна сукупність точок, з'єднаних лініями. Точки графа – вершини, лінії – дуги. Граф математично позначають як $G(N, V)$, де N – кінцева множина вершин потужністю n , а V – кінцева множина дуг потужністю m . Вершини будемо позначати латинськими літерами $(i, j, k, l \dots)$, а дуги – відповідно парами $\{(i, j), (j, k), (k, l) \dots\}$, де перший індекс визначає початок, а другий – кінець дуги (рисунок 2.1 [15]).

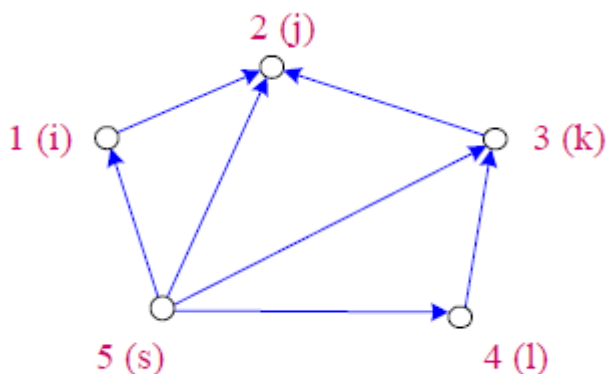


Рисунок 2.1 – Графова модель мережі

Крім геометричного зображення у вигляді точок та ліній, граф відтворюють дискретно [15]. Саме таку форму використовують у програмній реалізації алгоритмів для розв’язування задач із застосуванням графових моделей на ПК.

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

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

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

Матрицю суміжності наведено на рисунку 2.2.

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

Рисунок 2.2 – Матриця суміжності

Мережа (зважений граф) у дискретному вигляді може бути відтворена **матрицею ваг** $W = [w_{ij}]$, де $[w_{ij}]$ – вага дуги (ребра), якщо вона (воно) існує в

графі G . Вага неявних дуг (ребер), вважають дорівнює ∞ або 0, що залежить від умов поставленої задачі.

2.2 Моделі якості послуг в телекомунікаційних мережах

2.2.1 Моделі якості телекомунікаційних послуг. Низка показників характеризують телекомунікаційні мережі [16, 17]. Особливо важливим показником є якість, як зазначалось вище – сукупність властивостей телекомунікаційної мережі, що зумовлюють можливості задовольнити визначені потреби відповідно до її призначення. Також до важливих показників належить ефективність – властивість телекомунікаційної мережі виконувати поставлену задачу в заданих умовах використання з необхідною якістю. Одним із різновидів якості є якість послуг мережі – сукупність специфічних параметрів, що залежать від якості роботи мережі й характеризують споживацькі властивості послуги в термінах, зрозумілих користувачам, і не залежать від припущень, що належать до внутрішньої структури мережі. Дослідженню параметрів якості в телекомунікаційних мережах присвячено значну кількість публікацій [16, 17]]. Проте актуальною задачею залишається дослідження та порівняння якості послуг у найбільш розповсюджених міських телефонних мережах і локальних комп'ютерних мережах, що дасть змогу виявити резерви та шляхи підвищення їх якості.

Для користувача телекомунікаційних послуг важливим показником якості роботи оператора телекомунікацій є якість послуг (Quality of Service – QoS). Якість послуг – це показник, який:

- не залежить від припущень про структуру та побудову телекомунікаційної мережі;
- пов'язаний з явищами, які докучають користувачу, але не характеризує їх причини;
- описаний мережевими термінами, які є зрозумілими користувачу та оператору телекомунікацій;

– ураховує всі аспекти наданих послуг, які можуть бути об’єктивно виміряні в точці надання послуг.

Для оператора телекомунікацій важливим показником роботи є забезпечення високої ефективності мережі (Network Efficiency) та високої продуктивності мережі (Network Performance – NP), що залежать від параметрів, які надають необхідну інформацію для проектування, побудови, удосконалення та технічної експлуатації телекомунікаційної мережі. Існує взаємозв’язок між якістю послуг та продуктивністю мережі. Необхідні для користувача параметри якості послуг визначають вимоги до параметрів продуктивності мережі при її проектуванні. Так само, параметри продуктивності мережі обумовлюють можливу якість наданих у мережі послуг.

За моделлю якості послуг телекомунікаційної мережі, описаної в Рекомендації ITU-T E.430 [17, 18], вважають, що параметри продуктивності мережі забезпечують основний внесок при забезпеченні якості послуг. До основних параметрів якості послуг відносять: швидкість, точність (достовірність) та надійність. Швидкість свідчить про кількість інформації, передану мережею за одиницю часу. Точність відображає ступінь коректності передавання інформації. Надійність свідчить про ступінь упевненості, з якою здійснено передавання. До основних параметрів продуктивності мережі, що впливають на забезпечення якості послуг, належать: установлення з’єднання, передавання інформації користувача, розірвання з’єднання. Взаємозв’язок між згаданими параметрами продуктивності мережі та параметрами якості послуг представлений у вигляді матриці 3x3 (табл. 2.1) [17, 18]. Характер взаємозв’язків окремих параметрів описано у відповідних Рекомендаціях ITU-T, що наведені в клітинках таблиці на перетині відповідних рядків та стовпців.

Крім наведених вище, до показників якості в [16] також зараховують безпеку передавання інформації та інші. Різні телекомунікаційні мережі мають свої специфічні показники якості, що ґрунтуються на міжнародних стандартах, зокрема наведених у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Взаємозв'язок між параметрами якості послуг та параметрами продуктивності мережі

NP/QoS	Швидкість	Точність	Надійність
Установлення з'єднання	E.431, X.135, I.352, E.422, E.427, E.721	E.845 (Rev.1), X.136, I.352, E.422, E.424, E.425, E.426, E.427	E.845, E.846, X.136, I.352
Передавання інформації користувача	E.432, X.135, I.35B, I.35C, I.35P	G.821, G.82x, E.422, E.424, E.432, E.855 (Rev.1), X.136, I.35B, I.35P	E.850 (Rev.1), X.136, I.35C, I.35P, I.35B, E.428
Розірвання з'єднання	E.431, X.135, I.352, E.721	X.136, I.352	X.136, I.352

Розглянемо їх на прикладі моделі якості послуг місцевої телефонної мережі [16,17], у якій за основу взято такі одиничні показники якості: якість надання послуг місцевої телефонної мережі, якість роботи мережі, якість обслуговування користувачів.

Якість надання послуг місцевої телефонної мережі – сукупність параметрів, що враховують якість роботи всіх компонентів мережі та якість обслуговування користувачів.

Якість роботи мережі – сукупність параметрів, що характеризують якість надання послуг місцевої телефонної мережі на різних ділянках мережі й у мережі загалом (від користувача до користувача) відповідно до технічних вимог на обладнання й канали електрозв'язку, а також рівень технічної експлуатації цих засобів.

Якість обслуговування користувачів (абонентів) – сукупність економічних, соціальних та інших показників (параметрів), оцінюваних із погляду користувачів, які характеризують ступінь їх задоволеності якістю зв'язку. Одиничний показник якості (роботи мережі, обслуговування користувачів) – показник, що характеризує роботу одного компонента мережі

або роботу однієї служби місцевого телефонного зв'язку, отриманий розрахунком із використанням відповідних параметрів за даними постійних чи періодичних вимірювань або даними статистичної звітності. Одиничні показники якості обслуговування користувачів, що належать до надання послуги, наведено нижче: – частка заяв користувачів, обслужених у контрольні терміни; – частка порушень розмов через сторонні під'єднання. До одиничних показників якості роботи мережі належать: – імовірність пошкоджень лінійно-кабельного обладнання із тривалою відсутністю доступу до мережі (із розрахунку на одну з'єднувальну лінію); – імовірність пошкоджень комутаційного обладнання телефонної станції з тривалою відсутністю доступу до мережі (із розрахунку на один абонентський номер); – імовірність пошкоджень абонентського обладнання з тривалою відсутністю доступу до мережі (із розрахунку на один абонентський номер); – імовірність пошкоджень абонентського, комутаційного або лінійно-кабельного обладнання зі зниженням якості передавання інформації користувача (із розрахунку на один абонентський номер); – імовірність тривалого простою таксофонів; – імовірність пошкоджень таксофонів зі зниженням якості передавання інформації користувача; – імовірність втрат за викликами (через пошкодження обладнання, зайнятість приладів комутаційного обладнання чи/або міжстанційних з'єднувальних ліній/каналів); – імовірність втрат за часом; – коефіцієнт викликів із відповіддю; – коефіцієнт ефективності викликів; – коефіцієнт неефективності викликів; – імовірність втрат за навантаженням; – коефіцієнти перевантаження пучків з'єднувальних ліній і комутаційного обладнання телефонної станції; – частка викликів, які надійшли на компонент мережі й не задовольняють нормативи за величиною часу встановлення з'єднання компонентом мережі; – частка викликів, що не задовольняють нормативи за величиною часу роз'єднання встановленого з'єднання. З одиничних показників якості (параметрів) одного підвиду (послуг, роботи мережі, обслуговування користувачів), що належать до однієї із груп (підгруп), формують узагальнений показник якості (послуг, роботи мережі,

обслуговування користувачів), що характеризує послугу, роботу мережі або її служб загалом у мережі. Узагальнені показники якості m_j K визначають для кожної групи як середнє значення одиничних показників якості для кожної групи, наприклад, j -й узагальнений показник якості роботи мережі дорівнює:

$$K_{mj} = \left(\sum_{n=1}^{N_{M1}} K_{MO1n} \right)$$

де K_{MO1n} – n -ий одиничний показник якості роботи мережі, що належить до першої групи;

N_{M1} – кількість одиничних показників якості в першій групі.

Деякі узагальнені показники обчислюють не за допомогою співвідношення K_{mj} , а з використанням параметрів, отриманих внаслідок оцінювання роботи всієї місцевої телефонної мережі. Для оцінювання діяльності оператора телекомунікацій із надання користувачам послуг місцевої телефонної мережі щодо якості телекомунікаційних послуг та якості їх надання формують інтегральний показник якості. Його розраховують з узагальнених показників якості послуг, роботи мережі й обслуговування користувачів. Для розрахунку використовують усі або найважливіші показники з кожної групи згідно з рекомендаціями експертів. Група незалежних експертів визначає значущість кожного з вибраних показників та за допомогою методу експертних оцінок кожному узагальненому показнику, який вибирають для оцінювання інтегрального показника якості діяльності оператора телекомунікацій, присвоює свій ваговий коефіцієнт. Оцінку значущості здійснюють у відносних величинах (сума всіх вагових коефіцієнтів повинна дорівнювати одиниці). Інтегральний показник якості $K_{я}$ обчислюють за формулою:

$$K_{\text{я}} = \sum_{i=1}^{I_n} K_{n_i} M_{n_i} + \sum_{j=1}^{J_M} K_{M_j} M_{M_j} + \sum_{l=1}^{L_O} K_{O_l} M_{O_l},$$

де

I_n – кількість показників якості послуги, обраних експертами для розрахунку інтегрального показника;

K_{n_i} – значення i -го узагальненого показника якості послуги;

M_{n_i} – значення i -го вагового коефіцієнта із I_n для узагальнених показників якості послуги;

J_M – кількість показників якості роботи мережі, обраних експертами для розрахунку інтегрального показника;

K_{M_j} – значення j -го узагальненого показника якості роботи мережі;

M_{M_j} – значення j -го вагового коефіцієнта із J_M для узагальнених показників якості роботи мережі;

L_O – кількість показників якості обслуговування користувачів, обраних експертами для розрахунку інтегрального показника;

K_{O_l} – значення l -го узагальненого показника якості роботи мережі;

M_{O_l} – значення l -го вагового коефіцієнта з L_O для узагальнених показників якості роботи мережі.

При виборі вагових коефіцієнтів необхідне виконання умови

$$\sum_{i=1}^{I_n} M_{n_i} + \sum_{j=1}^{J_M} M_{M_j} + \sum_{l=1}^{L_O} M_{O_l} = 1$$

Для опису та визначення якості послуг інших відомих телекомунікаційних мереж, зокрема комп'ютерних мереж, використовують подібні до описаної вище моделі, які враховують особливості таких мереж. Дослідимо особливості забезпечення якості послуг на прикладі міської

телефонної мережі та локальної комп'ютерної мережі.

2.2.2 Дослідження особливостей забезпечення якості послуг у телефонних та комп'ютерних мережах. За видами комутації телекомунікаційні мережі поділяють на некомутовані й комутовані (з комутацією каналів, повідомлень, пакетів) [16, 17]. При здійсненні комутації каналів (електричних кіл) установлюють окремий комутований канал зв'язку між приймальним та передавальним абонентськими пристроями. При комутації повідомлень між приймальним та передавальним абонентськими пристроями окремий канал зв'язку не встановлюють, а повідомлення передають через мережу, до якої під'єднано ці пристрої, відповідно до заданої системи пріоритетності за певним маршрутом. При комутації пакетів повідомлення користувача розбивають на дрібніші частини – пакети, причому кожний пакет містить службове поле й поле даних. У міських телефонних мережах традиційно застосовують комутацію каналів, а в локальних комп'ютерних мережах – комутацію пакетів. Типову структуру міської телефонної мережі зображено на рис. 2.3, а локальної комп'ютерної мережі – на рисунку 2.4.

