



Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
безпеки інформації та телекомунікацій  
д.т.н., професор \_\_\_\_\_ Корнієнко В.І.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 21 \_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу бакалавра**

спеціальність \_\_\_\_\_ *172 Телекомунікації та радіотехніка*  
(код і назва спеціальності)

студента \_\_\_\_\_ *172-18ск-1* \_\_\_\_\_ *Гулецький Кирило Дмитрович*  
(група) (прізвище ім'я по-батькові)

Тема дипломного проекту «Дослідження пропускнуої здатності мережі  
MPLS при обслуговуванні голосових  
повідомлень»

Наказ ректора НТУ "ДП" від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Стан питання. Постановка задачі</i>	Аналітичний огляд літератури за темою проекту	Березень 2021
<i>Спеціальна частина</i>	Розробка моделі функціонування мережі MPLS, що відбиває реальний процес обслуговування навантаження реального часу на гілках мережі MPLS. Оформлення пояснювальної записки	Квітень 2021
<i>Економічний розділ</i>	Розрахунок капітальних витрат	Травень 2021

Завдання видав \_\_\_\_\_  
(підпис)

Гусєв О.Ю.  
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв \_\_\_\_\_  
до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)

Гулецький К.Д.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 15 березня 2021 р.

Строк подання дипломного проекту до ДЕК: червень 2021 р.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: с., рис., табл., додатків, джерел.

Об'єкт дослідження: тунельована мережа MPLS в процесі обслуговування навантаження реального часу.

Предмет дослідження: методи визначення необхідної продуктивності гілок і оцінки якості функціонування тунельованої мережі MPLS за показниками пропускної здатності.

Мета дипломної роботи: розробка метода оцінки пропускної спроможності мережі MPLS, що тунелює, при обслуговуванні навантаження реального часу.

У першому розділі виконаний аналітичний огляд літературних джерел по темі дипломної роботи. Здійснено постановку задачі роботи.

У другому розділі показана принципова можливість підвищення пропускної здатності мережі MPLS, виконані відповідні підтверджуючі розрахунки.

У третьому розділі виконано розрахунок капітальних витрат на розробку моделі функціонування тунельованої мережі MPLS.

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, MPLS, РОЗПОДІЛ  
НАВАНТАЖЕННЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, НАПРЯМКИ ЗВ'ЯЗКУ

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка с., рис., табл., приложений, источников.

Объект исследования: тунельована сеть MPLS в процессе обслуживания нагрузки реального времени ..

Предмет исследования: методы определения необходимой производительности ветвей и оценки качества функционирования тунельованой сети MPLS по показателям пропускной способности.

Цель дипломной работы: разработка метода оценки пропускной способности сети MPLS, что туннелирует, при обслуживании нагрузки реального времени.

В первой главе выполнен аналитический обзор литературных источников по теме дипломной работы. Осуществлена постановка задачи работы.

Во втором разделе показана принципиальная возможность повышения пропускной способности сети MPLS, выполнены соответствующие подтверждающие расчеты.

В третьем разделе выполнен расчет капитальных затрат на разработку модели функционирования туннельной сети MPLS.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ, MPLS, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ, НАПРАВЛЕНИЯ СВЯЗИ

## ABSTRACT

Explanatory note p., fig., table., appl, sources.

Object of research: MPLS network was tunneled while serving real-time load.

Subject of research: methods for determining the required performance of the branches and assessing the quality of the functioning of a tunnel MPLS network in terms of throughput.

The purpose of the thesis: development of method for assessing the bandwidth of the MPLS network that tunnels, while serving the real-time load.

The first chapter provides an analytical review of literary sources on the topic of the thesis. The statement of the task of work has been carried out.

In the second section, the principal possibility of increasing the throughput of the MPLS network is shown, and the corresponding confirmatory calculations are performed.

In the third section, the calculation of capital costs for the development of a data transmission system model is performed.

TELECOMMUNICATION NETWORKS, MPLS, LOAD DISTRIBUTION,  
CAPACITY, COMMUNICATION DIRECTIONS

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

**Hop-by-hop** – шаг за шагом – способ транспортировки пакетов

**ISP** – Internet Service Provider – провайдер услуг Интернет

**Label** – метка

**Label swapping** – замена меток

**LER** – MPLS Edge Router – пограничный узел сети MPLS

**LDP** – Label Distribution Protocol – протокол распределения меток

**LIB** – Label Information Base – информационная база меток

**Loop detection** – выявление закольцованных маршрутов

**Loop prevention** – предотвращение образования закольцованных маршрутов

**LSP** – Label Switched Path – коммутируемый по меткам тракт

**LSR** – Label Switching Router – маршрутизатор коммутации по меткам

**MPLS** – Multi-Protocol Label Switching – Многопротокольная коммутация по меткам

**NGN** – Next Generation Network – сеть следующего поколения

**OSPF** – Open Shortest Path First – открытый протокол маршрутизации по принципу «первый выбирается кратчайший путь»

**QoS** – Quality of Service – качество обслуживания

**PPP** – Poin-to-Point Protocol – протокол «точка-точка»

**RSVP** – resource reSerVation Protocol – протокол резервирования ресурсов

**TE** – Traffic Engineering – инжиниринг трафика

**TTL** – Time To Live – «время жизни»

# ЗМІСТ

## ВСТУП

### 1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

#### 1.1 Аналіз принципів побудови і напрямків розвитку

сучасних телекомунікаційних мереж.....

1.1.1 Аналіз сучасного стану ринку телекомунікаційних послуг.....

1.1.2. Характерні особливості технології MPLS.....

1.1.3. Взаємодія технології MPLS з мережами інших технологій .....

1.2 Моделі функціонування мережі MPLS.....

1.2.1 Узагальнена модель функціонування телекомунікаційних мереж.....

1.2.2 Модель функціонування тунельованої мережі MPLS.....

1.2.3 Показники функціонування телекомунікаційних мереж.....

1.2.4 Характеристики функціонування телекомунікаційних мереж....

1.3 Постановка задачі.....

Висновки.....

### 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування використаної моделі.....

2.2 Обслуговування заявок по TE-тунелям.....

2.3 Врахування навантаження при дослідженні пропускної здатності в мережі MPLS .....

Висновки.....

### 3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....

3.1 Визначення трудомісткості розробки моделі.....

3.2 Розрахунок витрат на розробку моделі.....

3.3 Розрахунок капітальних витрат.....	
Висновки.....	
ВИСНОВКИ.....	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломного проекту.....	
ДОДАТОК Б. Відгук керівника економічного розділу.....	
ДОДАТОК В Відгук керівника дипломної роботи.....	



## ВСТУП

Зростання потреб в обсязі інформаційних потоків і послуг веде до перевантаженню існуючих телекомунікаційних мереж. Тому сьогодні оператори зв'язку вимушені приймати рішення по зміну мережевої архітектури, оскільки традиційна архітектура вже не задовольняє вимоги, тобто інтеграція мереж стає неминучою.

Для ефективного обслуговування абонентів необхідно мати запас пропускної здатності на транспортному рівні. Сьогодні потреба в широкій смузі пропускання виникає на найнижчих рівнях телекомунікаційних мереж, і перш за все це стосується організації виділеного каналу для доступу в Інтернет. У зв'язку з цим питання побудови мережі з найбільш оптимальною ієрархією стало одним з самих обговорюваних.

Раніше модель телекомунікаційної мережі була досить складною, складалася з дуже великого набору рівнів і підрівнів. Фактично, якщо брати в розрахунок сумарне число всіх рівнів і підрівнів, практично визначуваних для

конкретної мережі зв'язку, то воно може скласти добрий десяток, а то і більше.

Це рівні послуг, мережевих елементів, мереж доступу, а також різні варіанти транспортних/магістральних рівнів.

Слід зазначити, що в якості транспортної технології на перших етапах розробки рекомендацій по створенню NGN розглядалися різні технології, такі як ATM, Frame Relay, IP, MPLS і інші. Проте, останніми роками з'явилася стійка тенденція по орієнтації на використання як основна транспортна технологія саме технології MPLS. Крім того, технологія MPLS завойовує все більшу популярність і на рівні мереж доступу. Тому, на сьогодні технологія MPLS вважається найбільш перспективною в найближчій перспективі. Одним з основних завдань при

створенні транспортної архітектури будь-якої мережі є мінімізація необхідного об'єму каналоутворюючого і лінійного устаткування. Це може бути досягнуто за рахунок широкого використання обхідних шляхів в кожному напрямі зв'язку в сукупності з динамічним управлінням процесами розподілу інформації.

Незважаючи на перспективність таких рішень, на сьогодні ще не розроблені комплексні математичні моделі і не створені ефективні засоби

аналізу і проектування такого типу мереж. Це пов'язано в першу чергу із складністю рішення подібного класу завдань і неможливістю чіткого математичного опису процесу функціонування транспортних мереж з числом вузлів і кількістю каналів більше чотирьох.

Існуючі методи математичного аналізу і синтезу телекомунікаційних

мереж мають ряд обмежень, які дозволяють вирішувати завдання такого типу зі значними обмеженнями. Так, у відкритій науково-технічній літературі не опубліковані методи, які дозволяли б при розрахунках основних показників функціонування мереж врахувати особливості використовуваної технології, зокрема технології MPLS.

Крім того, в процесі розрахунків може виникнути ряд невизначеностей, які можуть привести до помилок в розрахунках. Ці помилки, як правило, виявляються після закінчення розрахунку, на етапі перевірки отриманих результатів. Це вимагає повернення до початкового етапу розрахунку.

Слід зазначити, що завдання подібного типу слабо структуровані і процес повної автоматизації отримання рішення не завжди вдається. Внаслідок цього поява помилки може значно ускладнити процес отримання рішення.

Таким чином, вдосконалення математичного апарату, що дозволяє враховувати особливості функціонування мереж з конкретною технологією і усунення невизначеностей в процесі рішення завдань дозволяє підвищити

ефективність застосування вже існуючих методик.

Все вище сказане, визначило необхідність подальших наукових досліджень в цій предметній області, а саме, рішення актуальної наукової

задачі по розробці вдосконалених методів оцінки якості обслуговування і

пропускної спроможності мережі MPLS, що тунелює, при обслуговуванні

навантаження реального часу.