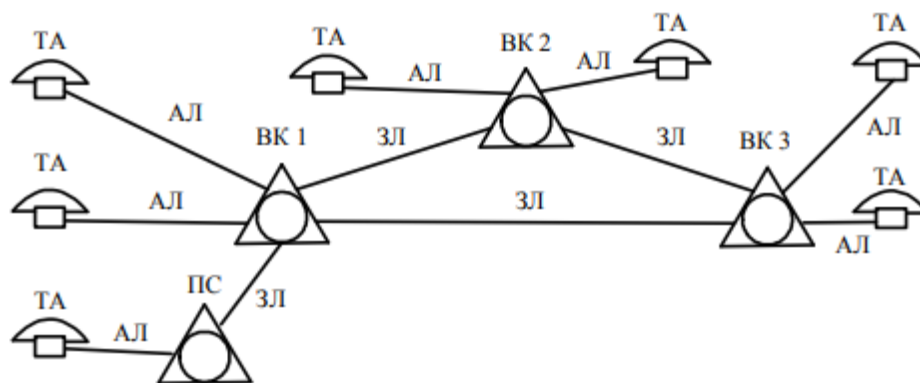


Рисунок 2.3 –Типова структура міської телефонної мережі [6]

На рисунку 2.3 позначено: ТА – телефонний апарат; ВК – вузол комутації; ПС – підстанція (концентратор); АЛ – абонентська лінія; ЗЛ – з'єднувана лінія.

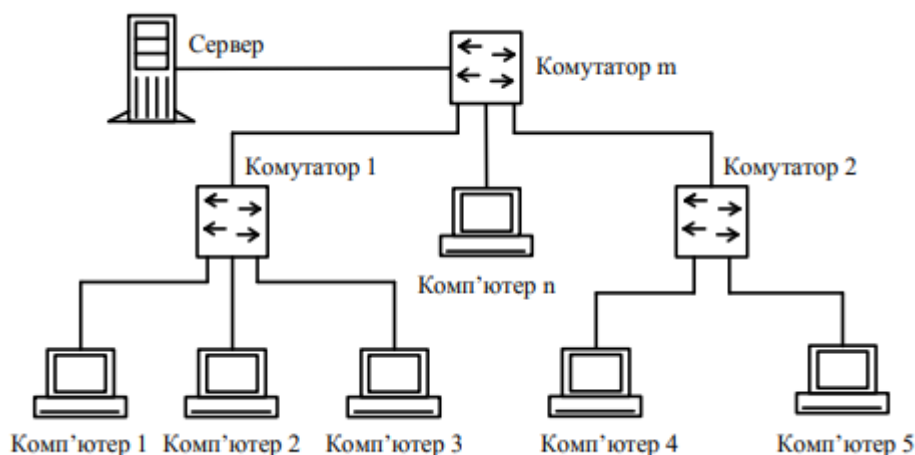


Рисунок 2.4 –Типова структура локальної комп'ютерної мережі [16, 17]

Розглянемо детальніше вплив параметрів продуктивності мережі на параметри якості послуг.

Важливим показником якості послуг цифрової мережі є швидкість передавання бінарної інформації (даних) v_o (біт/с), що дорівнює:

$$v_o = \frac{I_c}{T_c}$$

де I_c – середня кількість інформації (біт), яку передають за час T_c (с).

На етапі встановлення з'єднання говорити про швидкість некоректно, а доцільно оцінювати тривалість установалення з'єднання T_z . За результатами досліджень в [16, 17] встановлено, що в міських телефонних мережах вона є незначною й не перевищує 1 хв при наданні послуги передавання мовних сигналів і 1–2 хв – передавання даних (за умови, що не відмовлено у встановленні з'єднання). У локальних комп'ютерних мережах тривалість установалення з'єднання може бути в межах від 0 хв (якщо з'єднання комп'ютера з мережею здійснюють при старті операційної системи комп'ютера) до 1–2 хв (якщо необхідно отримати додаткові послуги зв'язку, наприклад, установити з'єднання з віддаленим сервером).

На етапі передавання інформації користувача в міській телефонній мережі некоректно говорити про швидкість передавання аналогових мовних сигналів через аналогові абонентські лінії, але швидкість передавання оцифрованих мовних сигналів між цифровими вузлами комутації є постійною величиною й становить 64 кбіт/с (швидкість основного цифрового каналу). При передаванні даних через комутовані телефонні канали зв'язку швидкість також не перевищує 64 кбіт/с, а при застосуванні виділених телефонних каналів зв'язку та найбільш швидкісної технології VDSL – 52000 кбіт/с. У локальних комп'ютерних мережах швидкість передавання цифрової інформації є змінною величиною, що залежить від завантаженості мережі (кількості користувачів та інтенсивності обміну інформацією між кінцевим обладнанням користувачів та/або серверами в певний час на момент дослідження, а також топології мережі та максимальних швидкостей передавання інформації через порти мережевого обладнання, що бере участь у передаванні інформації конкретних користувачів), і не перевищує максимальної швидкості згідно з обраною мережевою технологією (наприклад, для локальних комп'ютерних мереж на основі технології Ethernet максимальна швидкість дорівнює 10, 100 або 1000 Мбіт/с). При цьому пропускна здатність локальної комп'ютерної мережі розподіляється між усіма користувачами, і чим їх більше та більше вони намагаються передати пакетів у мережі, тим менша швидкість передавання інформації окремого користувача. Суттєвим обмежуючим фактором при передаванні інформації є топологія локальної комп'ютерної мережі та максимальні швидкості передавання інформації через порти мережевого обладнання. Типовими є комутатори на основі технології Ethernet для робочих груп, що мають 24 порти для під'єднання обладнання користувачів зі швидкістю 100 Мбіт/с та 2 порти для під'єднання до комутаторів верхнього рівня за ієрархією зі швидкістю 1000 Мбіт/с. У такому випадку при спробі всіх 24 користувачів одночасно передавати дані кожному з них буде забезпечено швидкість, що не перевищує 82 Мбіт/с (якщо здійснено агрегацію двох портів зі

швидкостями по 1000 Мбіт/с для під'єднання до комутаторів верхнього рівня) і 41 Мбіт/с (якщо для під'єднання до комутаторів верхнього рівня використано один порт зі швидкістю 1000 Мбіт/с). Отже, у цьому випадку співвідношення між кількістю абонентських ліній та з'єднувальних ліній рівне, згідно [16, 17] 2,4:2 або 2,4:1. Якщо комутатор верхнього рівня на 24 порти (один порт використано для під'єднання цього комутатора до інших мережевих комутаторів верхнього рівня) об'єднує 23 таких комутатори робочих груп (що під'єднані до нього зі швидкостями 1000 Мбіт/с), то співвідношення між кількістю абонентських ліній та з'єднувальних ліній у такій локальній комп'ютерній мережі становить 55,2:1, що негативно впливає на якість послуг. Слід зазначити, що в локальних комп'ютерних мережах також передають службову інформацію, що зменшує фактичну швидкість передавання інформації користувачів на 10–15%. Також швидкість передавання інформації є меншою вдвічі в локальних комп'ютерних мережах, у яких використано напівдуплексний режим передавання.

Можливими методами підвищення стабільності швидкості передавання інформації в локальних комп'ютерних мережах є зниження швидкості передавання інформації на портах мережевих комутаторів, що підключені до кінцевого обладнання користувачів, шляхом використання комутаційного обладнання, що передбачає таку можливість. Також доцільним є використання алгоритмів пріоритизації трафіку.

Тривалість розірвання з'єднання T_{pz} в телефонних мережах не перевищує 2 с, а в комп'ютерних – 5 с.

2.2.3 Модель визначення швидкості та якості передачі. У роботі [19] представлено математичну модель прикладної задачі визначення швидкості та якості передачі інформації по телекомунікаційній мережі як багатокритеріальної задачі евклідової комбінаторної оптимізації. Вона представляє собою двокритеріальну квадратичну умовну модель на композиційному образі загальної множини переставлень і булевої множини. Запропоновано підходи до її розв'язання, такі як метод гілок та меж, метод

відсікань; графові методи, такі як метод направленого структурування та полієдрально-поверхневі методи. Метод опуклих продовжень застосовано до перетворення моделі на опуклу задачу евклідової комбінаторної оптимізації і таким чином обґрунтовано застосовність полієдрально-сферичних методів оптимізації до розв'язання поставленої задачі.

2.3 Дослідження методів оптимізації трафіку телекомунікаційних мереж

Ще десятиріччя тому АТС у великих містах були повністю аналоговими. Лінії телекомунікацій виконували поставлені задачі (передавали інформацію). Але після появи різних приватних підприємств зв'язку виникла проблема у наданні різного роду телекомунікаційних послуг. Крім того, вже звичайні абоненти почали створювати навантаження більше, ніж це було раніше (поява Internet, потреба в різних послугах, збільшення середнього часу розмови). Сьогодні вимоги істотно змінилися, так як за рахунок Інтернет-трафіку різко зріс обсяг переданих даних, і тенденція ця зберігається. Дослідження ринку послуг зв'язку показують, що відповідний світовий трафік протягом найближчих років буде практично подвоюватися.

Однак інтернет і голосовий трафік – не єдині фактори колосального зростання обсягів передачі інформації в останні роки: все більше число підприємств в силу переміщення багатьох виробничих операцій потребує ефективного способу організації зв'язку, об'єднанні корпоративних мереж та отриманні мереж з високою пропускнуою здатністю.

Тому сьогодні у зв'язку зі збільшенням росту трафіку і переходу на цифрові мережі, виникають завдання з ефективного управління цифровими мережами, відповідно – **оптимізацією трафіку**. Раніше при діяльності одного оператора та сталості техніки зв'язку, були визначені типові архітектури побудови мереж, узгоджені з показниками ємності, нумерації і параметрами

телефонних мереж міського та сільського типу. Сьогодні, при великій кількості операторів зв'язку, значних прогресивних змінах та розмаїтті діючої та перспективної техніки зв'язку, методи і показники оптимізації цифрових телефонних мереж мізерні.

При оптимізації трафіку необхідно розглядати безліч різних параметрів [19-21]. Тому спроби вирішити завдання оптимізації трафіку методами математичного аналізу не надто привабливі без супутньої оптимізації на фізичному рівні. Оскільки визначення різних показників вимагає дослідження на екстремум кількох диференціальних рівнянь з декількома невідомих, до усього цього додається ще неймовірна кількість обчислень. Підсумком чого є не один екстремум, а декілька [20, 21], тобто відсутність однозначного рішення. Аналіз таких спроб показує, що в більшості таких випадків отримання дійсно оптимального рішення вимагає докорінної зміни деяких елементів, що далеко не завжди відповідає оптимальному вирішенню в загальному плані поставленої задачі. Математичні методи оптимізації доцільно використовувати лише для окремих елементів. Якщо використовувати математичні моделі оптимізації, то загальних способів побудови таких моделей не існує. У кожному конкретному випадку модель будується виходячи з цілей і завдань дослідження з урахуванням необхідної точності рішення, а також точності, з якою можуть бути відомі вихідні дані.

Тому більш привабливими методами оптимізації трафіку залишаються інженерні методи оптимізації. Ці методи засновані на обсягах, пропорціях і характері територіального та об'єктного розподілу прогнозованого і явного навантаження. Вони повинні узгоджуватися з можливостями перспективної техніки і технологій, а також передбачати застосування діючих засобів та вузлів зв'язку з урахуванням тривалості їх життєвого циклу.

Такий складний процес, як оптимізація трафіку, може реалізовуватися різними методами та інженерними рішеннями [20]. Це залежить від того, на якому етапі модернізації знаходиться мережа, їх можна розділити на три етапи рисунок 2.5.



Рисунок 2.5 – Етапи модернізації мережі

Сьогодні активно завершується процес переходу від аналогових мереж до цифрових телефонних ліній, тому і оптимізація трафіку викликає інтерес саме в таких мережах, а також у мережах, де перехід вже практично завершений, і мережі можна вважати цифровими. Оптимізація трафіку припускає, що мережі і станції:

- Мають максимальні частки внутрішнього навантаження.
- Створюють мінімальне транзитне навантаження.
- Забезпечують масштабування систем комутації та передачі без негативних впливів на стійкість і якість зв'язку.

- Створюють однорідні абонентські лінії оптимальної протяжності. Обсяг трафіку, що передається через транспортну мережу міського магістрального кільця, безперервно зростає через збільшення кількості АТС, підключених до кільця, кількості абонентів і зростання навантаження рисунок 2.6. Тому виникає проблема, пов'язана з необхідністю збільшення пропускної спроможності транспортної мережі. Вирішити це питання можна шляхом нарощування обладнання SDH і відповідного збільшення пропускної здатності. Однак такий екстенсивний шлях вирішення проблеми навряд чи буде оптимальним: збільшення пропускної здатності пов'язано зі значними витратами, величина яких фактично пропорційна нарощуванню потужності пучків сполучних

трактів.

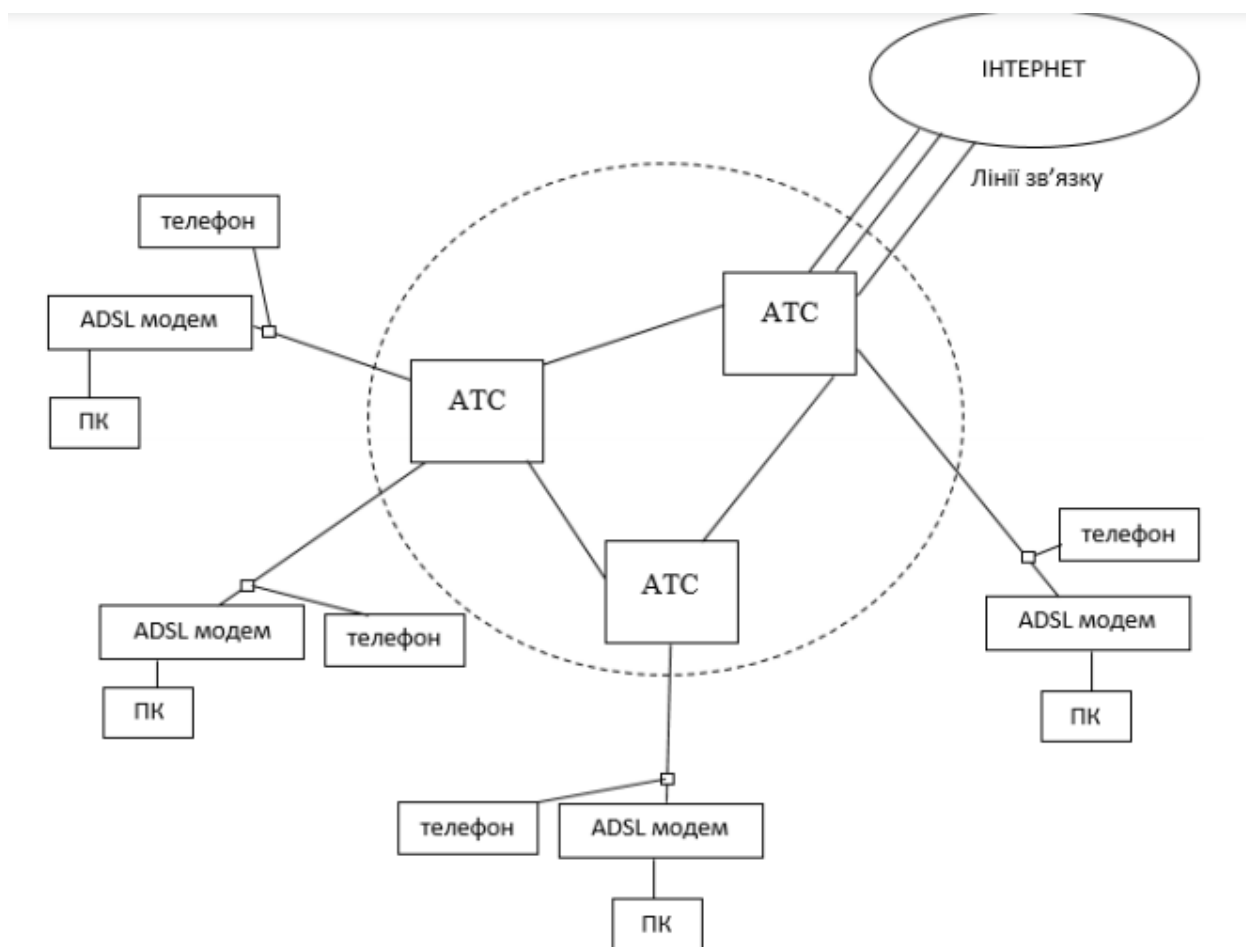


Рисунок 2.6 – Нарощування кількості АТС

Навпаки, використання пакетних технологій – інтенсивний шлях підвищення пропускної спроможності транспортної мережі міського магістрального кільця, який полягає у створенні мережі передачі даних та її інтеграції з телефонною мережею. При цьому на майданчиках (станціях) кільця SDH організовуються вузли мережі передачі даних, в яких здійснюється або тільки пакетизація і де-пакетизація, або ще й комутація. Зазначені вузли утворюють мережу передачі даних, в яку направляється трафік відомчих АТС. Приклад організації кільця SDH наведено на рисунку 2.7.

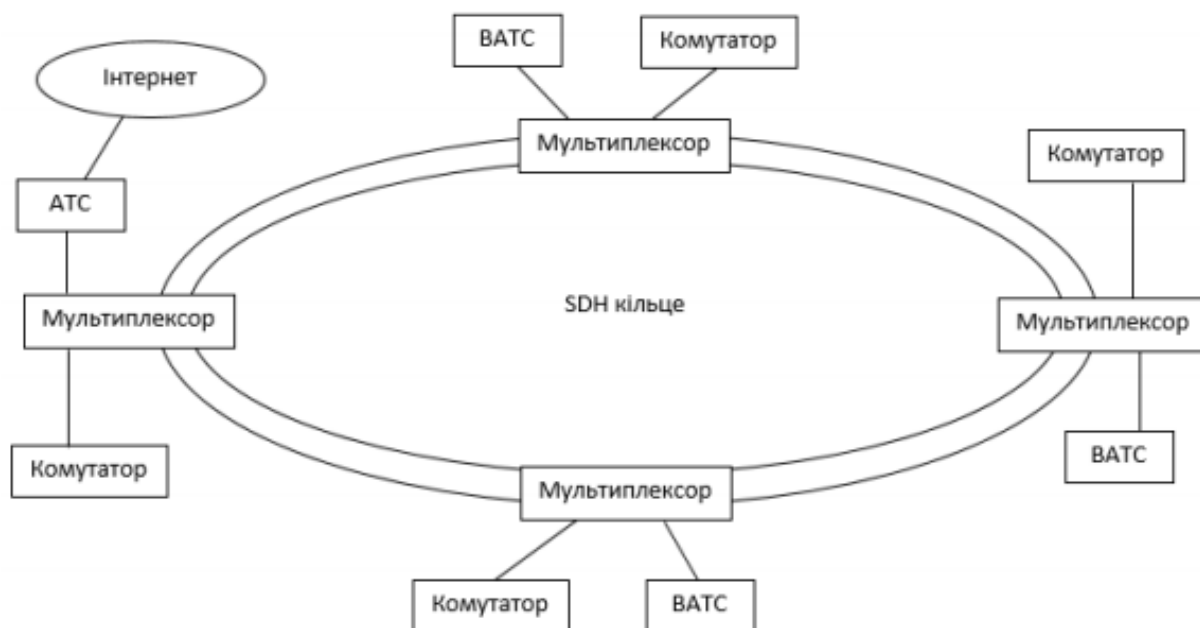


Рисунок 2.7 – Кільце SDH

В результаті стиснення, що забезпечується всіма пакетними мережами, обсяг трафіку, що циркулює по транспортній мережі, зменшується в кілька разів. Існує три варіанти інтеграції телефонної мережі та мережі передачі даних:

- підключення до мережі передачі даних районних, опорно-транзитних і транзитних станцій;
- підключення до мережі передачі даних тільки транзитних станцій;
- підключення до мережі передачі даних лише районних станцій з перекладанням функцій транзитних станцій на відповідні транзитні маршрутизатори (комутатори) пакетної мережі.

Маршрутизація (англ. Routing) – процес визначення шляху прямування інформації між мережами. Маршрутизація складається з двох етапів: формування плану розподілу інформації на мережі зв'язку та вибір вихідних ЛЗ при пошуку маршруту між об'єктами вузол-джерело і вузол-одержувач. Залежно від вибору методу формування плану розподілу інформації на мережі зв'язку (таблиць маршрутизації) і вибору вихідних ліній зв'язку (формування таблиць комутації), залежатиме оптимальність визначення маршрутів [20, 21],

що в свою чергу призведе до оптимального розподілу трафіку. Якщо подивитися на рисунок 2.8, то необхідно використовувати статичну маршрутизацію, оскільки відсутня необхідність передачі службової інформації, тобто відсутність додаткового виду навантаження в мережі. При виборі методу формування і методу вибору вихідної лінії зв'язку, необхідно знати ці методи і вміти їх застосовувати для ефективної роботи мережі.

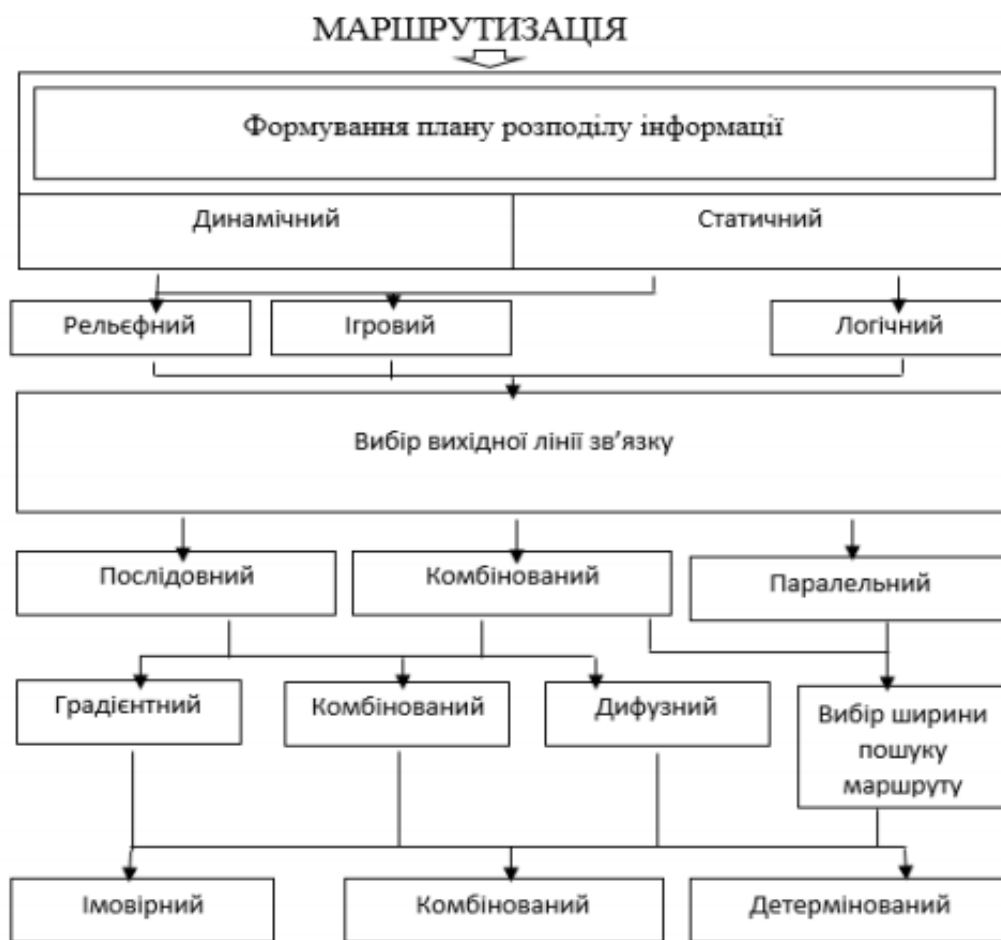


Рис. 4. Класифікація методів маршрутизації

Рисунок 2.8 – Класифікація методів маршрутизації

Перший метод передбачає зменшення витрат на станційне устаткування при збільшенні частки внутрішнього станційного навантаження ОПТС хостів, внесених комутаційних станцій і концентраторів. Частка внутрішнього трафіку збільшується при використанні меншої кількості хостів максимальної місткості, а також внесених комутаційних станцій і концентраторів з замиканням

внутрішнього трафіку і з поперечними зв'язками [20, 21]. Другий метод передбачає зменшення витрат на станційне устаткування за рахунок мінімізації обсягів транзиту. Комутаційні можливості ЕАТС і ТС забезпечують ефективну концентрацію трафіку на абонентських і міжстанційних ділянках, а тому додатковий транзит не може істотно підвищити ступінь використання ліній, особливо при великих навантаженнях на один напрямок лінії. Тому ефективність цифрового транзиту значно менше аналогового. Кожна ланка транзиту збільшує кількість трактів і портів комутаційних систем, а тому їх застосування вимагає техніко-економічних обґрунтувань. Третій метод забезпечується вибором відповідних систем комутації та передачі, а також майстерністю планування і проектування. Тобто у мережі необхідно використовувати системи комутації не більш двох виробників, оскільки застосування різного типу і великої кількості обладнання різних виробників буде приводити до неефективного взаємодії систем комутації, тобто до нестикування. Транспортна мережа повинна бути побудована на обладнанні одного виробника. Не малу важливість має використання систем сигналізації між комутаційними вузлами і станціями мережі електрозв'язку. Сигналізація забезпечує можливість передачі інформації всередині мережі, а також між абонентами і мережею електрозв'язку.

Сигналізація – це кровоносна система мереж електрозв'язку, яка підтримує спільне існування комутаційних вузлів і станцій у мережі для забезпечення функцій обслуговування абонентів. Без сигналізації мережі мертві, а з введенням ефективних систем сигналізації мережа стає потужним засобом, за допомогою якого абоненти можуть спілкуватися один з одним і користуватися все ширшим спектром послуг електрозв'язку. Характерною особливістю протоколів сигналізації є їх швидка еволюція. Існуючі ще сьогодні системи сигналізації, які є просто механізмом передачі базової інформації, поступово замінюються більш потужними протоколами передачі даних, що забезпечують безперешкодну та ефективну передачу інформації між комутаційними вузлами і станціями в мережі. Четвертий метод передбачає

планування на основі прогнозу територіального розподілу навантаження - такого географічного розташування хостів, виносів, серверів, маршрутизаторів, мультиплексорів, щоб забезпечувалося повне покриття території обслуговування абонентськими лініями мінімальної протяжності. Територіальний розподіл навантаження враховує телефонну щільність (в Ерлангах на квадратний кілометр) забудованих, а також запланованих до забудови територій, кварталів, будівель.