## 1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз принципів побудови і напрямків розвитку сучасних телекомунікаційних мереж

1.1.1 Аналіз сучасного стану ринку телекомунікаційних послуг

З 2000-х років спостерігається стрімке зростання обсягу трафіку даних і значне зростання потреб у розмірах інформаційних потоків в процесі надання нових видів послуг. Це призвело до того, що існуючі телекомунікаційні мережі виявляються неспроможними або підійшли до межі своїх можливостей по обслуговуванню абонентів з заданими показниками якості обслуговування. Тому сьогодні телекомунікаційні оператори змушені приймати рішення щодо вдосконалення мережної архітектури

Для ефективного обслуговування абонентів, з урахуванням генерується ними трафіку, необхідно мати запас пропускної здатності на транспортному рівні. Сьогодні потреба в широкій смузі пропускання виникає на найнижчих рівнях телекомунікаційних мереж, і насамперед це стосується організації виділеного каналу для доступу в Інтернет. У зв'язку з цим, останнім часом питання побудови мережі з найбільш раціональною ієрархією став одним з найбільш актуальних.

У минулому столітті вертикальна модель телекомунікаційних мереж була досить складною, складалася з великої кількості рівнів і підрівнів, часто носила суперечливий характер. Сумарне число всіх рівнів і підрівнів досягала десяти, а то й більше. Це були рівні послуг, мережевих елементів, мереж доступу, а також різні варіанти зонових і магістральних рівнів.

Сьогодні у відповідності з рекомендаціями ITU-T, рекомендовано використовувати чотирьох-рівневу архітектуру мереж наступного покоління NGN:

- рівень послуг;
- рівень управління, агрегації, сигналізації;

- транспортний рівень;
- рівень доступу.

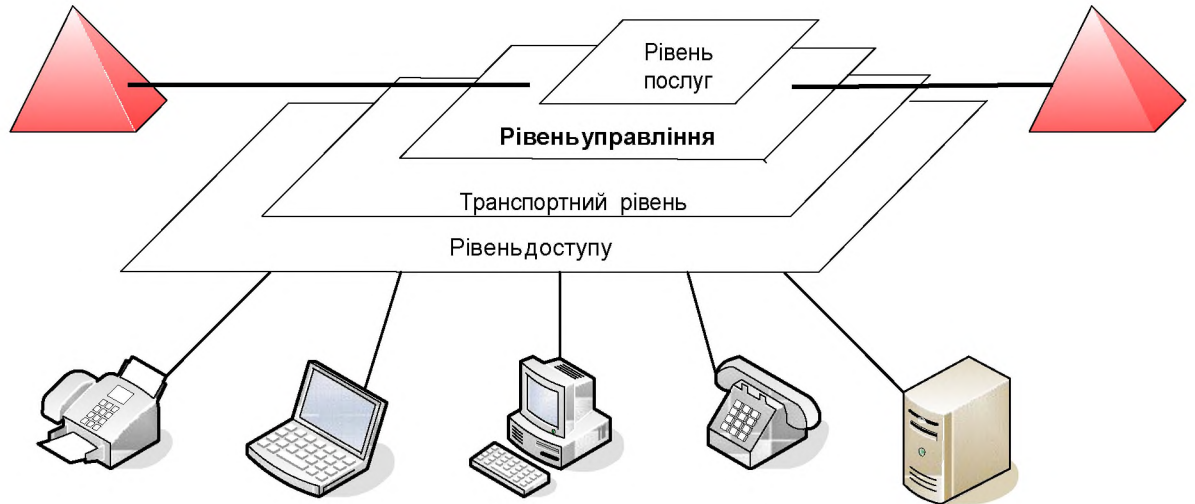


Рисунок 1.1 – Архітектура мережі слідуючого покоління

Рівень послуг містить функції управління логікою послуг і додатків і є розподіленою обчислювальною середовищем, яка забезпечує:

- надання різних послуг і контенту;
- управління послугами;
- творення і впровадження нових послуг;
- забезпечення взаємодії різних послуг.

Даний рівень дозволяє реалізувати специфіку послуг і застосовувати одну і ту ж програму логіки послуг незалежно від типу транспортної мережі і способи доступу. Наявність цього рівня дозволяє вводити нові послуги без втручання у функціонування інших рівнів.

Рівень управління, агрегації та сигналізації може включати багато незалежних підсистем, які базуються на різних технологіях, мають своїх абонентів і використовують свої внутрішні системи адресації.

Операторам зв'язку потрібні механізми, які дозволяють швидко і гнучко впроваджувати, а також замінювати послуги в залежності від індивідуальних потреб користувачів.

Якщо зупинитися на чисто технічних аспектах, то сьогодні домінуючою є проста модель мережі на базі сімейства протоколів TCP/IP. Основний плюс TCP/IP - його універсальність і гнучкість. Ось вже три десятки років цей протокол є основним для мережі Internet, що поєднує в даний час більше 500 мільйонів користувачів. За цей час сімейство TCP/IP, з одного боку, поповнилося протоколами прикладного рівня, (такими як HTTP - гіпертекстовий протокол SMTP - поштовий протокол FTP - протокол пересилання файлів і багато інших), а з іншого боку забезпечує сумісність з усіма популярними стандартами фізичного, канального і мережевого рівнів, у тому числі і X.25.

Однак широкі можливості мережі TCP/IP не скасовують її недоліки. Основні з них - це проблеми безпеки і гарантії якості зв'язку. І якщо завдання забезпечення безпеки ip-мереж можна вирішити, використовуючи різні механізми шифрування і захисту (наприклад стандарти IPSec), то проблему забезпечення гарантованої якості обслуговування, особливо даних чутливих до величиною затримки, поки вирішити складно.

Що стосується протоколу X.25, то в ньому спочатку була закладена висока надійність. Коли X.25 створювався, переважали аналогові системи передачі даних і мідні лінії зв'язку. Прагнучи нівелювати невисока якість каналів того часу, стандарт використовує систему виявлення та виправлення помилок. Це істотно підвищує надійність зв'язку, але зате уповільнює загальну швидкість передачі даних. Крім того, кожен комутатор, через який проходить інформаційний пакет, проводить аналіз його вмісту. Це вимагає часу і великих

витрат продуктивності процесорів. З появою оптоволокна високі вимоги щодо надійності, які реалізує X.25 стали зайвими. Гідність протоколу

перетворилося в його недолік. Швидкість передачі по протоколу X.25 не перевищує 64 Кб/с.

Протокол, який повинен був усунути недоліки X.25, став Frame Relay. Він використовує той же принцип віртуальних каналів, однак аналіз помилок здійснюється тільки на прикордонних точках мережі. Це дозволило значно збільшити швидкість передачі - до 45 Мб/с. Істотною перевагою протоколу є можливість забезпечення пріоритетності різнорідного трафіку (включаючи дані, голос і відео). Тобто пакетів різного призначення можуть надаватися різні класи обслуговування, завдяки чому пакети з вищим пріоритетом доставляються "поза чергою". Ці переваги Frame Relay були розвинені при створенні технології асинхронної передачі (ATM).

Протокол ATM розбиває трафік на пакети строго фіксованої довжини (їх називають осередками), які асинхронно мультиплексуються в єдиний цифровий тракт згідно з присвоєним пріоритетом. Завдяки малій довжині комірок (53 байти), можна організувати одночасну передачу потоку даних одразу кількох служб, критичних до часу доставки, - комірки з даними різного призначення вставляються в потік поперемінно, забезпечуючи кожному необхідну швидкість обміну даними. Технологія ATM забезпечує обслуговування трафіку на швидкостях від 1,5 Мб/с до 40 Гб/с. Як Frame Relay, так і ATM, забезпечують високий рівень безпеки. Це пов'язано з тим, що трафік у магістральній мережі не LSPизується, а комутується на основі локальних міток DLCI (Frame Relay) або VPI/VCI (ATM) по віртуальних каналів, до яких несанкціонований користувач не може підключитися, не змінивши таблицю комутації вузлів мережі.

Однак, при створенні мереж з великою кількістю точок доступу по віртуальних каналів, той же "телефонну" принцип з'єднання, закладений ще в технології X.25 починає приносити певні незручності для користувачів. Віртуальні мережі (VPN) на основі протоколів Frame Relay та ATM стають дуже громіздкими і важко керованими. Щоб забезпечити зв'язок "кожен з

кожним" необхідно виконати операції по конфігурації кожного каналу. Тобто, при збільшенні числа точок доступу ймовірність помилки в мережі росте в квадратичній прогресії. Та й вартість такої мережі досить висока. Це пов'язано з тим, що оператори зазвичай беруть оплату в залежності від кількості каналів.

Побудова мережі на основі протоколу ATM обходиться дорого, так як дана технологія сама по собі досить дорога. Крім того, витрати зростають за рахунок необхідності адаптації крайового обладнання до ATM. Тому в даний момент цей протокол використовується в основному для надання послуг на магістральному рівні, для передачі великих обсягів інформації в мережах, побудованих раніше.

Економічний спад останніх років і надмірна пропускна здатність базових мереж змусило провайдерів послуг і операторів зв'язку серйозно проаналізувати окупність витрат на мережеві ресурси. Оскільки фактична пропускна здатність стала товаром, увагу гільки зосередилося на надання додаткових послуг, необхідних споживачеві. В результаті появи нових технологій в лідери почали виходити ті провайдери, які змогли об'єднати раніше несумісні мережі.

У 1996 році Ipsilon, Cisco, IBM і інші компанії, об'єднали свої розробки і створили технологію мультипротокольної комутації на основі міток (MPLS - Multiprotocol Label Switching). Основна ідея розробки полягала в тому, щоб реалізувати можливість передачі трафіку по найменш завантаженим LSPами IP-мережі і забезпечити більш просту систему конфігурації VPN з одночасною підтримкою гарантій якості передачі, а також присвоєння пріоритету різних видів трафіку.

Очевидно, що перехід до MPLS йде повним ходом. Кожен великий оператор зв'язку в США і багато в міжнародному масштабі розгорнули або планують розгорнути магістральні мережі MPLS. Дослідження, проведені дослідницьким центром Infonetics в 2003 році, показали, що 62% провайдерів



послуг в той час було зайнято конвергенцією мереж передачі даних по IP або IP/MPLS, 86% планували зробити це в 2004 році [5]. Оскільки традиційні служби, такі як ретрансляція кадрів і ATM, можуть транспортуватися мережі MPLS, така конвергенція мереж часто залишається прозорою для підприємства кінцевого користувача. Рух вперед до новітніх недорогим служб, таких як Ethernet, додатково сприяє просуванню нових технологій.

Крім мереж великих операторів, MPLS знаходить також свій шлях у великих корпоративних мережах організацій, таких як підприємства роздрібною торгівлі, інвестиційні компанії, урядові органи і збройні сабо, організації охорони порядку, промислові підприємства.

Таким чином, намітилася тенденція збільшення ефективності мереж за рахунок застосування нових технологій, що підвищують їх можливості. Саме в цьому сенсі технологія MPLS дуже приваблива для провайдерів. З її допомогою можна обробляти безліч служб, як традиційних, так і нових в межах однієї мережі.

### 1.1.2. Характерні особливості технології MPLS

MPLS (Multiprotocol Label Switching) багатопроTOCOLьна комутація з використанням міток. Суть MPLS полягає в спрощення процесу LSPизації пакетів даних при проходженні через магістральну мережу провайдера. Для клієнта і його структури мереж нічого не змінюється, однак завдяки MPLS-технології, мережа клієнта набуває додаткові позитивні властивості.

Від інших способів побудови віртуальних приватних мереж, подібно VPN на базі ATM/FR або IPSec, MPLS VPN вигідно відрізняє висока масштабованість, можливість автоматичної конфігурації і проста інтеграція з іншими сервісами IP, які сьогодні є обов'язковими для будь-якого успішного провайдера:

- доступом до Internet;

- Web і поштові служби;
- хостинг.

Застосування MPLS дозволяє створювати ізольовані, незалежні один від іншого, мережі клієнтів. MPLS забезпечує ізольованість мереж шляхом застосування тунелів для передачі клієнтського трафіку з внутрішньої мережі провайдера. Це досягається за рахунок того, що LSPні повідомлення від мережі клієнта перестрибують через внутрішню мережу провайдера за допомогою протоколу BGP. Після чого, завдяки особливостям його конфігурації (з використанням розширеної версії MultiProtocol BGP, MP BGP) вони потрапляють тільки в мережі цього клієнта. В результаті Маршрутизатори різних клієнтів не мають LSPної інформації один про одного і тому не можуть обмінюватися пакетами, тобто досягається бажана ізоляція клієнтських мереж один від одного.

Для зв'язку територіально рознесених мереж клієнта в єдину VPN застосовуються тунелі між прикордонними LSPизаторами внутрішньої мережі провайдера. Перевагою тунелів MPLS VPN є автоматичний спосіб їх прокладки і переваги, які отримуються за рахунок застосування технології MPLS:

- прискорене просування пакетів по мережі провайдера;
- управління рівнем якості обслуговування (COS-Classes of Service);
- трафік інжиніринг.

Головна особливість MPLS - це відділення процесу комутації пакету від аналізу IP-адреси, Це дозволяє здійснювати комутацією пакетів значно швидше, ніж їх LSPизацію. Згідно з протоколом MPLS Маршрутизатори та комутатори привласнюють на кожній точці входу в таблицю LSPизації мітку і повідомляють її значення сусіднім пристроїв.

Наявність міток дозволяє LSPизаторів і комутаторів, які підтримують технологію MPLS, визначати наступний крок у LSPі пакету без виконання процедури пошуку з використанням адреси. На сьогоднішній день існують три основні області застосування MPLS:

управління трафіком;

підтримка класів обслуговування (COS);

організація віртуальних приватних мереж (VPN).

Розташування технології MPLS в семирівневої моделі показано на рис.

1.2.

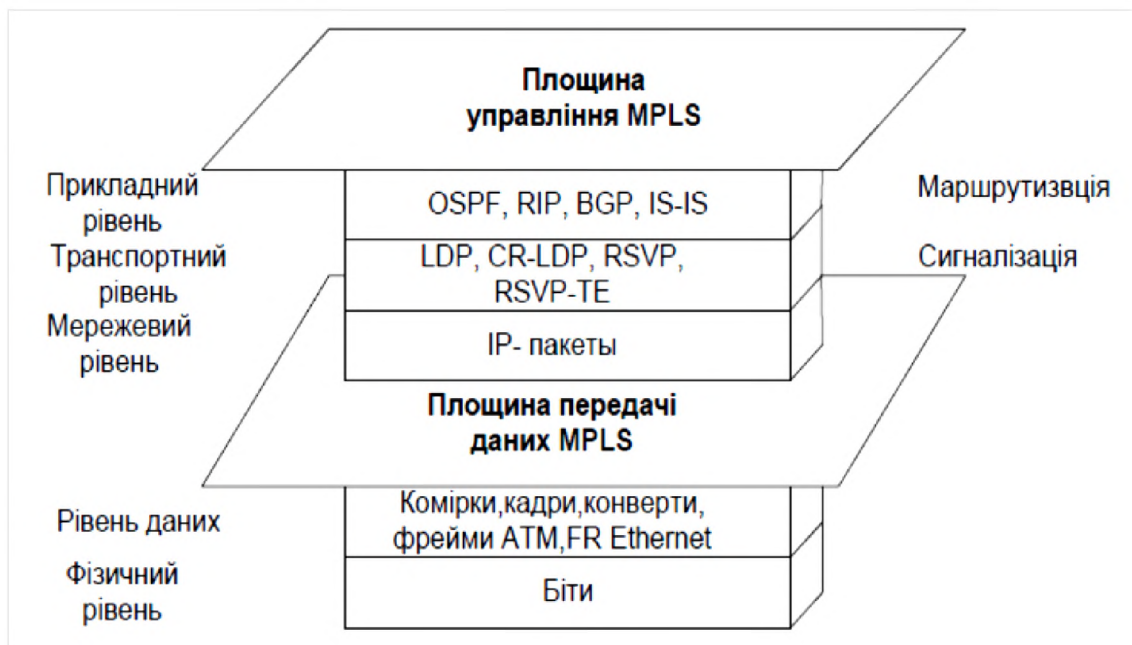


Рисунок 1.2 – Розміщення технології MPLS в 7-рівневій моделі OSI

Мережевий рівень - це рівень, який забезпечує вибір LSPу між двома кінцевими системами, підключених до різних "підмереж" і знаходяться в різних географічних пунктах. Так як дві кінцеві системи може розділяти значне географічне відстань і безліч підмереж, мережевий рівень є доменом LSPизації. Протоколи LSPизації вибирають оптимальні LSPи. Традиційні протоколи мережевого рівня передають інформацію по цих Маршрутів.

Канальний рівень забезпечує надійний транзит даних через фізичний канал. Канальний рівень вирішує питання фізичної адресації (в протилежність мережевий або логічної адресації), питання впорядкованої доставки блоків даних і керування потоком інформації.

Фізичний рівень визначає електротехнічні, процедурні та функціональні характеристики активації, підтримки і дезактивації фізичного каналу, між кінцевими системами. Специфікації фізичного рівня визначають такі характеристики, як рівні напруги, синхронізацію, швидкість передачі фізичної інформації, максимальні відстані передачі інформації, фізичні з'єднання та інші аналогічні характеристики.

"Multiprotocol" у назві технології означає "багатопротокольний". Це говорить про те, що технологія MPLS може застосовуватися в будь-якому протоколі мережевого рівня. Тобто MPLS - це свого роду інкапсулює протокол, здатний транспонувати інформацію безлічі інших протоколів вищих рівнів моделі OSI. Таким чином, технологія MPLS не залежить від протоколів рівнів 2 і 3 в мережах IP, ATM і Frame Relay, а також взаємодіє з існуючими протоколів LSPизації, такими як протокол резервування ресурсів RSVP або мережевий протокол вибору найкоротших Маршрутів OSPF.

Представлена на рис. 1.2 площину пересилання даних MPLS не утворює повноцінний рівень. Вона "вклинюється" в мережі IP, ATM або Frame Relay між 2-і 3-м рівнями моделі OSI, залишаючись незалежним від цих рівнів. Можна сказати, що одночасне функціонування MPLS на мережному рівні і на рівні ланки даних призводить до утворення так званого рівня 2.5, де, власне, і виконується комутація по мітках.

Мережа MPLS VPN ділиться на дві області:

- мережі IP клієнтів;
- внутрішня (магістральна мережа MPLS провайдера, яка необхідна

для об'єднання мереж клієнтів.

В магістральній MPLS-мережі провайдера пакети IP просуваються на основі IP-адреса, а локальних міток.

В даний час існують два основних способи створення магістральних ір-мереж:

- з допомогою IP-LSPизаторів, сполучених каналами «один з одним»;
- на базі транспортної мережі ATM, поверх якої працюють IP-Маршрутизатори.

За даними операторів мереж, до 90% від інформації, що пересилається в мережах Frame Relay та ATM, становить IP-трафік. Таким чином, абсолютно логічною виглядає ідея об'єднати в одній технології ті переваги, що дає протокол IP, одночасно надаючи гарантію якості і надійність протоколів ATM і Frame Relay.

Застосування MPLS виявляється вигідним в обох випадках. У магістральній мережі ATM воно дає можливість одночасно надавати клієнтам як стандартні сервіси ATM, так і широкий спектр послуг ір-мереж, разом з додатковими послугами. Такий підхід істотно розширює пакет послуг провайдера, помітно підвищуючи його конкурентоспроможність. Тандем IP і ATM, сполучених з допомогою MPLS, сприяє ще більшого поширення цих технологій і створює основу для побудови великомасштабних мереж з інтеграцією сервісів.

До цих пір тільки мережі з комутацією каналів могли надавати якість обслуговування, гарантовану пропускну здатність і надійність. З появою MPLS ситуація змінилася, оскільки ця технологія дозволяє надати порівнянний рівень сервісу в мережах IP. Розглянемо за і проти технології MPLS.

1 Впровадження нових керуючих протоколів часто вимагає внесення змін до обладнання LSPизації. MPLS зводить до мінімуму необхідність таких змін за рахунок розділення функцій LSPизації та комутації. В результаті

LSPизація може бути змінена незалежно від комутації. Це значно полегшує впровадження нових протоколів LSPизації.

2 Голос і відео найкращим чином забезпечуються використанням систем з комутацією каналів, так як цей вид комутації зводить до мінімуму варіацію затримки. MPLS дозволяє спростити контроль за якістю передачі аудіо та відео за рахунок забезпечення заданого класу обслуговування трафіку на транзитних вузлах.

3 MPLS має можливість зарезервувати пропускну здатність і динамічно визначати шлях. На відміну від звичайного IP, де потрібно робити спеціальні заходи для проходження трафіку до адресата уздовж одного і того ж шляху, MPLS вирішує цю задачу автоматично.