Удосконалення методів географічного планування передбачає комп'ютерний аналіз даних індивідуальних тяжінь і показників трафіку всіх абонентських ліній з урахуванням картографії споруд та об'єктів зв'язку. Найбільш актуальним для планування мереж доступу є визначення гарантованої всім абонентам швидкості передачі або оптимальної швидкості передачі по мідних кабелях на абонентських станціях. Оптимальна протяжність абонентських ліній (орієнтовно близько одного кілометра) повинна визначатися з точки зору забезпечення необхідної швидкості передачі, а також з урахуванням досягнення максимальних щільностей телефонних ліній. Граничну швидкість передачі по мідних кабелях ТС діючих і перспективних абонентських ліній протяжністю близько одного кілометра доцільно вибрати з діапазону від 2 до 10 Мбіт / с, а великі відстані і швидкості повинні забезпечити оптичні системи передачі або радіосистеми. Збільшення пропускної здатності абонентської мережі можливо, коли проектування, будівництво, ремонт та реконструкція забезпечать її перетворення в однорідну по електричним параметрам. Окрім розглянутих вище методів необхідно використовувати різні рекомендації ITU-T[20, 21], і т.д. Також у цих методах відіграють важливу роль параметри надійності, стійкості до різних завад, керованості цифрових мереж, а також норми на затримки сигналів, втрати викликів при перевантаженнях і т.д. Для посилення стійкості цифрових мереж запропоновано вживати наступне:

- Знижувати ємність і пропускну здатність станцій і систем передачі.
- Зменшувати каскадність, тобто частку транзиту (крім обхідних шляхів) місцевого трафіку.

- Використовувати поперечні зв'язки, шляхи другого вибору, а також підключення виносних комутаційних станцій (до двох і більше хостів) з використанням сигналізації CAS або IP на дублюючих ділянках.
- Запобігати концентрації сигнальних лінків на одному об'єкті, старатись рівномірно розподіляти їх по різних трактах і контейнерів систем передачі.
- Відокремлювати траси передачі трафіку доступу від міжстанційного, що не концентрувати трафік на одну кільцеву структуру, резервувати джерела та ділянки мереж синхронізації.
- Створювати систему синхронізації за ієрархічним принципом, але з мінімізацією кількості елементів.

2.4 Підходи до рішення задачі оптимізації маршрутизації в сучасних телекомунікаційних системах

Телекомунікаційні системи з великим числом вузлів в умовах динамічного зміни їх топології і потокової навантаження мають необхідністю підвищення інформаційної ефективності [22, 23]. Важливою при цьому є завдання маршрутизації інформаційних потоків.

2.4.1 Математична модель постановки задачі оптимальної маршрутизації [22]. Одним з можливих шляхів вирішення проблеми підвищення інформаційної ефективності мережі є використання при її аналізі і синтезі поточкових моделей. В силу відсутності аналітичного вираження точної поведінки телекомунікаційної мережі використовують усереднені характеристики трафіку, що проходить по її лініях. Передбачається, що статистика потоку, що надходить в будь-яку лінію (i,j) , змінюється тільки через оновлення маршрутів і під навантаженням в лінії (i,j) .

Будемо вважати, що потік F_{ij} – потік, що проходить по лінії (i,j) , розмірність якого – пакети в секунду. При розгляді поточкових моделей [22, 23] існує припущення, що трафік, який надходить, не змінюється з часом. Типовим прикладом мережі, в якій виконується це припущення, є мережа, де для кожної

пари відправник-адресат (ВА-пари) існує велике число користувачів, при цьому інтенсивність трафіку у кожного з цих користувачів мала в порівнянні з сумарною інтенсивністю. У якості виразу для вартісної функції в маршрутизації використовують:

$$\sum_{i,j} D_{i,j}(F_{i,j}), \quad (2.1)$$

$$D_{i,j}(F_{i,j}) = \frac{F_{i,j}}{C_{i,j}-F_{i,j}} + d_{i,j}F_{i,j}, \quad (2.2)$$

де $C_{i,j}$ – пропускна здатність лінії (i,j) , яка вимірюється в тих же одиницях, що і $F_{i,j}$,

$d_{i,j}$ – затримка через обробку і розповсюдження.

У [22] задача оптимальної маршрутизації сформована наступним чином. Для кожної ВА-пари $w = (i, j)$ різних вузлів i та j заданий стандартний вхідний потік інтенсивністю r_w . Необхідно: розділити трафік інтенсивністю r_w між декількома шляхами від відправника до адресата так, щоб загальний в результаті потік по лініях в мережі мінімізував вартісну функцію.

Нехай:

W – безліч всіх ОА-пар;

P_w – безліч всіх орієнтованих шляхів, що з'єднують ВА-пари w ;

x_p – потік (одиниці пакетів в секунду) по шляху p .

Тоді набір шляхових потоків $(x_p | w \in W, p \in P_w)$ повинен задовольняти обмеженням

$$\sum_{p \in P_w} x_p = r_w$$

Для всіх $w \in W$, $x_p \geq 0$ для всіх $w \in W, p \in P_w$.

Сумарний потік по лінії F_{ij} по лінії (i,j) дорівнює сумі шляхових потоків, що проходять по цій лінії, $F_{ij} = \sum_p x_p \chi_{ij}(p)$ (по всіх шляхах p , що містить (i, j)).

Якщо у функції вартості (2.1) замінити сумарні потоки F_{ij} на шляхові, то

задача формулюється у вигляді [23]:

Мінімізувати $\sum_{(i,j)} D_{ij} \sum x_p$ (по всіх шляхах p , що містить (i, j)) при обмеженнях $\sum_{x \in P_w} x_p = x_p$ для всіх $w \in W$ $x_p \geq 0$ для всіх $p \in P_w$, $w \in W$.

Тобто задача сформульована в термінах невідомих шляхових потоків $(x_p | w \in W, p \in P_w)$.

2.4.2 Характерні особливості оптимальної маршрутизації. Для опису оптимальної маршрутизації використовуватися похідна D_{ij} . При цьому передбачається, що кожна D_{ij} є двічі диференційованою функцією від F_{ij} і визначена на напівінтервалі $[0, C_{ij})$, де значення C_{ij} – це пропускна здатність лінії. Передбачається, що перша і друга похідні D_{ij} , що позначаються відповідно через D'_{ij} і D''_{ij} , строго додатні для всіх F_{ij} з $[0, C_{ij})$. Крім того, передбачається $D_{ij}(F_{ij}) \rightarrow \infty$ при $F_{ij} \rightarrow C_{ij}$ (це видно з виразу (2.2)).

Опис рішення задачі оптимальної маршрутизації виходить з наступного необхідної і достатнього умови оптимальності [23].

Нехай f – деяка диференційована опукла функція n -мірного вектора $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ і X – деякий випукла множина векторів. Тоді $x^* \in X$ буде оптимальним рішенням задачі мінімізувати $f(x)$ при обмеженні $x \in X$ тоді і тільки тоді, коли

$$\sum_{i=1}^n \frac{df(x^*)}{dx_i} (x_i - x_i^*) \text{ для всіх } x \in X,$$

де $\frac{df(x^*)}{dx_i}$ – значення першої похідної f по i -ій координаті x_i в точці x^* .

2.4.3 Методи оптимальної маршрутизації. В якості основного методу розглянемо метод допустимого напрямку, а решту наведемо у вигляді відмінних рис. Отже, оптимальна маршрутизація досягається тільки тоді, коли потік кожної ВА-пари направляється по шляхах, які мають мінімальну першопохідну довжину (МППД) шляху. Це рівнозначно тому, що набір шляхових потоків є строго підоптимальним, якщо тільки якась додатня частина потоку направлена по шляху, який не є МППД-шляхом. При цьому передбачається, що

підоптимальна маршрутизація може бути поліпшена перекиданням на МППД-шлях потоку з інших шляхів для кожної ВА-пари. Доцільно перекидати на найкоротший шлях не весь потік, а тільки його частину для підвищення ефективності маршрутизації.

Для заданого вектора допустимих шляхових потоків $x=\{x_p\}$ (тобто для деякого вектора x , що задовольняє обмеженням даної задачі) розглянемо зміну x у напрямку $\Delta x=\{\Delta x_p\}$. До напрямку Δx застосовуються дві основні умови:

1) Δx повинен бути допустимий напрямок, тобто при малій зміні x в напрямку Δx вектор залишився вектором допустимих шляхових потоків. Математично дана вимога означає: для деякого $c>0$ і всіх $\alpha \in [0, c]$ вектор $x + \alpha \Delta x$ повинен бути допустимим, або, що одне і теж,

$$\sum_{p \in P_w} \Delta x_p = 0 \text{ для всіх } w \in W \quad (2.3)$$

$$x + \alpha \Delta x \geq 0 \text{ для всіх } \alpha \in [0, c], p \in P_x, w \in W \quad (2.4)$$

Дане правило виражає той факт, що збереження допустимості необхідно, щоб всі збільшення потоків по яких-небудь шляхах компенсувалися зменшеннями потоків по іншим шляхам тієї ж ВА-пари.

2) Друга вимога полягає в тому, щоб Δx було напрямом спуску, тобто щоб вартісна функція спадала в напрямку Δx від x . Так як градієнт $\nabla D(x)$ є нормаллю до поверхні, що дорівнює вартості для вартісної функції D , то з цього випливає, що вимога про спуск переходить в умову, що скалярний добуток $\nabla D(x)$ і Δx від'ємний, тобто

$$\sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w} \frac{\partial D(x)}{\partial x_p} \Delta x_p < 0 \quad (2.5)$$

В алгоритмах маршрутизації [22] часто використовують інше формулювання даної вимоги:

$\Delta x_p \leq 0$ для всіх некоротких шляхів p , тобто таких шляхів, для яких

$$\frac{\partial D(x)}{\partial x_p} > \frac{\partial D(x)}{\partial x^*} \quad (2.6)$$

для деякого шляху p^* , відповідного тій же ВА-парі; $\Delta x_p < 0$ для, принаймні одного найкоротшого шляху p .

Дані умови позначають, що якась частина потоку перекидається з некороткого шляху на найкоротші (по відношенню до довжин $D'_{ij}(F_{ij})$), і ніякий потік не перекидається з найкоротших шляхів на некороткі.

Оскільки $\frac{\partial D(x)}{\partial x_p}$ приймає найменше значення для тих (найкоротших) шляхів, p^* для яких $\Delta x_{p^*} > 0$ і відповідно до (2.3) сума Δx_p по $p \in P_w$ дорівнює нулю, то видно, що з (2.3) і (2.6) випливає умова спуску (2.5).

Це призводить до широкого класу ітеративних алгоритмів для вирішення задач оптимальної маршрутизації. Основною ітерацією цих алгоритмів є $x = x + \alpha \Delta x$, де Δx – допустимий напрямок спуску, а величина кроку α вибирається таким чином, щоб вартісна функція спадала. Тобто

$D(x + \alpha \Delta x) < D(x)$, і вектор $x + \alpha \Delta x$ був допустимим. Розмір кроку α може вибиратися для кожної ітерації окремо. З умови оптимальності видно, що допустимі напрямки спуску з точки x можна знайти тоді і тільки тоді, коли x не є оптимальним рішенням.

2.4.4 Метод Франка-Волфа (метод девіацій потоку) [22]. Для даного вектора допустимих потоків $x = \{x_p\}$ знайти шлях з мінімальною першопохідною довжиною (МППД-шлях) для кожної ВА-пари. Нехай $x^* = \{x_p^*\}$ – вектор шляхових потоків, які утворюються, якщо вхідний потік r_w кожної ВА-пари $w \in W$ направлений за відповідним МППД-маршрутом. Нехай α^* – такий розмір кроку, який мінімізує $D[x + \alpha(x^* - x)]$ по всім $\alpha \in [0,1]$, тобто

$$D[x + \alpha^*(x^* - x)] = \min_{\alpha \in [0,1]} D[X + \alpha(x^* - x)]. \quad (2.7)$$

Тоді значення шляхових потоків на наступному кроці рівні:

$$x_p = [x_p + \alpha^*(x^* - x)] \text{ для всіх } p \in P_w, w \in W. \quad (2.8)$$

І процес повторюється знову.

Описаний алгоритм є окремим випадком так званого методу Франка-Волфа рішення більш загальних задач нелінійного програмування з випуклими обмеженими множинами. Він також називається методом девіації потоку. Можна показати, що в деяких межах він зменшує значення вартісної функції до мінімуму, хоча в міру наближення до оптимуму швидкість збіжності зменшується.

Зауважимо, що допустимий напрям, що використовується в ітерації (2.8), має вигляд (2.6), тобто частка α^* кожного потоку, що проходить по некороткому маршруту (маршрут для кожного $x_p = 0$), перекидається на найкоротший маршрут (для якого $x_p^* = r_w$) для кожної ВА-пари w .

Характерною особливістю тут є те, що потік з некоротких маршрутів на найкоротші перекидається в рівних пропорціях, на відміну від інших методів, які, як правило, перекидають потоки в нерівних пропорціях.

Для обчислення оптимального розміру кроку α^* , що задовольняє (2.7), потрібно провести мінімізацію по одній змінній на $[0, 1]$, а для цього можна використовувати будь-який з існуючих методів. Найбільш простим методом є вибір розміру кроку α^* , відповідно до рівності:

$$\alpha^* = \min \left[1 - \frac{\sum_{i,j} (F_{ij}^* - F_{ij}) D'_{ij}}{\sum_{i,j} (F_{ij}^* - F_{ij})^2 D''_{ij}} \right] \quad (2.9)$$

Тут F_{ij}^* та F_{ij} є множинами сумарних потоків, що існують x_p^* та x_p відповідно, тобто F_{ij} (або F_{ij}^*) отримуються шляхом підсумовування всіх потоків x_p (або x_p^*) за тими шляхами p , які проходять по лінії (i, j) . Формула для α^* отримана на основі тейлоровської апроксимації другого порядку.