4 MPLS дозволяє при розрахунку Маршрутів враховувати вимоги до їх пропускну здатності.

5 Формування трафіку вимагає встановлення з'єднання, щоб він міг бути ідентифікований і потім відповідним чином обслужений. Трафік MPLS містить мітку, на підставі якої формування трафіку згідно з потоками здійснюється апаратним способом так само легко, як в ATM.

6 Програм з високими потребами в надійності потрібні тверді гарантії обслуговування та LSPизації, які можуть надати тільки мережі з комутацією каналів. MPLS забезпечує ранжування індивідуальних потоків, щоб у разі збою або при відсутності доступною пропускну здатності більш важливі потоки мали пріоритет - або за рахунок LSPизації в обхід, або за рахунок закриття менш важливих потоків.

7 VPN необхідні контрольовані ефективні тунелі. Транспорт MPLS не читає заголовків пакетів, які їм транслюється. Тому що використовується в цих пакетах адресація може носити прихований характер.

Таким чином перевагами MPLS є:

Таким чином перевагами MPLS є:

1 Відділення процесу вибору LSPу від аналізу IP-адреси (дає можливість надавати широкий спектр додаткових сервісів при збереженні масштабованості мережі).

2 Прискорена комутація (скорочує час пошуку в таблицях).

3 Гнучка підтримка QoS, інтеграція сервісів і віртуальних приватних

мереж.

4 Ефективне використання явного LSPу.

5 Збереження інвестицій у встановлене обладнання - ATM, Frame Relay та інше.

6 Розподіл функцій між ядром і прикордонної областю мережі.

### 1.1.3. Взаємодія технології MPLS з мережами інших технологій

Для розуміння сутності технології MPLS необхідно зрозуміти відмінність між MPLS і IP, яка полягає у способі LSPизації при передачі даних по мережі. Завдяки технології IP MPLS-пакети комутуються, а не LSPизуються, що різко збільшує швидкість їх передачі. Тому порівняно з іншими технологіями, на базі яких також будуються VPN (наприклад, Frame Relay, виділені підключення, шифрування трафіку в Інтернет), MPLS є найбільш ефективною для передачі IP-трафіку і, відповідно, оптимальна для роботи в мережі IP-орієнтованих застосувань.

Дійсно, при традиційній передачі IP-пакетів використовується IP-адреса пункту призначення в заголовку пакету, щоб дозволити кожному LSPизатора до мережі приймати незалежне рішення про передачу. Ці послідовні рішення базуються на протоколах LSPизації мережевого рівня,

таких як протокол LSPизації з визначенням найкоротшого LSPу (технологія OSPF) або протокол прикордонної LSPизації (технологія BGP). Ці протоколи LSPизації призначені для визначення найкоротшого шляху через мережу і не розглядають інші фактори, такі як час затримки або перевантаження мережі. На відміну від них при технології MPLS створюється модель встановлення з'єднання, що дозволяє накладати на традиційну, не орієнтовану на встановлення з'єднань, структуру ір-мереж на нову архітектуру мережі для організації комутації IP-пакетів. Ця архітектура, орієнтована на встановлення як би комутованого з'єднання, яке відкриває нові можливості для керування трафіком у IP-мережах.

Звідси випливає, що технологія MPLS будується на технології IP, поєднуючи інтелект процесу LSPизації, який є основою для роботи Інтернету і сучасних ір-мереж, з високою продуктивністю процесу комутації. Крім застосовності MPLS в організації ір-мереж, дана технологія буде поширюватися на більш загальні застосування в узагальненій формі MPLS (GMPLS) з областю застосування в оптичних мережах і мережах з тимчасовим поділом каналів (TDM).

Крім того, технологія MPLS є синтезом технологій рівня 2 (ATM, Frame Relay, Ethernet) і LSPизації рівня 3 пакетних мереж. Незважаючи на те, що технологія MPLS розробляється і позиціонується як спосіб побудови високошвидкісних IP-магістралей, однак сфера її застосування не обмежується протоколу IP, а поширюється на трафік будь-якого мережевого протоколу, який підлягає LSPизації.

Технологія MPLS тісно пов'язана з протоколами LDP, CR-LDP, RSVP, RSVP-TE, OSPF, BGP-4, IS-IS, GMPLS, які припускають наявність приватної мережевої служби. Тобто там, де до складу входять віртуальні приватні мережі (VPN).

MPLS базується на IP, тому його впровадження повинно бути не складніше, ніж будь-якого іншого протоколу на базі IP. Однак потрібно



враховувати кілька важливих моментів. Зокрема, кожен LSPизатор по шляху LSP повинен підтримувати протокол MPLS.

Одна з основних проблем протоколи LSPизації з фіксацією шляху, такого, як MPLS полягає в переривання обслуговування при збої. Проте багато виробники розробляють алгоритми й протоколи для зведення до мінімуму можливість переривання.

На даний момент ведуться роботи над визначенням механізмів оптимізації Маршрутів, щоб LSP можна було динамічно змінювати без втрат трафіку. Разом з тим протокол CR-LDP має механізми для реалізації динамічної зміни LSP по запитові оператора або при зміні параметрів LSP, таких, як вимоги до пропускної здатності, якості обслуговування або інших обмежень. Ці механізми часто характеризуються як «відкриття до розриву», оскільки нове підключення встановлюється до того, як буде розірвано існувало.

Інші нововведення спрямовані на рішення проблем LSPизації з урахуванням обмежень на проходження інформації через кордони автономних систем (Autonomous System, AS). В даний час вони пронизуються тунелями CR-LDP або RSVP, але з втратою переваги обчислення шляху по обидві сторони AS. Це пов'язано з тим, що в цілях транспортування інформації про пропускної здатності через мережу наявні протоколи використовують OSPF та IS-IS, але за межі AS дана інформація не передається[6].

В ідеалі програмне і апаратне забезпечення MPLS буде реалізовуватися в центральній частині мережі і розповсюджуватися зовні або, як варіант, уздовж переважної LSPу першого LSP і в сторони від нього. Програмне забезпечення MPLS спочатку буде встановлюватися на високошвидкісних комутаторах ATM, вже наявних у більшості накладених мереж. Для цього комутатори ATM повинні будуть функціонувати як Маршрутизатори ще до того, як MPLS буде активовано. Поступово, з появою нових

високошвидкісних LSPизаторів з підтримкою MPLS на інших інтерфейси, що комутує ядро можна буде нарощувати з допомогою включення багато інших типів каналів і розширювати по мірі необхідності - не тільки на ті області, де використовується ATM.

Технологія MPLS дуже перспективна. І хоча роботи в цьому напрямі ще не завершена, багато компанії, такі як Cisco Systems, Nortel Networks і Ascend (підрозділ Lucent), вже практично використовують рішення на базі MPLS, а постачальники послуг AT&T, Hongkong Telecom, vBNS і Swisscom оголосабо про впровадження й експлуатації мереж MPLS[8].

## 1.2 Моделі функціонування мережі MPLS

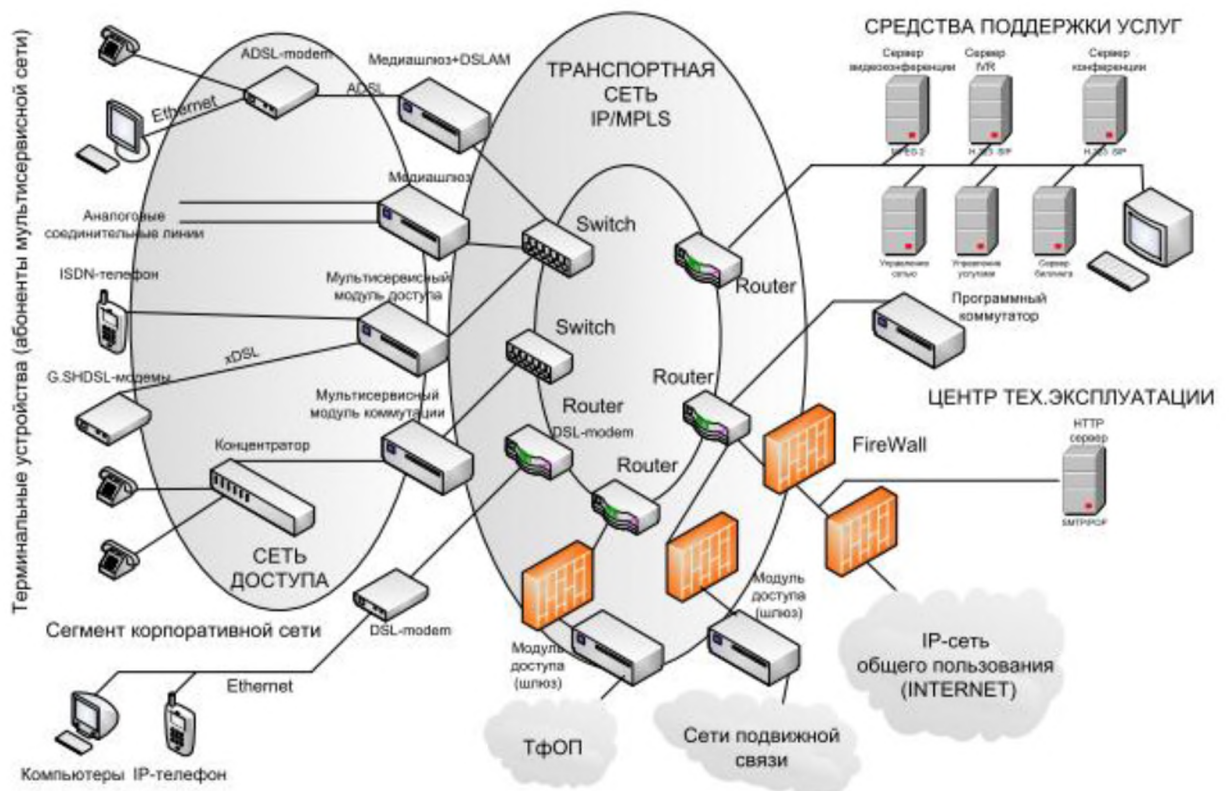
### 1.2.1 Узагальнена модель функціонування телекомунікаційних мереж

Лише 10-20 років тому мережі передачі даних, голосу й відео будувалися незалежно друг від друга, базувалися на різних технологіях й інфраструктурах. Стрімке зростання пропускної здатності мережі Інтернет, передача голосу з використанням технології IP-телефонії, висока щільність покриття території країни мережами мобільного зв'язку, поява послуг, для реалізації яких потрібні різні значення параметрів якості обслуговування, - все це привело до необхідності розробки й впровадження нових технологій. Їхнім основним завданням є надання широкого спектра послуг. Внаслідок цього ми можемо спостерігати розширення можливостей надання широкого спектра різноманітних послуг за рахунок конвергенції різних видів і типів мереж.

У загальному випадку, під конвергенцією розуміють злиття мереж передачі мови й відео з мережами передачі даних, і в першу чергу з Інтернет, з метою надання однакового набору послуг користувачам будь-якої мережі. І хоча сьогодні між окремими видами комутації бачиться більше розходжень, ніж подібності, уже завтра ситуація зміниться.

Як альтернатива побудови роздільних по видах інформації телекомунікаційних мереж запропонована концепція побудови мереж зв'язку наступного покоління NGN, що припускає передачу всіх видів трафіка від мереж різного типу в єдиному виді. Таке рішення дозволяє відмовитися від дублюючих один одного мереж, а в перспективі дозволить впроваджувати нові послуги, забезпечуючи виконання їхніх специфічних вимог до пропускної здатності і якості обслуговування.

Таким чином, ми приходимо до мультисервисної телекомунікаційної системи, що об'єднає в собі звичайну телефонну мережу, стільниковий зв'язок, Інтернет, IP-телефонію, кабельне телебачення, послуги інтелектуальних мереж, доступ до інформаційних ресурсів, одержання аудіо-і відео-програм і багато чого іншого. Один з можливих варіантів побудови такої мультисервисної телекомунікаційної системи, представлений на рис. 1.3.



### Рисунок 1.3 – Архітектура мультисервісної мережі

Всі переваги, які дає мультисервісна система, можна підрозділити на можливості для користувача й можливості для оператора. З погляду користувача вона дає такі переваги:

- можливість одержати набір послуг за допомогою одного терміналу, включеного в одну мережу;
- мати єдиний договір з оператором на весь комплекс послуг й, як наслідок, економію засобів у порівнянні з використанням декількох різнорідних служб електрозв'язку.

Операторові мультисервісна система дозволить:

- спростити побудова мережі, завдяки чому зникне необхідність мати кілька різних мереж для різних служб;
- підвищити ефективність використання дорогих засобів і споруджень, що дозволить знизити тарифи;
- розширити набір послуг, надаваних для користувачів;
- підвищить гнучкість мережі при впровадженні нових послуг і служб;
- підвищити конкурентноздатність.

Останнім часом найбільше стрімко росте трафік передачі даних. У зв'язку із цим, процес конвергенції розглядається на базі засобів пакетної передачі даних, а саме: на базі протоколу IP.

Аналіз завдань, рішення яких покладає на телекомунікаційні системи й мережі, дозволяє віднести їх до класу складних систем. Відповідно до наявним у науково-технічній літературі визначенням цих систем [7,10,12,15], їм властивий ряд властивостей, основними з яких є:

- різнорідність складових елементів, кожний з яких вирішує своє

- приватне завдання в рамках єдиної мети функціонування всієї системи;
- складність взаємозв'язків між елементами системи і їхніх параметрів, що описують;
  - багатоплановість рішення завдань;
  - випадковий характер процесів, що протікають у системі;
  - многопараметрическое опис системи;
  - залежність якості функціонування системи від безлічі різномірних фактів, що впливають, і т.д.

Численні дослідження показують [6,20], що систему розглянутого класу практично неможливо точно описати й пророчити її поведінку в кожен заданий момент часу.

Тому найбільш прийнятним способом, що дозволяє дати опис такої системи, є математичне моделювання. При цьому під моделлю розуміється математичний опис процесу функціонування мережі, що відбиває основні властивості й показники її функціонування, що представляють інтерес для проведених досліджень.

При побудові моделі доцільно дотримуватися наступних принципів:

1 Кінцівка математичного опису. Даний принцип припускає, що в кожен момент часу повинна оброблятися інформація про кінцеве число змінних станів.

2 Ієрархичність математичного подання. Даний принцип пов'язаний з розбивкою досліджуваної ТС на кілька ієрархічних рівнів із властивим ним математичним описом.

3 Модульність математичного опису. Реалізація цього принципу припускає закінченість математичного опису на кожному рівні.

4 Еквівалентність математичного подання. Даний метод відбиває той факт, що кожне з наступних за рівнем розгляду описів процесів повинне приводити до спрощення всіх властивостей системи, крім підметів дослідженню.

Відповідно до існуючого досвіду моделювання складних систем, досліджувані процеси представляються у вигляді блоків, кожний з яких відбиває специфіку функціонування розглянутого рівня опису. При цьому математичні моделі технічних-організаційно-технічних систем прийнято становити по реально реалізованим функціонально відособленим компонентам даної системи, з обліком факторів, що впливають на них.

Аналіз процесу функціонування складних телекомунікаційних систем дозволяє виділити чотири компоненти: телекомунікаційну мережу, систему забезпечення заданих показників функціонування телекомунікаційної мережі (СОПФ), система керування доставкою повідомлень (СУДС) і фактори, що впливають на них.

ТС є об'єктом керування і являє собою сукупність функціонально зв'язаних і взаємодіючих між собою й абонентами елементів. СУДС являє собою сукупність органів й об'єктів керування. СУДС виступає у двоякому виді. З одного боку, для телекомунікаційної мережі, це сукупність органів керування. З іншого боку, для СОПФ вона виступає в ролі об'єкта керування.

Між цими компонентами здійснюється постійний інформаційний обмін. Від об'єктів керування передається інформація про стан елементів, їхньому завантаженню, якості обслуговування абонентів, відхиленні значень основних показників від необхідних норм. В органах керування ця інформація обробляється, і у зворотному напрямку передаються відповідні команди, що дозволяють знизити вплив негативних процесів.

У процесі функціонування, як на органи, так і на об'єкти керування впливають різного роду фактори. При цьому характер такого впливу може проявлятися різним образом.

Фактори, що визначають характер функціонування ТС, можна розділити на три групи [11,18]:

- пов'язані із плановими морфологічними змінами мережі ( $n_1, n_2, \dots, n_i, \dots \in N; m_1, m_2, \dots, m_i \dots \in M$ ) - розгортання й згортання елементів мережі, введення в експлуатацію й переміщення КЦ, зміни структури мережі й т.д.;

- обумовлені виходом з ладу елементів керованої ТС, внаслідок агресивних впливів зовнішнього середовища й технічних відмов ( $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_i, \dots \in \Psi$ ) - поразка елементів або ділянок мережі, виникнення несправностей у засобах зв'язку;

- обумовлені потребами абонентів в інформаційному обміні ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots \in \Lambda$ ) - зміна інтенсивностей інформаційних потоків і часу обслуговування заявок.

У процесі функціонування ТС між її елементами, що є об'єктами керування, і СУДС, що містить органи керування, здійснюється інформаційний обмін, що характеризується наявністю різного типу даних. Так від об'єктів керування в органи керування можуть передаватися наступні дані:

- про відновлення режиму нормального функціонування елементів мережі ( $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots \in H$ );

- про поразку елементів ТС і виникаючих технічних відмовах, що ведуть до погіршення якості функціонування напрямків зв'язку ( $j_1, j_2, \dots, j_i, \dots \in J$ ) - вихід з ладу елементів або ділянок мережі, систем

передачі, лінійного й станційного встаткування КЦ, експлуатаційні помилки й ін.;

- про зниження показників якості обслуговування абонентів різних категорій ( $q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, \in Q$ ) - перевищення величини втрат і збільшенні часу доставки повідомлень у напрямках або на гілках мережі в порівнянні з нормованими значеннями, збільшення інтенсивності вступник навантаження.

Від органів керування на об'єкти керування можуть передаватися наступні команди:

- на систему керування доставкою повідомлень ( $u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, \in U$ ) - про необхідність корекції програм роботи керуючих пристроїв КЦ із метою зміни порядку вибору шляхів передачі інформації в напрямках зв'язку;

- на елементи телекомунікаційної мережі ( $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, \in S$ ) - про необхідність видачі результатів контролю їхнього технічного стану;

- на керуючі пристрої КЦ ( $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, \in B$ ) - з метою здійснення перемикань на КЦ, що забезпечують маневр каналами й трактами, для підтримки заданої пропускної здатності або живучості напрямків зв'язку керованої мережі;

- на використання необхідних резервних сил і засобів ( $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, \in V$ ) - для відновлення ушкоджених елементів або ділянок мережі;

- на систему керування доставкою повідомлень ( $d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, \in D$ ) - про необхідність введення або скасування певних додаткових видів обслуговування й категорій пріоритету.

Функціонування телекомунікаційної системи в процесі обслуговування інформаційних потоків можна представити у вигляді узагальненої моделі, представленої на рис. 1.4.



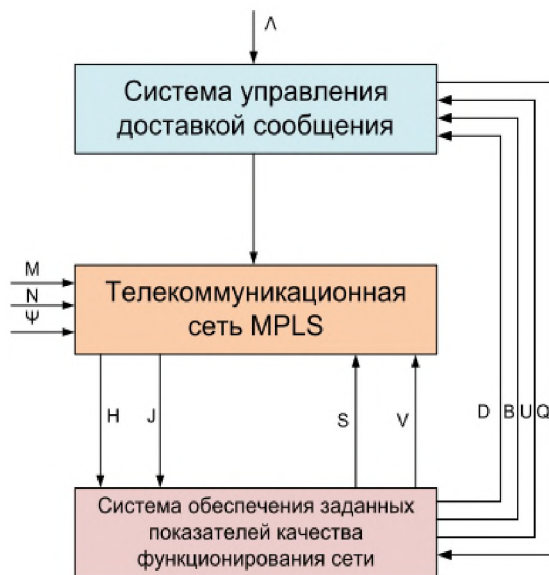


Рисунок 1.4 – Узагальнена модель ТКС

Аналіз узагальненої моделі показує, що на процес функціонування ТС впливає безліч різномірних факторів. Облік даних факторів, зниження їхнього негативного впливу, використання можливостей адаптації до змін на мережі за допомогою оперативного переформування плану розподілу навантаження дозволить підвищити ефективність функціонування ТС і знизити витрати на створення й експлуатацію мережі.

### 1.2.2 Модель функціонування тенульованої мережі MPLS

Телекомунікаційна мережа ставиться до класу складних систем [11] й її опис, подання математичною моделлю, з урахуванням особливостей її функціонування є досить складним завданням. З теорії системного аналізу

відомо, що будь-яка система може бути представлена за допомогою сукупності елементів системи й зв'язків які їх поєднують [6,13,22]. Графічно будь-яка складна телекомунікаційна система може бути представлена графом  $G(N, M)$ , де  $N$  - вузли (комутаційні центри), а  $M$  - гілки мережі або пучки каналів, які їх з'єднують.