Метод Франка-Волфа має перевагу в порівнянні з іншими методами. Нехай нас цікавлять не оптимальні шляхові маршрути, а тільки оптимальні сумарні потоки на лініях F_{ij} . Тоді цей можна реалізувати таким чином, що на кожній ітерації в пам'яті будуть зберігатися тільки поточні значення сумарних потоків на лініях і поточні найкоротші маршрути для всіх ВА-пар. Це можна зробити, обчислюючи сумарні потоки на лініях, відповідних вектору потоків по найкоротших шляхах x^* , і виконуючи лінійний пошук, зазначений в (2.9), в просторі сумарних потоків на лініях. Обсяг пам'яті, який необхідний для такої реалізації, відносно невеликий, внаслідок чого цю задачу можна вирішувати для дуже великих мереж. Якщо, проте, крім сумарних потоків на лініях нас цікавлять також оптимальні маршрутні потоки, то при використанні методу Франка-Волфа потрібен обсяг пам'яті приблизно такий же, як і для інших методів, включаючи проекційні методи, які будуть описані далі.

2.4.5 Проекційні методи для оптимальної маршрутизації [22].

Розглянемо тепер деякий клас алгоритмів допустимого напрямлення. Для вирішення задачі оптимальної маршрутизації ці алгоритми працюють швидше методу Франка-Волфа, більше пристосовані для розподілених реалізацій. Вони також базуються на найкоротших маршрутах і знаходять маршрут з мінімальною першопохідною довжиною для кожної ВА-пари кожної ітерації. Приріст потоку обчислюється для кожного маршруту на основі відносних величин довжин маршрутів і іноді в основі других похідних вартісної функції. Якщо приріст виявляється настільки великим, що маршрутний потік стає від'ємним, то маршрутний потік вважається рівним нулю, тобто він «проектуються» назад в додатковий октан. Існує кілька методів такого типу, які

становлять інтерес у зв'язку з завданням маршрутизації. Всі вони можуть розглядатися як версії з обмеженням більш загальних методів оптимізації без обмежень, таких як метод найшвидшого спуску і метод Ньютона. Спочатку коротко опишемо ці методи в загальній постановці нелінійної оптимізації, а потім розглянемо додаток цих методів до задачі маршрутизації.

Отже, в основу оптимальної маршрутизації покладена потокова модель з вартісною функцією виду (2.2). Ця функція (двічі диференційована) досить об'єктивно описує характер поведінки мережі. Однак, як видно з короткого розгляду, оптимальна маршрутизація ґрунтується тільки на потоковій моделі, яка описується характерною для мереж (на основі апроксимації одноканальною системою масового обслуговування) вартісної функцією, і на характеристиках маршрутів, але без урахування інформації про топології мережі.

Є алгоритми маршрутизації, в основу яких покладена інформація про топологію мережі. До них відносяться різновиди моделей, що визначають найкоротші шляхи на графах (алгоритми: Флойда-Уоршелла, Дейкстри і Беллмана-Форда).

Алгоритм Флойда-Уоршелла – динамічний алгоритм для знаходження найкоротших відстаней між усіма вершинами зваженого орієнтованого графа.

Алгоритм Дейкстри знаходить найкоротшу відстань від однієї з вершин графа до всіх інших. Алгоритм працює тільки для графів без ребер від'ємної ваги і широко застосовується в програмуванні і технологіях, наприклад, його використовує протокол OSPF для усунення кільцевих маршрутів.

Алгоритм Беллмана-Форда – алгоритм пошуку найкоротшого шляху в зваженому графі. За час $O(|V| \times |E|)$ алгоритм знаходить найкоротші шляхи від однієї вершини графа до всіх інших. На відміну від алгоритму Дейкстри алгоритм Беллмана-Форда допускає ребра з від'ємною вагою.

2.4.6 Особливості завдання маршрутизації при використанні тензорної методології в аналізі телекомунікаційних мереж.

Методи оптимальної маршрутизації, що базуються на теоретико-

множинній топології (зокрема на диференціальному обчисленні), не вимагають застосування теорії графів і розглядають безперервні властивості досліджуваних систем без використання інформації про структуру системи. Методи маршрутизації, що визначають найкоротші шляхи на графі, навпаки, засновані на комбінаторній топології і вивчають властивості дискретних систем.

В даний час відомі роботи [22, 24, 25] та ін., в яких для аналізу телекомунікаційних мереж використовується тензорна методологія Г. Крона. Вона дозволяє вирішити задачу розподілу потоків на мережі, ґрунтуючись як на формулі поведінки мережі, так і правилах Кірхгофа (використовуваних в комбінаторній топології).

При такому підході поєднується потокова модель з певною мережевою структурою. Залежно від необхідних даних про структурні елементи мережі, топології, інтенсивностей вхідних потоків або накопичень потоків в буферних пристроях або в одночасному їх впливі можуть бути використані відповідні методи розрахунку мереж [24, 25]: вузловий, контурний або ортогональний. При розрахунку даних завдань основоположним є вираз маршрутних потоків через потоки в мережевих елементах. Це, по суті, визначає систему координат для компонент тензорів формули поведінки мережі та відображає технологію розподілу потоків в мережі (задача маршрутизації в умовах усталеного режиму).

В умовах високої, динамічно мінливого навантаження мережі виникає задача застосування диференціальних рівнянь, що визначають динаміку маршрутних потоків відносно тих же елементів мережі (тобто каналів зв'язку і вузлів комутації). В цьому випадку необхідно перейти до задачі розподілу маршрутних потоків, виходячи з завдання дослідження околиці точки стану мережі, тобто до задачі тензорного аналізу [22, 25, 26]. При цьому, в якості вихідних систем координат (для стаціонарного з усередненими показниками) можуть виступати ті, які визначаються на основі тензорної методології Г. Крона.

Таким чином, рішення задачі маршрутизації для навантаженої

телекомунікаційної мережі при використанні тензорної методології її аналізу і безпосередньо тензорного аналізу в умовах динаміки потоків передбачає алгоритми визначення систем координат маршрутних потоків простору стану мережі та їх зв'язок з потоками в мережевих елементах.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

Таким чином, передумовою оптимізації побудови цифрових мереж та оптимізації трафіку є розрахунки одних і тих же показників різними методами і для різних варіантів, а також їх відбір з метою забезпечення системних вимог для крайнього заходу двох розрахункових періодів. Таким чином, таке завдання як оптимізація трафіку, передбачає прийняття власних рішень, тобто прийняття конкретних інженерних технічних та економіко-обґрунтованих рішень для виконання конкретного завдання.

Дане завдання на сьогоднішній день є актуальним, оскільки обсяг трафіку з кожним роком зростає. Був проведений аналітичний огляд методів для вирішення цього завдання. Існуючі математичні методи, які використовуються для вирішення завдань оптимізації трафіку, а також методи для вирішення цих завдань, добре описані в літературі, що зазначається. Але на сьогоднішній день для вирішення завдань оптимізації на перший план виходить не математичні методи розв'язання задач оптимізації, а інженерні методи. Ці методи засновані на обсягах, пропорціях і характері територіального та об'єктного розподілу прогнозованого навантаження. Крім того, необхідно враховувати при використанні інженерних методів, нових значень параметрів, від яких залежить дане навантаження.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

3.1 Оптимальна маршрутизація великих об'ємів даних

У зв'язку зі зростанням вимог до якості обслуговування QoS в сучасних мультисервісних мережах все більше уваги приділяється засобам маршрутизації [27, 28]. Протоколи маршрутизації в мережах телекомунікацій нового покоління (NGN) повинні забезпечувати розрахунок одного чи декількох шляхів доставки пакетів, через які будуть виконуватися всі описані в SLA-договорі вимоги до якості обслуговування.

Засоби підтримки якості обслуговування в сучасних протоколах маршрутизації останнім часом достатньо сильно змінилися, перш за все за рахунок перегляду метрик, що використовуються при обранні маршруту.

По-перше, відбувається відмова від топологічних метрик – кількості переприйомів (hops), характерного для протоколу RIP, і здійснюється перехід на QoS-метрики. QoS-метрики базуються на врахуванні основних показників обслуговування: швидкості передачі, середніх затримок, варіації затримок, рівня втрат в трактах передачі мережі. В результаті маршрути передачі пакетів того чи іншого трафіку прокладуються з врахуванням QoS-показників через них. По-друге, все більше протоколів підтримують так названі комбіновані (комбіновані) метрики, в рамках яких враховуються одночасно декілька основних QoS-параметрів [29].

Врахування декількох QoS-параметрів і різних вимог додатків до значень цих параметрів значно ускладнює задачу маршрутизації [27, 28]. В загальному вигляді задача пошуку необхідних телекомунікаційних ресурсів може бути сформульована наступним чином: телекомунікаційні ресурси необхідно зарезервувати таким чином, щоб пропускні можливості каналів зв'язку

забезпечували оптимальну маршрутизацію необхідного об'єму трафіка при виконанні вимог заданої якості обслуговування в безаварійній та всіх аварійних ситуаціях [28, 30]. Іншими словами мова йде про пошук найкоротшого шляху при забезпеченні заданих вимог до якості обслуговування.

Найкоротший шлях можна визначити, використовуючи графокомбінаторні та потокові математичні моделі.

Відомі наступні алгоритми знаходження найкоротшого шляху, які базуються на теорії графів:

- 1) алгоритм Дейкстри (використовується для знаходження оптимального маршруту між двома вершинами);
- 2) алгоритм Флойда (використовується для пошуку оптимального маршруту між всіма парами вершин);
- 3) алгоритм Белмана-Форда (для пошуку найкоротшого шляху одної вершини графа до всіх інших);
- 4) алгоритм A^* (використовується для пошуку маршруту з найменшою вартістю одної вершини (початкової) до іншої (кінцевої), використовуючи алгоритм пошуку за першим найкращим співпадінням на графі);
- 5) алгоритм Джонсона (використовується для пошуку найкоротшого шляху між усіма парами вершин об'єднаного орієнтованого графа);
- 6) хвильовий алгоритм (алгоритм перебору, що базується на методі пошуку в ширину. Знаходить шлях між вершинами і графом, що має мінімальну кількість проміжних ребер);
- 7) алгоритм Габова (використовується для пошуку найкоротшого шляху за допомогою масштабування);
- 8) алгоритм Карпа (використовується для визначення циклу з найменшою вагою).

Зазначені алгоритми легко виконуються при малій кількості вершин в графі. При збільшенні їх кількості задача пошуку найкоротшого шляху ускладнюється. Тому актуальною є задача розробки власного алгоритму

пошуку оптимального шляху чи модифікація існуючих підходів на базі комбінованих метрик.

Для вирішення задачі оптимально маршрутизації великих об'ємів даних пропонується модифікований алгоритм Дейкстри як один з можливих алгоритмів пошуку оптимального шляху при комбінованій метриці, що об'єднує в собі такі метрики як: пропускна здатність каналу зв'язку, ймовірність втрати пакетів, затримка в передачі пакетів і варіації затримки при мінімальній вартості одиниці інформації.

3.1.1 Модифікація алгоритму Дейкстри [27] та постановка задачі.

Мультисервісні мережі надають певний комплекс послуг: широкосмуговий доступ в інтернет, IP-телефонія, цифрове телебачення, відеоконференцзв'язок і ін. Для даних мереж, крім смуги пропускання, важливі такі параметри, як втрати пакетів, затримка пакетів, варіація часу затримки (джиттер). Завдання маршрутизації в мультисервісних мережах повинна вирішуватися на основі критеріїв, що враховують перераховані параметри, і відповідно до вимог конкретних додатків. В цілому забезпечення заданої якості обслуговування (QoS) в цих мережах є складним завданням багатокритеріальної оптимізації, для вирішення якої необхідні нові методи та підходи [1-3].

Постановка задачі. Розглянемо процес передачі даних між вузлами в телекомунікаційній мережі, топологія якої описується у вигляді графа

$$G(V, E),$$

де V – безліч вузлів мережі;

E – безліч дуг e_{ij} , що з'єднують вузли $i, j \in V$ телекомунікаційної мережі (рисунок) [4-5].

Нехай P – шлях, що з'єднує вузол джерела s і вузол одержувача t .