При математичному описі ТС необхідно, аналізувати сукупність гілок у кожному шляху передачі інформації  $\mu_{g_{ij}}^y (i, j \in \overline{1, N})$  й сукупність шляхів у кожному напрямку зв'язку  $g_{ij} (i, j \in \overline{1, N})$ . Використання теорії графів дозволяє виконати дану процедуру, а саме:

- при використанні мінімальних коефіцієнтах, що зважують, на ребрах графа;
- по мінімальній кількості ліній (ребер) або кількості транзитних вузлів, у шляху встановлення з'єднання ;
- за допомогою спрощений симплекс методу визначити найбільш економічні по якому-небудь параметрі шляху;
- представити граф у вигляді модифікованої матриці зв'язності й методом послідовного зведення матриці в ступінь, визначити всю сукупність шляхів передачі інформації в напрямках зв'язку.

Однієї з найбільш важливих характеристик мережі, є її пропускна здатність. У класичному розумінні пропускна здатність - це здатність мережі обслуговувати заданий обсяг навантаження в одиницю часу, в усіх напрямках зв'язку, при виконанні вимог по якості обслуговування, які задані по кожному із цих напрямків.

Ряд авторів у своїх роботах, наприклад Г.Б. Давидов, В.Г. Рогинский, В.А. Толчан, пропускну здатність шляхів або ємність безлічі шляхів визначають пропускною здатністю перетину (квасисечення), що має мінімальну пропускну здатність або каналну ємність для заданої безлічі шляхів.

Даний підхід не зовсім коректний тому, що:

1 У реальних системах на елементи мережі впливають, і повинні аналізуватися  $(N-1)$  потоків, тобто всі потоки, які функціонують у мережі .

2 Така модель не враховує імовірнісні процеси, які протікають у ТКС, а саме нерегулярність потоків заявок, які надходять на обслуговування в мережу.

3 У представлений моделі відсутній показник якості обслуговування

навантаження, а це відразу переводить показник пропускної здатності в розряд

показника функціонуючого навантаження.

Тому, для адекватного подання процесів у реальній мережі, повинна

використатися модель, що містить у собі всі перераховані особливості. Рішення даної проблеми, можливо при використанні математичного апарата систем масового обслуговування.

Для системи масового обслуговування необхідно визначити показники якості обслуговування, які дозволяють судити про її придатність до виконання покладених функцій, і вибрати оптимальне значення параметрів системи. А саме, при рішенні завдання синтезу, необхідно визначити мінімальне число обслуговуючих приладів у гілках мережі (число логічних каналів у гілках, продуктивність гілок або необхідна сумарна швидкість передачі в гілках мережі) [15,33,41], що забезпечують обслуговування вступник у мережу навантаження із заданими показниками якості. Тобто реальна якість обслуговування в мережі перебуває в межах необхідних норм.

Для мереж, що обслуговують навантаження реального часу, як правило,

як модель використовуються СМО з явними втратами. У цьому випадку показником якості обслуговування може виступати величина  $q$ -імовірність

обслуговування, тобто ймовірність надання для обслуговування логічного

каналу з необхідною швидкістю передачі. На практиці, звичайно нормується й використовується зворотна величина  $p = 1 - q$ . Це ймовірність відмови в наданні

для обслуговування логічного каналу з швидкістю передачі. Або величину  $p = 1 - q$  називають просто ймовірністю втрат.

Відповідно до класифікації систем масового обслуговування (СМО) і відповідно до символіки по Кендалу [6,19], дана система буде мати вигляд:

$$(M/M/V/0)$$

де:

$M$  - експонентний розподіл між моментами надходження заявок;

$M$  - розподіл тривалості заняття приладів підлеглий експонентному закону;

$V$  - кількість обслуговуючих каналів у мережі;

$0$  - відсутність черги, тому що використовувана система із втратами.

Проведемо аналіз процесу функціонування дванадцяти вузлової мережі, структура якої представлена на рис. 1.5.

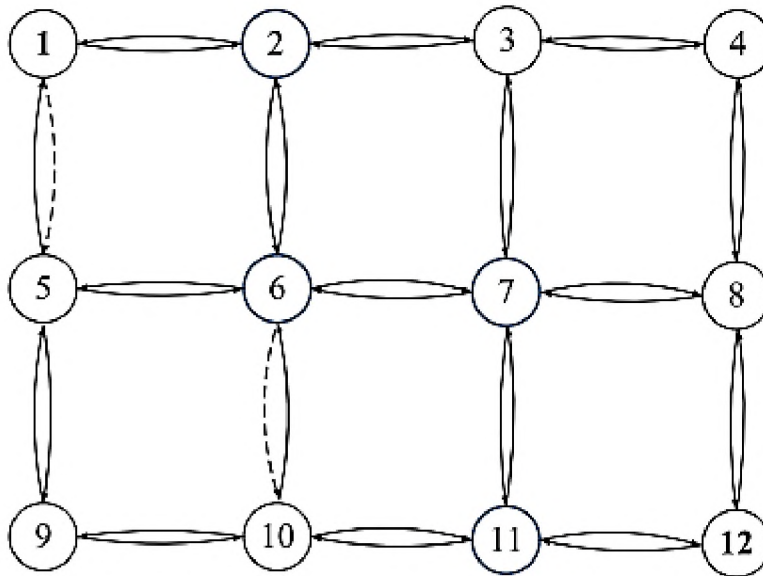


Рисунок 1.5 – Граф моделі ТКС

Зробимо перший етап формалізації опису мережі. Для цього гілки мережі представимо її у вигляді сукупності систем масового обслуговування. Тоді модель  $M/M/V/0$  даної мережі буде мати вигляд, представлений на рис. 1.6.

Розглянемо поведження даної моделі в умовах, що відбивають реальні умови експлуатації телекомунікаційних мереж.

Показник якості  $p = f(V, Z)$  має нелінійну характеристику зміни залежно

від параметрів  $V$  й  $Z$ . Крім того, зміна даного параметра хоча б в одній гілці мережі приводить до перерозподілу навантаження, практично, в 60 % напрямках зв'язку. І, отже, модель дуже чутлива до змін розглянутих показників і параметрів у будь-якій крапці мережі.

Для кожного напрямку зв'язку може бути складене розрахункове вираження визначення показника якості обслуговування. Якщо в напрямку

тільки один шлях, що має до гілок, то ймовірність втрат  $P_{ij}$  у такому напрямку

зв'язку визначається в такий спосіб:

$$P_{ij} \leq 1 - \prod_{n=1}^k (1 - p_{m_n}).$$

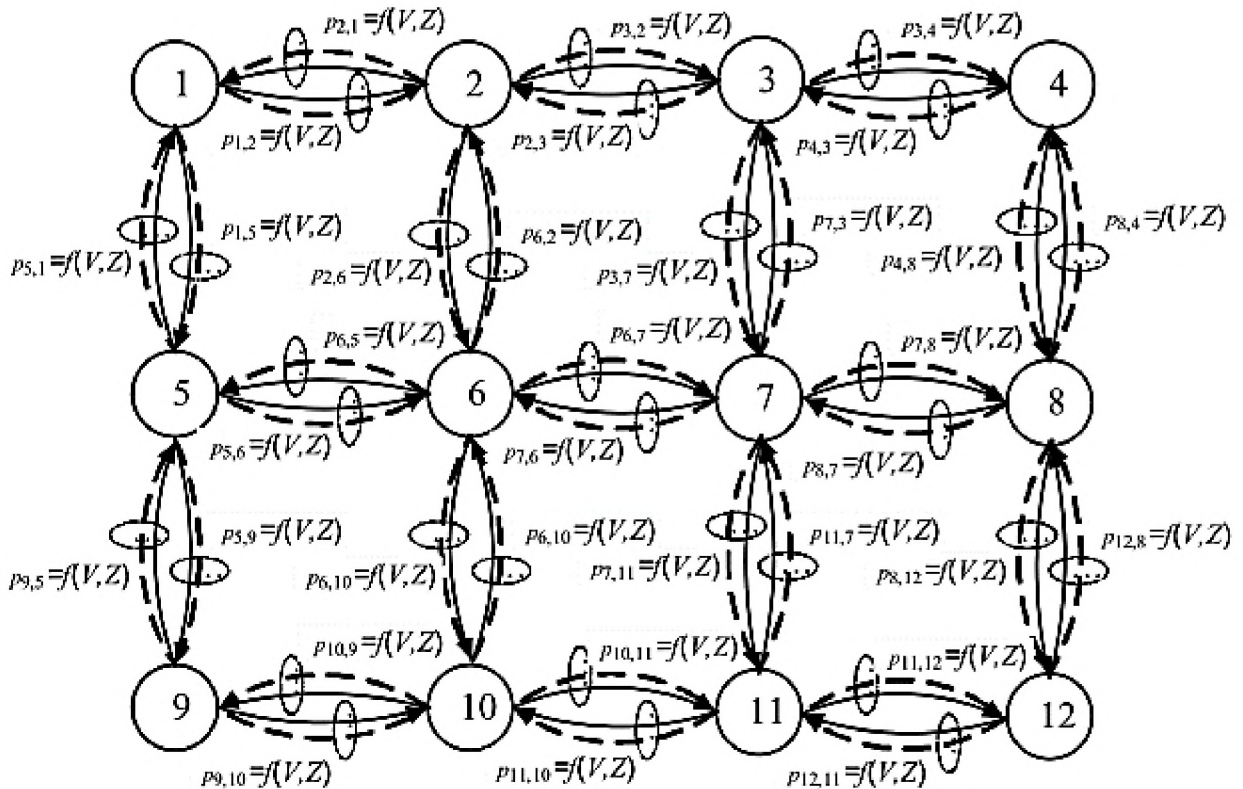


Рисунок 1.6 – Розподілення показників в мережі

Якщо в напрямку зв'язку є  $\chi$  незалежних шляхів, то показник якості

обслуговування  $P_{ij}$  дорівнює:

$$P_{ij} \leq \prod_{l=1}^{\chi} \left[ 1 - \prod_{n=1}^k (1 - p_{m_{nl}}) \right].$$

Слід зазначити, що телекомунікаційна мережа складається із сукупності

напрянків зв'язку. До кожного напрямку зв'язку можуть пред'являтися свої

специфічні вимоги по надійності функціонування, пропускній здатності і якості обслуговування. Тому процес визначення й оцінки відповідності основних показників функціонування мережі, таких як пропускна здатність, надійність, живучість, якість обслуговування виробляється в три етапи:

- 1 Визначення основних показників функціонування мережі окремо для кожного напрямку зв'язку.
- 2 Облік взаємного впливу напрямків зв'язку один на одного.
- 3 Загальний висновок про відповідність параметрів функціонування мережі заданим вимогам.

Як показують численні дослідження, аналіз процесу функціонування

доцільно починати з напрямків зв'язку, що мають найбільш тверді вимоги до показників функціонування. Крім того, телекомунікаційна мережа є багатофазної, багатолінійною, розімкнутої (заявки залишають систему після обслуговування) системою. Подальша деталізація моделі функціонування мережі, представленої на рис.1.6, з урахуванням багатофазності, багатолинейности й розімкнення досліджуваної системи, дозволяє перейти до моделі, представленої на рис. 1.7.

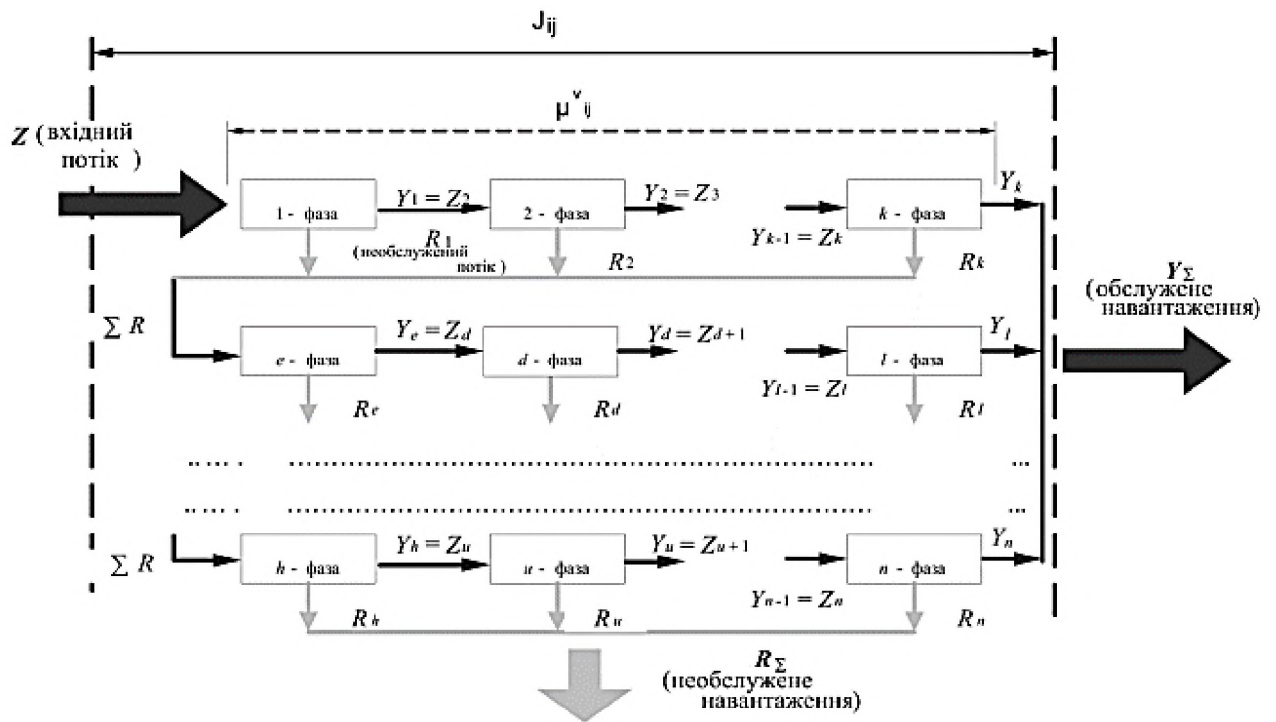
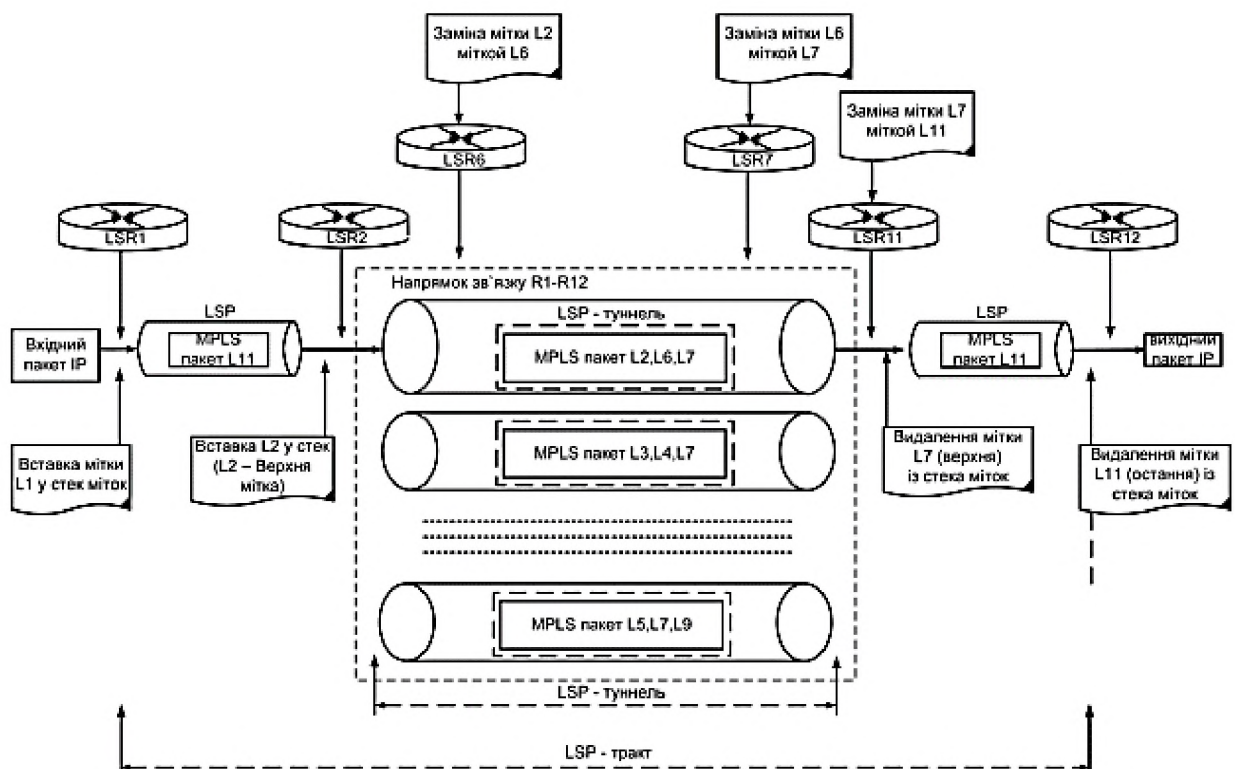


Рисунок 1.7 – Функціональна модель НЗ мережі MPLS

Варто мати через, що для тенульованої мережі MPLS кожна багатозафна горизонталь моделі, відбиває один тунель (один шлях передачі інформації) досліджуваного напрямку зв'язку (рис. 1.8).





## Рисунок 1.8 Організований тунель мережі MPLS

Якщо в напрямку зв'язку кілька шляхів передачі інформації, то кожен з них буде являти собою тунель на базі сукупності встаткування, аналогічно представленому на рис.1.8. Для того, щоб показники функціонування напрямків зв'язку були близькі до оптимальних значень, бажано використати незалежні шляхи.

Розглянемо процес функціонування напрямку зв'язку відповідно до моделі, представленої на рис. 1.7.

Кожна гілка мережі MPLS є многоканальною системою масового обслуговування, тому що складається із сукупності тунелів різних напрямків зв'язку. А кожен тунель складається із сукупності віртуальних каналів. Кожен шлях (тунель) у напрямку зв'язку складається з декількох гілок. Звідси й треба багатолінійність СМО. При цьому в кожному напрямку зв'язку з метою забезпечення високої надійності і якості обслуговування, як правило, передбачається кілька шляхів передачі інформації.

Порядок обслуговування вступників заявок наступний. Спочатку заявка надходить на обслуговування в шлях (тунель) першого вибору, що є найкоротшим і використовує мінімальний ресурс мережі. Заявки, що одержали відмову в обслуговуванні на шляху першого вибору, надходять на шлях другого вибору й т.д.

Слід зазначити що, такий же принцип функціонування властивий для всіх інших напрямків зв'язку. При цьому необхідно враховувати взаємозалежність різних напрямків, тому що вони можуть використати одні й тієї ж гілки в процесі обслуговування заявок по шляхах перших і наступних виборів.

### 1.2.3 Показники функціонування телекомунікаційних мереж

Для опису телекомунікаційних мереж можуть використатися три групи показників [22,47,60]:

- морфологічні;
- характеристики функціонування;
- економічні.

#### *Морфологічні характеристики мереж зв'язку.*

До морфологічного ставляться характеристики, що описують телекомунікаційні мережі з погляду їхнього складу, конфігурації й взаємозв'язку елементів. Такими характеристиками є: структура, топологія й стереологія [22,56]. Найчастіше при дослідженнях використовуються структурні характеристики мереж.

Під структурою мережі розуміється характеристика, що описує взаємозв'язок

комутаційних центрів, що забезпечують розподіл потоків інформації в напрямках зв'язку, незалежно від фактичного розташування елементів мережі на місцевості [29,35,41]. Звичайно на структурах мереж показуються тільки ті КЦ, які забезпечують оперативну комутацію. При створенні баз даних для обслуговування й експлуатації мереж, при проектуванні мереж, при рішенні специфічних завдань, пов'язаних з розгортанням і нарощуванням базових мереж, на структурах можуть бути показані КЦ із комутацією, які здійснюють виділення й розподіл каналів в інтересах більших груп користувачів або інших операторів зв'язку.

Структура телекомунікаційних мереж може бути задана числом комутаційних центрів  $N$ , кількістю гілок  $M$  и потужністю гілок  $V$ . Під потужністю гілок варто розуміти їхню продуктивність у ширині смуги пропускання, у числі фізичних або віртуальних каналів. Основними формами опису структури мереж зв'язку є графи, матриці й схеми взаємозв'язку [15,48,75].