В якості QoS-параметрів кожного каналу зв'язку (ребра графа) будемо розглядати смугу пропускання Y_e , затримку D_e , варіації затримки J_e і

ймовірність втрати пакетів Z_e . Для кожного з можливих шляхів з s в t будуть справедливі наступні співвідношення:

$$Y_{s,t} = \max_{e \in P} \{Y_e\}$$

$$D_{s,t} = \sum_{e \in P} D_e$$

$$J_{s,t} = \sum_{e \in P} J_e$$

$$Z_{s,t} = 1 - \prod_{e \in P} (1 - Z_e)$$

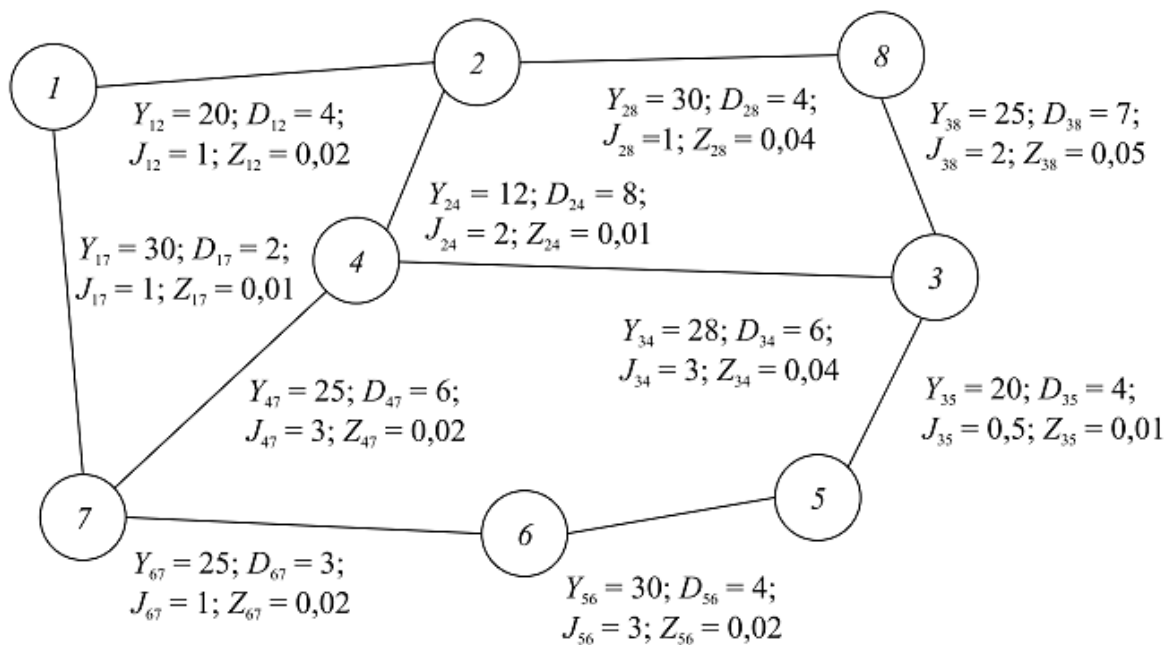


Рисунок 3.1 – Схема мережі: 1 – 8 – вузли мережі

З метою спрощення подальшого аналізу вважаємо, що параметри якості обслуговування є постійними і не змінюються в ході експлуатації мережі, тобто не залежать від її завантаження. Дане припущення буде коректним, якщо в процесі аналізу використовуються середньостатистичні величини.

Для зручності подальшого аналізу замість ймовірності втрати пакетів Z_e розглядають такий параметр, як логарифм ймовірності проходження пакетів [31]

$$X_e = \ln(1 - Z)$$

Такий підхід зручний тим, що значення даного параметра на всьому шляху маршрутизації обчислюється сумуванням:

$$X_{s,t} = \sum_{e \in P} X_e$$

Якщо на всьому шляху P для кожного з QoS-параметрів будуть виконані обмеження виду

$$Y_{s,t} \geq Y^{min}; \quad X_{s,t} \geq X^{max}; \quad D \leq D^{max}; \quad J_{s,t} \leq J^{max}, \quad (3.1)$$

то такий шлях називають QoS-здійсненням (feasible) шляхом.

Облік декількох QoS-параметрів і різних вимог додатків до значень цих параметрів істотно ускладнює завдання маршрутизації. Для її вирішення більш ефективним представляється підхід, який базується на сервіс-орієнтованій архітектурі (SOA) [31]. Згідно методики, викладеній в [28, 31], SOA можна представити у вигляді двох рівнів.

1. Рівень резервування необхідних телекомунікаційних ресурсів для забезпечення заданої якості обслуговування.
2. Рівень надання відповідних телекомунікаційних послуг для забезпечення необхідної якості обслуговування.

Завдання резервування ресурсів може бути сформульована таким чином: телекомунікаційні ресурси необхідно зарезервувати так, щоб пропускні спроможності каналів зв'язку забезпечували маршрутизацію необхідного обсягу трафіку при дотриманні вимог заданої якості обслуговування (QoS) в безаварійній і у всіх аварійних ситуаціях. Іншими словами, необхідно вибрати такий шлях (шляхи), щоб було забезпечено виконання основних QoS-вимог виду (3.1) [28].

Нехай $P_{fes}(s, t)$ є безліч QoS-здійснених шляхів із s в t . Тоді проблема QoS-маршрутизації може бути сформульована як модель оптимальної маршрутизації, розглянута на безлічі QoS-здійснених шляхів $P_{fes}(s, t)$ [28]:

$$\begin{aligned} \min_{P_{fes}} Y_{s,t} \Leftrightarrow \min_{P_{fes}} -Y_{s,t}; \quad \max_{P_{fes}} X_{s,t} \Leftrightarrow \min_{P_{fes}} X_{s,t}; \\ \min_{P_{fes}} D_{s,t}; \min_{P_{fes}} J_{s,t}; \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} Y_{s,t} - Y^{min} \geq 0; \quad X_{s,t} - X^{min} \geq 0; \quad D^{max} - D_{s,t} \geq 0; \\ J^{max} - J_{s,t} \geq 0, \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} Y_{s,t} = \max_{e \in P} \{Y_e\}; \quad D_{s,t} = \sum_{e \in P} D_e; \quad J_{s,t} = \sum_{e \in P} J_e; \\ X_{s,t} = \sum_{e \in P} X_e, \end{aligned} \quad (3.4)$$

3.1.1 Побудова обчислювального алгоритму. Можна виділити наступні особливості моделі (3.2 – 3.4), які не дозволяють безпосередньо застосувати для її вирішення добре відомі методи знаходження шляху найменшої вартості.

1. Критерій оптимальності (3.2), що включає чотири QoS-параметри, є векторним. Його можна згорнути, використовуючи, наприклад, аддитивну згортку, і вирішувати задачу мінімізації на графі скалярної функції $R_{s,t}$

$$\min_P R_{s,t} = \min_P \left(-w_Y \frac{Y_{s,t}}{Y^{min}} + w_D \frac{D_{s,t}}{D^{max}} + w_J \frac{J_{s,t}}{J^{max}} + w_X \frac{X_{s,t}}{X^{min}} \right). \quad (3.5)$$

Тут w_Y, w_D, w_J, w_X – вагові коефіцієнти, що визначають значимість відповідних параметрів QoS. Знак «+» перед останнім доданком пояснюється тим, що максимізована величина $X_{s,t}$ при нормуванні ділиться на від’ємну константу X^{min} . Проте в даному випадку в силу неадитивності смуги пропускання $Y_{s,t} = \max_{e \in P} \{Y_e\}$ описати кожне ребро графа функцією вартості

R_e такої, що

$$R_{s,t} = \sum_{e \in P} R_e. \quad (3.5)$$

виявляється неможливим.

2. Пошук рішення повинен здійснюватися тільки на підмножині QoS-здійснених шляхів, які відповідають умовам (3.3).

Для вирішення завдання (3.4), (3.5) з урахуванням обмежень (3.3) пропонується використовувати евристичний алгоритм, який представляє собою модифікацію алгоритму Дейкстри [28].

Модифікація полягає у відкиданні в процесі пошуку тих шляхів, на яких не виконуються обмеження (3), і новому способі опису та обчислення міток вузлів. У вихідному алгоритмі Дейкстри мітки кожного j -го вузла, якого можна досягти з вузла s через сусідній вузол i , мають вигляд $[R_{s,t}, i]$, де величина вартості $R_{s,j}$, що відповідає даному шляху, аддитивна і обчислюється за формулою

$$R_{s,j} = R_{s,i} + R_{ij}$$

де R_{ij} – вартість ребра e_{ij} , а величина $R_{s,i}$ береться з мітки i -го вузла. Замість цього введемо мітку, що має 6 компонент:

$$[R_{s,j}, Y_{s,j}, D_{s,j}, J_{s,j}, X_{s,j}, i]$$

Нову мітку при переході з вузла i у вузол j будемо обчислювати наступним чином:

$$D_{s,j} = D_{s,i} + D_{ij}; \quad (3.6)$$

$$J_{s,j} = J_{s,i} + J_{ij}; \quad (3.7)$$

$$X_{s,j} = X_{s,i} + X_{ij}; \quad (3.8)$$

$$Y_{s,j} = \min\{Y_{s,i}, Y_{ij}\}; \quad (3.9)$$

$$R_{sj} = \begin{cases} r, \text{ якщо для } D_{sj}, J_{sj}, X_{sj}, Y_{sj} \text{ виконуються умови (3),} \\ \infty, \text{ якщо для } D_{sj}, J_{sj}, X_{sj}, Y_{sj} \text{ не виконується хоча } \\ \text{б одна із умов (3)} \end{cases}; \quad (3.10)$$

де

$$r = -w_Y \frac{Y_{s,j}}{Y_{min}} + w_D \frac{D_{s,j}}{D_{max}} + w_J \frac{J_{s,j}}{J_{max}} + w_X \frac{X_{s,j}}{X_{min}}. \quad (3.11)$$

Запропонований спосіб формування мітки забезпечує обчислення параметрів QoS, що змінюються при проходженні пакета з вузла i у вузол j по ребру e_{ij} , не тільки шляхом сумування, але фактично за будь-якою формулою (наприклад, (3.10)) або алгоритму, які можуть описувати QoS-маршрутизацію.

Це дозволяє в подальшому уточнювати розглянуту модель в частині способів обчислення параметрів QoS по шляху P . Пошук оптимального шляху тільки серед QoS-здійснених шляхів забезпечується на основі формування функції виду (3.10). При цьому алгоритм перегляду вузлів, правила заміни міток вузлів, запропоновані Дейкстрой, залишаються незмінними і використовують в якості вартості шляхів величини R_{sj} .

Доведення коректності запропонованого алгоритму ґрунтується на тому, що проходження будь-якого ребра мережі не може поліпшити (зменшити) значення інтегрального критерію якості, який обчислюється за формулами (3.6) – (3.11). Далі доказ аналогічно доказу коректності базового алгоритму Дейкстри, який описано в [8].

Обчислювальна складність розглянутої модифікації алгоритму Дейкстри, як і базового алгоритму, залежить від способу пошуку вершини з мінімальним значенням мітки, а також способів зберігання безлічі невідвіданих вершин і поновлення міток. Він може варіюватися від $O(n^2)$ до $O(n^2 + m)$, де n – число вузлів; m – число ребер мережі.

Для обчислення міток за формулами (3.7) – (3.12) необхідно зберігати

інформацію про всі параметри QoS кожного телекомунікаційного каналу (кожного ребра графа). Найпростішим чином це можна зробити, використовуючи матрицю суміжності A розміру $n \times n$, кожен елемент якої собою вектор, який має такі компоненти:

$$\overrightarrow{A_{ij}} = (D_{ij}, J_{ij}, X_{ij}, Y_{ij}), \quad (3.12)$$

де значення $D_{ij} = D_e, J_{ij} = J_e, X_{ij} = X_e, Y_{ij} = Y_e$ – величини параметрів якості сервісу, задані для дуги e , що з'єднує вузли i і j . Таку матрицю суміжності зручно представляти у вигляді чотирьох окремих матриць для кожного з параметрів. Наприклад, для мережі на рисунку ці матриці будуть виглядати наступним чином (для наочності замість матриці логарифмів ймовірності проходження пакетів X приведено матриця ймовірності втрат пакетів Z):

$$Y = \begin{pmatrix} 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 30 & 0 \\ 20 & 0 & 0 & 12 & 0 & 0 & 0 & 30 \\ 0 & 0 & 0 & 28 & 20 & 0 & 0 & 25 \\ 0 & 12 & 28 & 0 & 0 & 0 & 30 & 0 \\ 0 & 0 & 20 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 25 & 0 \\ 30 & 0 & 0 & 30 & 0 & 25 & 0 & 0 \\ 0 & 30 & 25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ Мбіт/с} \quad (3.13)$$

$$Z = \begin{pmatrix} 0 & 0,02 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,01 & 0 \\ 0,02 & 0 & 0 & 0,01 & 0 & 0 & 0 & 0,04 \\ 0 & 0 & 0 & 0,04 & 0,01 & 0 & 0 & 0,05 \\ 0 & 0,01 & 0,04 & 0 & 0 & 0 & 0,02 & 0 \\ 0 & 0 & 0,01 & 0 & 0 & 0,02 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,02 & 0 & 25 & 0 \\ 0,01 & 0 & 0 & 0,02 & 0 & 0,02 & 0 & 0 \\ 0 & 0,04 & 0,05 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 4 & 0 & 0 & 7 \\ 0 & 8 & 6 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 3 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 6 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ мс} \quad (3.15)$$

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0,05 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 4 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 3 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ мс} \quad (3.16)$$

3.1.3 Чисельні експерименти. Варіюючи відповідно з деякою стратегією значення вагових коефіцієнтів в (3.11), можна отримати декілька допустимих рішень, кожне з яких буде відрізнятися значенням того чи іншого параметра, який визначається його вагою. Це відкриває широкі можливості пошуку оптимального маршруту для конкретних додатків з відповідними вимогами до параметрів якості обслуговування.

Наприклад, для мережі, показаної на малюнку і описуваної матрицями (3.13) – (3.16), вирішимо за допомогою запропонованого алгоритму два завдання маршрутизації з вузла 1 до вузла 3 при наступних значеннях параметрів обмежень:

$$Y^{min} = 20 \text{ Мбіт/с}; Z^{max} = 0,2; D^{max} = 16 \text{ мс}; J^{max} = 8 \text{ м} \quad (3.17)$$

У першому випадку вирішимо завдання оптимальної маршрутизації для

сервісу, орієнтованого на обмін файлами. Для цього вагові коефіцієнти виберемо таким чином:

$$w_Y = 0,7; \quad w_D = 0,1; \quad w_J = 0,1; \quad w_X = 0,1,$$

оскільки пріоритетним параметром для передачі файлів є смуга пропускання. Рішенням буде маршрут 1-7-4-3 з параметрами:

- смуга пропускання $Y_{13} = 28$ Мбіт / с;
- ймовірність втрати пакетів $Z_{13} = 0,07$;
- середній час затримки $D_{13} = 14$ мс;
- середній час варіації затримки $J_{13} = 8$ мс.

Другу задачу будемо вирішувати для забезпечення голосового сервісу. У цьому випадку значення вагових коефіцієнтів будуть наступними:

$$w_Y = 0,1; \quad w_D = 0,3; \quad w_J = 0,3; \quad w_X = 0,3.$$

Оптимальним шляхом маршрутизації стане шлях 1-7-6-5-3 з параметрами QoS:

- смуга пропускання $Y_{13} = 20$ Мбіт / с;
- ймовірність втрати пакетів $Z_{13} = 0,06$;
- середній час затримки $D_{13} = 13$ мс;
- середній час варіації затримки $J_{13} = 5,5$ мс.

Відзначимо, що обидва шляхи є QoS-здійсненими, тобто задовільняють обмеженням виду (3.1).

Тепер спробуємо отримати маршрут, який дозволить скоротити варіацію часу затримки за рахунок погіршення інших параметрів. Для цього будемо збільшувати ваговий коефіцієнт w_D , зменшуючи значення інших.

Відомо, що при побудові інтегрального критерію якості можна покласти значення одного або декількох вагових коефіцієнтів рівними 0. Відповідні

параметри QoS при цьому не будуть впливати на значення критерію якості, однак обмеження на значення цих параметрів як і раніше залишаються в силі і пошук виконується тільки на підмножині QoS-здійснених шляхів. Так, при значеннях вагових коефіцієнтів

$$w_Y = 0; \quad w_D = 0,8; \quad w_J = 0,1; \quad w_X = 0,1.$$

отримуємо оптимальний маршрут 1-2-8-3 з наступними параметрами QoS:

- смуга пропускання $Y_{13} = 20$ Мбіт / с;
- ймовірність втрати пакетів $Z_{13} = 0,11$;
- середній час затримки $D_{13} = 15$ мс;
- середній час варіації затримки $J_{13} = 4$ мс.

Формування системи вагових коефіцієнтів для найкращого забезпечення різних сервісів є окремим інженерним завданням. Фактично ці коефіцієнти визначаються виходячи з вимог забезпечуємого сервісу до параметрів QoS. При цьому вони можуть залежати від нормування параметрів якості обслуговування при обчисленні аддитивної згортки (3.11), тобто від поставлених обмежень.

На практиці підбір цих коефіцієнтів виконується в процесі дослідження відповідної моделі в ході обчислювального експерименту. В результаті, варіюючи вагові коефіцієнти за певним алгоритмом, можна отримати набір резервних маршрутів (телекомунікаційних ресурсів) для надання комплексу послуг в мультисервісної мережі.

Завданням другого рівня є надання самих послуг з набору зарезервованих. В цьому випадку також необхідно вирішити задачу цілочисельного програмування. Використовуючи раніше введені позначення, сформулюємо завдання наступним чином:

$$\min \sum_{e \in P} \sum_{k=1}^m k_p(e) x_p(e) + d_k(e) L_k(e), \quad (3.18)$$

де k_p – вартість вибору шляху на всьому відрізку від s до t ;

$x_p(e) \in \{0,1\}$; $d_p(e)$ – одиниця додаткової вартості, необхідної для забезпечення QoS-вимоги.

Це лише результати першого рівня сервіс-орієнтованої архітектури – рівня резервування необхідних телекомунікаційних ресурсів для забезпечення заданої якості обслуговування.

Що стосується другого рівня – надання відповідних телекомунікаційних послуг на основі зарезервованих ресурсів для забезпечення необхідної якості обслуговування, то дана проблема (3.18) знаходиться в стадії активного дослідження.

3.2 Оптимізація маршрутизації інформаційних потоків при багатокритеріальних вимогах

Для якісного обслуговування у провайдерів телекомунікаційних послуг має бути відповідне ресурсне забезпечення (маршрутизатори, канали зв'язку і інше обладнання), технічні характеристики якого відповідали б усім вимогам даних послуг. У той же час різні види додатків, що реалізують ту чи іншу послугу, висувають різні вимоги до технічних характеристик мереж телекомунікацій. Наприклад, при відправці електронної пошти або передачі файлів критичним є пропускна здатність каналів і ймовірність втрат інформації, в той час як для IP-телефонії найвищим пріоритетом є мінімальний час затримки для обробки IP-пакетів. На різних ділянках мережі телекомунікацій може бути різне устаткування зі своїм набором характеристик. Для деяких служб не всі мережеві пристрої можуть відповідати вимогам, що пред'являються до них.

3.2.1 Поточний стан і вимоги до протоколів маршрутизації інформаційних потоків в мережах телекомунікацій [32]. Маршрутизація інформаційних потоків традиційно розглядалася як оптимізаційна задача для визначення найкоротшого шляху. При цьому пошук оптимального шляху, як правило, забезпечується на підставі врахування великої кількості різних параметрів, таких як кількість інтелектуальних вузлів, в яких проводиться обробка інформаційних потоків, значення затримки, варіації затримки, величина втрат пакетів.

Важливою проблемою при виборі того чи іншого оптимального маршруту є величина затримки, оскільки вимоги мінімізації даного фактора є актуальними і досить жорсткими для багатьох мультимедійних додатків [32]. Програмно-технічні засоби підтримки заданої якості обслуговування в сучасних мережах телекомунікацій в даний час досить сильно змінилися головним чином за рахунок перегляду метрик і параметрів, які використовуються при виборі оптимального маршруту. Тут проглядаються дві основні тенденції [32].

1. Все частіше серед фахівців починає домінувати думка, що необхідно практично повністю відмовитися від топологічних метрик – числа інтелектуальних вузлів, і перейти до так званих QoS-метрик, заснованих на обліку основних показників (параметрів) заданої якості обслуговування: швидкості передачі, смуги займаних частот, середніх величин затримок, варіації затримок, рівня втрат інформації, доступності пропонованих сервісів.

2. Розвиток протоколів маршрутизації відбувається в напрямку так званих композитних метрик, які об'єднують у собі одночасно кілька QoS-параметрів [2].

В 3.1 вирішується завдання пошуку оптимальних маршрутів для мультисервісних телекомунікаційних мереж. Особливістю даних мереж є те, що при виборі оптимального маршруту крім смуги пропускання повинні прийматися до уваги такі параметри якості обслуговування, як ймовірність втрат пакетів, величина затримки пакетів, варіація часу затримки

Аналіз розробок окремих фахівців в області маршрутизації показує, що існуючі на сьогоднішній день протоколи побудовані, головним чином, на пошуку оптимального шляху по одній, нехай навіть композитної метриці. При цьому значення інших метрик або не враховуються, або ж враховуються не повною мірою. Йдеться про те, що якщо за композитною метрикою ми отримуємо якийсь оптимальний маршрут, то при цьому інші метрики, складові композицію, можуть бути далекі від своїх оптимальних значень [1, 3, 4].

Ще однією важливою проблемою, пов'язаною з реалізацією діючих протоколів маршрутизації, є не завжди ефективне використання мережеских ресурсів [3, 5]. В основу більшості існуючих протоколів маршрутизації покладені графові моделі, результатом роботи яких є, як правило, один і той же найкоротший шлях, що відповідає обраній метриці. Практика застосування алгоритмів маршрутизації свідчить, що вибір найкоротшого шляху між відправником і отримувачем призводить до того, що такий шлях є єдиним. При цьому інші вільні шляхи ніяк не задіюються, а обраний оптимальний шлях може виявитися перевантаженим при наявності вільних маршрутів [4]. Одним з можливих рішень в даній ситуації є мультипоточкова маршрутизація з балансуванням навантаження між потоками рівній і близькою вартості [5].

При використанні QoS-маршрутизації заслуговують на увагу наступні підходи:

- необхідно слідувати концепції централізованого обчислення шляхів в рамках маршрутизації від джерела - концепція сервера маршрутів (Route Server, RS);
- необхідно забезпечити попередній обрахунок шляхів до початку передачі трафіку.

Маршрутизація є одним з найбільш дієвих і ефективних механізмів для забезпечення заданої якості обслуговування, проте на практиці в рамках існуючих методів маршрутизації і протоколів на їх основі самі функції забезпечення заданої якості обслуговування не завжди залишаються реалізованими повною мірою. Особливо ці питання будуть актуальними при

переході до мереж нового покоління (NGN). В цілому на підставі виявлених недоробок існуючих протоколів і з урахуванням розроблених перспективних методів можна сформулювати вимоги до протоколів маршрутизації сучасних мереж телекомунікацій [1].

I Протокол повинен відповідати вимогам QoS-маршрутизації, тобто працювати з доступними мережевими ресурсами, інформація про яких повинна бути отримана і постійно актуалізована шляхом їх постійного моніторингу. Оптимальний маршрут повинен бути обраний з урахуванням вимог різних додатків до якості їх обслуговування при мінімальній вартості.

II Протокол маршрутизації при виборі оптимального маршруту повинен забезпечувати збалансоване використання мережеских ресурсів, що буде означати перехід від монопотоків до мультипотоків методів.

III Завдання пошуку оптимального маршруту повинна бути невіддільна від завдань управління доступом і резервування ресурсів, т. е. ефективне поєднання диференціального і інтегрального підходів.

Аналіз показує, що перспективним підходом розвитку протоколів маршрутизації є концепція сервера маршрутів в поєднанні з концепцією передобчислювання шляхів, що дозволить забезпечити пошук нових більш ефективних методів управління трафіком в мультисервісних телекомунікаційних мережах, як зазначалося вище [1]. Таким чином, в завданнях пошуку оптимальних маршрутів проглядаються три основні підходи [1]:

1. Перехід від декількох одиночних метрик, кожна з яких відповідає тому чи іншого QoS показником, до композитної метрики, яку можна представити у вигляді адитивної або мультиплікативної функції окремих метрик.

2. Послідовне використання заданих метрик, тобто пошук маршрутів, задовольняють вимогам першої метрики, потім пошук маршрутів серед знайдених по першій метриці, але вже з використанням другої метрики і т. д.

3. Визначення з безлічі метрик однієї композиційної метрики, яка задовольняє вимогам кожної з окремих метрик і визначає їх значення. Так,

якщо керуватися першим підходом, то замість r адитивних метрик в якості комбінованої вартісної функції шляху P пропонується використовувати наступні вирази:

$$L(P) = \sum_{i=1}^r d_i w_i(P); \quad (3.19)$$

$$L(P) = \sum_{i=1}^r \max(w_i(P), L_i), \quad (3.20)$$

де d_i – вагові коефіцієнти різних метрик;

L_i – допустиме значення метрики w_i .

Необхідно відзначити, що облік декількох QoS-метрик і різних вимог додатків до значень цих метрик є неоднозначною завданням і в цілому істотно ускладнює побудову алгоритмів маршрутизації, про що також згадується в [27-30].

3.2.2 Єдиний комплексний ваговий коефіцієнт. Одним із кроків ефективного використання багатокритеріальної маршрутизації є введення єдиного комплексного вагового коефіцієнта. Уже у роботах [27-30] згадується алгоритм пошуку шляху, для якого встановлені мінімальна вартість і задана затримка передачі інформації: іншими словами, розглядається задача двухкритерійної маршрутизації, де в якості опції оптимізації обрані два параметри: величина затримки в передачі інформації і вартість такої передачі.

Мабуть, не потрібно додаткових обґрунтувань та пояснень, що той і інший параметр повинні прагнути до своїх мінімальних значень з усіх можливих.

Таким чином, для кожного каналу зв'язку, що з'єднує відправника і одержувача, задаються дві адитивних ваги w_1 і w_2 , один з яких є ваговим коефіцієнтом по затримці, а другий за вартістю. Єдиний комплексний ваговий

коефіцієнт можна розрахувати за такою формулою:

$$w = w_1(e) + \alpha w_2(e). \quad (3.21)$$

Таким чином, завдання полягає в розрахунку вагового коефіцієнта w . Сам по собі розрахунок є досить простим, але тільки в тому випадку, якщо коректно обраний коефіцієнт α . Запишемо вираз для α , взятє з [2, 3]:

$$\alpha = \frac{C_d - d(P)}{c(P) - c(q)}. \quad (3.22)$$

Алгоритми, які вирішують подібні завдання, дозволяють досить швидко знаходити безліч шляхів рішення. Однак отримані шляхи не завжди є єдиними і оптимальними за параметрами кратності і вартості. Цей алгоритм можна поліпшити за рахунок більш строгого обчислення параметра α . Покращений алгоритм представлений на рисунку 3.2. Одне з покращень – це більш строгий і більш обґрунтований вибір параметра α , який може бути розрахований за такою формулою:

$$\alpha = \frac{c_d - c(P_d)}{d(P_d) - c(q)}. \quad (3.22)$$

де c_d – величина заданої затримки;

$c(P_d)$ – величина мінімальної затримки від s до t ;

$d(P_d)$ – вартість передачі від s до t по обраному шляху, що має мінімальну затримку;

$c(q)$ – мінімальна вартість передачі від s до t (визначається по графу топології на підставі аналізу всіх здійснених шляхів).

Суть і призначення параметрів $c_d(p)$, $c(P_d)$, $c(q)$, $d(P_d)$ можна легко визначити з рисунку 3.2. Розглянемо роботу даного алгоритму більш детально.

Спочатку задається граничне значення одного з параметрів якості обслуговування, наприклад, затримки. Далі по топології мережі вибирається той шлях від джерела s до одержувача t , у якого сумарна величина затримки менше заданої. Якщо таких шляхів кілька, то вибирається той з них, де ця затримка мінімальна. Якщо ж кілька шляхів мають одну і ту ж мінімальну величину затримки, то вибирається той з них, у якого менше вартість.

Далі за формулою (3.22) розраховується коефіцієнт α . Після розрахунку коефіцієнта α значення кожного ребра вихідного графа множаться на w відповідно до формули (3.22). Таким чином, виходить граф з новими ваговими коефіцієнтами по кожній дузі. Далі відповідно до проведених перерахунками вибирається той шлях від s до t , який має меншу суму вагових коефіцієнтів по дугам. Для цього шляху розраховується новий коефіцієнт α . Далі проводиться перерахунок вихідного графа з урахуванням нового коефіцієнта, і після перерахунку визначається новий шлях, у якого сума вагових коефіцієнтів мінімальна. Якщо в результаті перерахунків за двома ітераціям отримано один і той же найкоротший шлях, цей шлях і є оптимальним, і робота алгоритму припиняється.

Проведений аналіз дозволяє зробити однозначний висновок, що запропонований алгоритм пошуку може бути застосований і для інших сполучень параметрів забезпечення заданої якості обслуговування: джиттер – вартість; ймовірність втрат пакетів – вартість; швидкість передачі – вартість. При цьому необхідно з розгляду спочатку виключити всі можливі шляхи, пропускна здатність яких менше директивно заданої. Таким чином, алгоритм вибору найкоротшого шляху при багатокритеріальних вимогах може бути сформульовано таким чином.

1. В результаті аналізу з графа топології телекомунікаційної мережі виключаються ті ребра (канали зв'язку), пропускна здатність яких менше директивно заданої.

2. Після реалізації процедури вибору безлічі можливих шляхів за допомогою запропонованого алгоритму здійснюється пошук найкоротшого

маршруту окремо по кожному з поєднань критеріїв: ймовірність втрат – вартість; швидкість передачі – вартість; затримка – вартість; джиттер – вартість.

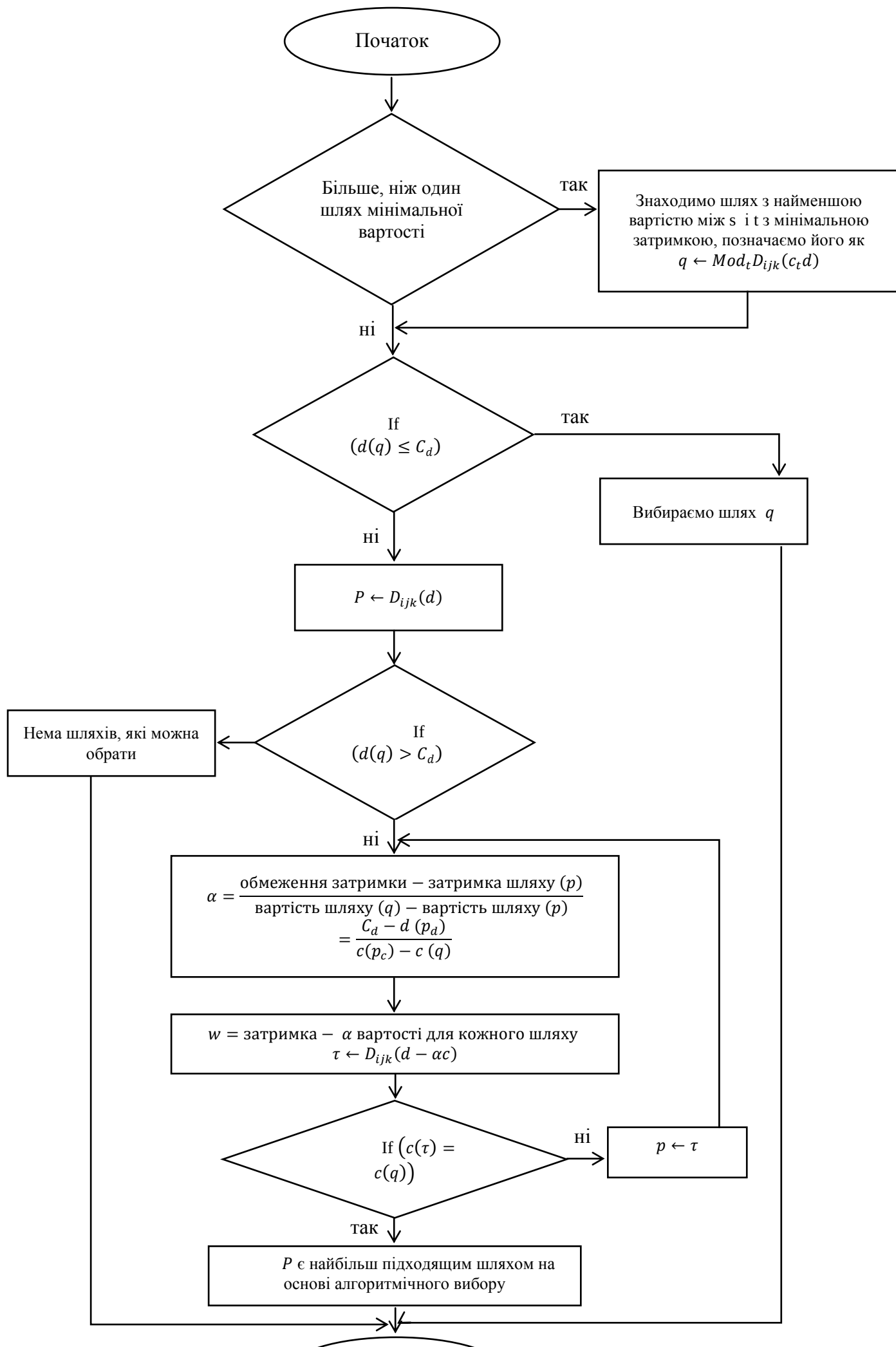
3. З отриманих на всіх ітераціях роботи алгоритму проміжних маршрутів вибирається той з них, який є найбільш загальним (найбільш близьким) для всіх критеріїв. Для одних з поєднань критеріїв цей шлях може бути знайдений уже на початковій ітерації, для інших – на завершальній і т. д.

4. Ситуація, коли алгоритм не зміг виявити загальних шляхів, означає, що багатокритеріальна задача при заданих обмеженнях не має рішень.

Алгоритм наведено на рисунку 3.2

На підставі аналізу існуючих різних підходів і алгоритмів QoS-маршрутизації інформаційних потоків можна виділити такі головні напрямки їх подальшого розвитку та вдосконалення [27,30,33]. Розробка нових підходів і методів моделювання мереж телекомунікацій на основі потокових моделей динамічного характеру, що дозволить врахувати переваги динамічного управління трафіком шляхом моніторингу поточного стану телекомунікаційної мережі.

Такий підхід неминуче призведе до перегляду метрик і параметрів, що описують саму мережу телекомунікацій, а також вимоги до вибору того чи іншого маршруту. Балансування трафіку мереж телекомунікацій представляється перспективним і ефективним засобом забезпечення заданої якості обслуговування і мультипоточної маршрутизації. Завдання управління трафіком необхідно вирішувати комплексно в рамках єдиних математичних моделей, що включають в себе як вибір оптимального маршруту, так і управління доступом до каналу зв'язку і чергами на обслуговування заявок, а також резервування ресурсів.



ВИСНОВКИ

Вибір найкоротшого шляху в мережах телекомунікацій забезпечується відповідними протоколами маршрутизації і в даний час базується, як правило, на багатокритеріальних концепціях, які враховують різні вимоги щодо пошуку самого маршруту, включаючи вимоги заданої якості обслуговування. Багатокритерійна маршрутизація на основі комплексного вагового коефіцієнта дозволяє врахувати різні вимоги при передачі потоків інформації. Разом з тим проблема вибору окремих вагових коефіцієнтів, що становлять композицію, до кінця строго не вирішена і вимагає додаткового вивчення. На сьогоднішній день розроблені лише евристичні алгоритми, які дозволяють здійснювати пошук оптимального шляху передачі інформації в мережах телекомунікацій при багатокритеріальних вимогах, що є недостатнім при вирішенні цілого ряду завдань маршрутизації.

Модифікація алгоритму полягає у відкиданні в процесі пошуку тих шляхів, на яких не відбуваються обмеження вимог по якості обслуговування та новому способі опису і розрахунку міток вузлів.

На основі модифікованого алгоритма Дейкстри можна розробити програмний продукт. Розробка програмного забезпечення на основі модифікованого алгоритму Дейкстри буде базуватись на заміні вагового параметра складною ваговою функцією і врахуванні граничних QoS-параметрів; вибір мови програмування і підходящого для його реалізації середовища та дозволяє використовувати переваги програмної платформи Microsoft.NET, лінійки Visual Studio Express та інших ресурсів.

Область застосування подібного програмного продукту дозволить збільшити швидкість мережевого використання та оптимізувати багатокритерійний пошук оптимального шляху з врахування вимог заданої якості обслуговування. А область застосування програмного забезпечення може бути як створення експертних систем, розробка баз даних, систем навігації та спостереження, картографічних сервісів, так і оптимальних протоколів.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Реферативна доповідь/розробка на Премію Президента «Оптимізація параметрів сучасних телекомунікаційних мереж». Режим доступу <http://www.kdpu-nt.gov.ua/uk/content/optymizaciya-parametriv-suchasnyh-telekomunikaciynyh-merezh>

[2] Телекомунікаційні послуги. Основні показники якості. Методи випробування В. Мітусов, В. Гребенніков, Л. Джулай

[3] Кирик М.І. Оптимізація телекомунікаційних мереж за критеріями якості послуг/ Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, 2009. – 22 с.

[4] Рекомендації МСЕ-Т E.800 (08/94) Терміни та визначення, що відносяться до якості послуг і функціонування мережі, включаючи надійність.

[5] Керівництво МСЕ-Т за якістю послуг і функціонуванню мереж

[6] Міжнародний стандарт МЕК 60050 (191) -1990: Міжнародний електротехнічний словник. Глава 191: Надійність і якість послуг.

[7] Грицко А.В. Дослідження методик підвищення якості передачі даних в мобільних мережах / Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2018. – 90 с.

[8-12] ETSI TS 102 250-1. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 1: Identification of Quality of Services aspects.

[9] ETSI TS 102 250-2. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 2: Definition of Quality of Services parameters and their computation.

[10] ETSI TS 123 107: "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Quality of Service (QoS) concept and architecture (3GPP TS 123.107 Release

[11] ETSI TS 102 250-3. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 3: Typical procedures of Quality of Service measurement equipment. ETSI TS 102 250-5. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 5: Post processing and statistical methods

[12]. ETSI TS 129 208: "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); End to end Quality of Service (QoS) signaling flows (3GPP TS 29.208 Release

[13] Пічугіна О.С., Колєчкіна Л.М. Двокритеріальна комбінаторна модель оптимізації телекомунікаційних мереж / Математичні машини і системи, 2017, № 4 , С.129-144

[14] Koliechkina L.N. Solving Extremum Problems with Linear Fractional Objective Functions on the Combinatorial Configuration of Permutations Under Multicriteriality / L.N. Koliechkina, O.A. Dvirna // Cybernetics and Systems Analysis. – 2017. – Vol. 53, N 4. – P. 590 – 599.

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

[16] Горбатий І.В. Моделі якості послуг телекомунікаційних мереж / Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>

[17] Горбатий І.В. Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи : навч. посібник / І. В. Горбатий, А. П. Бондарєв. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016

[18] ITU-T Recommendation E.430. Quality of service framework. – Geneva : ITU, 1992. – 5 p. 82

[19] Двокритеріальна комбінаторна модель оптимізації телекомунікаційних мереж / О.С. Пічугіна, Л.М. Колечкіна // Математичні машини і системи. — 2017. — № 4. — С. 129-144. — Бібліогр.: 25 назв. — укр.

[20] Хмельницький Ю.В., Гика В.А. Дослідження методів оптимізації трафіку інформаційних мереж Measuring and Computing Devices in Technological Processes Issue 2' 2015 169-172 с

[21] Князева Н.А., Ненов А.Л. Метод оцінки структурної надійності мережі при зміні її структури. – К.: Вісник ДУІКТ. Т.9, №4, 2011 р. 318, 321с.

[22] A Scalable Approach to QoS-Aware Self-adaptation in Service-Oriented Architectures / V. Cardellini [et al.] // Proc. of 6th Intern. ICST Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness, Q Shine 2009 and 3rd Intern. Workshop on Advanced Architectures and Algorithms for Internet Delivery and Applications, AAA-IDEA 2009 (Las Palmas, Gran Canaria, Nov. 23–25, 2009). Berlin ; Heidelberg ; New York, 2009. P. 431–447.