Схема взаємозв'язку може мати вигляд, представлений на рис. 1.9.

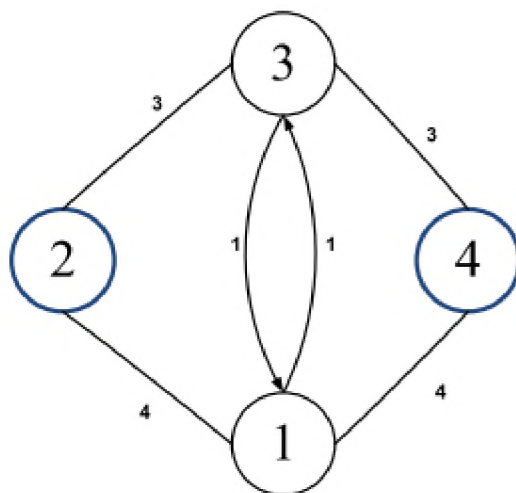


Рисунок 1.9 – Схема взаємозв'язку

Основні переваги такого подання структури:

- наочність:
- компактність зображення при відбитті всіх основних параметрів:
- при наявності в мережі однобічних каналів, гілки показуються на схемі зі стрілками.

У процесі різних досліджень структуру мереж зручно представляти у вигляді графа. Тоді як інструмент дослідження може бути використаний математичний апарат теорії графів.

Запис граф  $G(N, M)$  - це кінцева непуста безліч вершин  $N_i$  ребер  $M$ . При цьому  $N$  відповідає числу комутаційних центрів у мережі, а  $M$  - єднальної ці КЦ галузям. Граф називається позначеним, якщо його вершини й ребра мають деякі відмітні друг від друга напису.

Якщо існує ребро  $m_{ij}$ , то говорять що вершини  $n_i$  й  $n_j$  суміжні. Ребро  $ij$  є інцидентним для вершин  $n_i$  і  $n_j$ .

При наявності в графі орієнтованих ребер, позначених стрілками, граф називається орієнтованим.

Підграфом графа  $G(N, M)$  називається граф  $G_1(N_1, M_1)$ , для якого  $N_1 \subseteq N$ ,  $M_1 \subseteq M$ .

Та сама структура мережі може бути зображена різними ізоморфними графами. Дві графи називаються ізоморфними, якщо між їхніми безлічами вершин і ребер існує однозначна відповідність.

Важливими поняттями в мережах зв'язку є поняття LSPу (шляхи) і звязности графів.

LSPом у графі називається послідовність, що чергується, вершин і ребер. Ця послідовність починається й кінчається вершиною. При цьому кожне ребро послідовності інцидентно двом вершинам. Тому що будь-яке ребро графа позначається через вершини, що зв'язують їм,  $\mu = n_1 \cap n_2 \cap \dots \cap n_k$ , де  $n_k \in N$ . На рис. 1.10 одним зі шляхів між вершинами  $n_1$  й  $n_3$  є

$$\{n_1, n_2, n_3\} \in \mu_k. \quad (1.1)$$

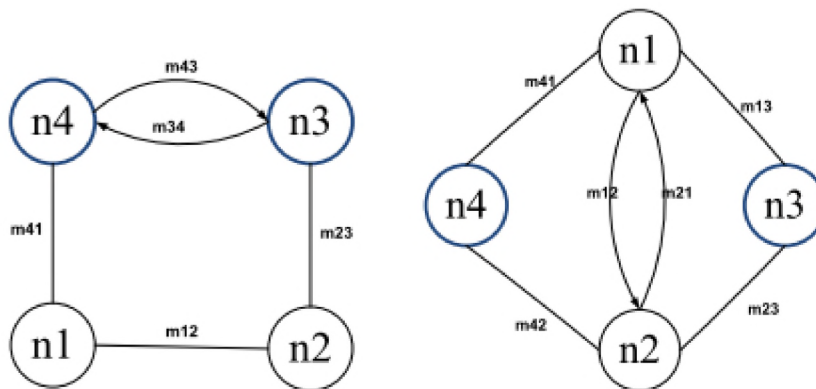


Рисунок 1.10 – Структура ізоморфних графів

Шляхи в графі можуть бути незалежними й залежними [81,133]. При наявності двох будь-яких шляхів 1 й 2, що належать одному напрямку зв'язку, безвідносно до їхньої взаємної залежності повинне виконуватися умова  $n_1(\mu_1) = n_1(\mu_2)$  и  $n_k(\mu_1) = n_k(\mu_2)$ .

Вважається, що шляхи 1 й 2 є незалежними, якщо  $n_i(\mu_1) \notin N(\mu_2)$ .  
 Тобто для незалежних шляхів перетинання складових їхніх підмножин  $N(\mu_1) \cap N(\mu_2) = \emptyset$ , а для залежних  $N(\mu_1) \cap N(\mu_2) = N(\mu_2) \cap N(\mu_1) \neq \emptyset$ .

Шлях називається простим ланцюгом, якщо всі його вершини різні.

Замкнений ланцюг називається циклом. Тоді  $\{n_1, n_2, n_3\} \in \mu$ , називається ланцюгом, а  $\{n_1, n_2, n_3, n_1\}$  - простим циклом.

Граф називається зв'язаним, якщо будь-яка пара його вершин з'єднана простим ланцюгом.

Довжиною шляху у графі називається число вхідних у нього ребер.

Довжина найкоротшого шляху між двома вершинами графа є мінімальну відстань між цими вершинами, виражена в числі ребер. Позначається  $d(i, j)$ .

Для графа, представленого на рис. 1.10 довжина найкоротшого шляху між вершинами  $n_1$  й  $n_3$  дорівнює  $d(1,3) = 2$ .

Діаметром графа  $D$  називається мінімальна відстань між найбільш вилученими вершинами:

$$D = \min_{i,j} \max(i, j)$$

Діаметр графа, представленого на рис. 1.10, дорівнює  $D=2$ .

З кожною вершиною графа зв'язане число - ступінь вершини, рівне числу інцидентних ребер  $\deg n_i$ :

$$\sum_{i=1}^M \deg n_i = 2N$$

При  $\deg n_i = 2N/M = a$  граф є однорідним ступеня  $a$ . Величина

$$\left[ \sum_{i=1}^M \text{deg } n_i / M \right] = a$$

називається середнім ступенем вершини графа, де  $[x]$  - ціла частина величини

х. Якщо  $\text{deg } n_i = 1$ , то вершина оконечная.

Будь-який граф може характеризуватися перетином. Перетин графа  $G(N, M)$  по вершинах  $n_i$  являє собою  $N(c) - N$  вершини, видалення яких приводить до утворення незв'язних підграфів  $G(H)$  і  $G(N - H - N(c))$ .

Максимальне число  $\Pi_{\max(i,j)}$  незалежних шляхів у напрямку зв'язку  $J_{ij} = J_{ji}$  визначається співвідношенням:

$$\Pi_{\max(i,j)} \leq N^{(c)}_{\min(i,j)}$$

де  $i \in G(H)$ ,

$j \in G(N - H - N^{(c)})$ .

Мінімальне число елементів  $\{n_k\}$ , видалення яких приводить до розриву связности графа  $G(N, M)$ , утворить його мінімальний перетин.

Сукупність ребер, видалення яких приводить до утворення двох незалежних підграфів  $G(H)$  і  $G(N - H - N(c))$ , називається реберним перетином.

Мінімальне число ребер, видалення яких порушує связность графа, називається мінімальним перетином по ребрах -  $N(c) \min$ . Як і при розгляді  $N(c)_{ij}$  перетин по ребрах прив'язують до відповідного напрямку  $J_{ij}$  зв'язку -  $N(c)_{ij}$ .

Подання структури у вигляді графа є зручним при моделюванні комбінаторних властивостей мереж зв'язку, при математичних перетвореннях з метою одержання яких або еквівалентних параметрів.

В аналітичних методах, застосовуваних для опису структур мереж зв'язку, зручно використати матричні форми [28,35,108] їхнього подання. Із цією метою можуть бути використані матриці связности  $\|A\|$ , потужностей гілок  $\|V\|$  й инциденций  $\|B\|$ . Матриці  $\|A\|$  й  $\|V\|$  мають розмірність  $N \times N$ :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{iN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{Nj} & \dots & a_{NN} \end{pmatrix}, V = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1N} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2j} & \dots & V_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{i1} & V_{i2} & \dots & V_{ij} & \dots & V_{iN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{N1} & V_{N2} & \dots & V_{Nj} & \dots & V_{NN} \end{pmatrix}.$$

Елемент матриці може приймати наступні значення:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если КЦ}_i \text{ и КЦ}_j \text{ соединены ветвью;} \\ 0, & \text{если КЦ}_i \text{ и КЦ}_j \text{ не соединены ветвью;} \end{cases}$$

Елемент  $v_{ij}$  представляет собой параметр мощности, равный количеству каналов в гілці  $m_{ij}$ .

Если  $ij=j_i$ , то матрицы могут быть записаны в треугольной форме:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1N} \\ & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2N} \\ & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & a_{ij} & \dots & a_{iN} \\ & & & & \dots & \dots \\ & & & & & a_{NN} \end{pmatrix}, V = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1N} \\ & V_{22} & \dots & V_{2j} & \dots & V_{2N} \\ & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & V_{ij} & \dots & V_{iN} \\ & & & & \dots & \dots \\ & & & & & V_{NN} \end{pmatrix}.$$

Матрицею инциденций, називається матриця розмірності  $N \times M$ , елементами якої є:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если гілка } t_{ij} \text{ інцидентна } n_i; \\ 0, & \text{если гілка } t_{ij} \text{ не інцидентна } n_i. \end{cases}$$

Між матрицями звязности й инцидентий того самого графа існує взаємно однозначна відповідність

$$A = B^T B - 2I,$$

где  $B^T$  – транспонированная матрица инцидентий;

$I$  – одинична матриця розміром  $M \times M$ .

Використовуючи математичний апарат теорії матриць можна досить

строго й повно досліджувати принципи побудови й можливості мереж зв'язку різного виду.

#### 1.2.4 Характеристики функціонування телекомунікаційних мереж

Характеристики функціонування описують ступінь відповідності телекомунікаційної мережі своєму цільовому призначенню. До основних характеристик даного типу ставляться [19,33,65,89]:

- пропускна здатність;
- живучість;
- функціонуюче навантаження;
- надійність функціонування;

Пропускна здатність телекомунікаційної мережі визначає обсяг навантаження, що може бути переданий від джерел до споживачів при



виконанні вимог до заданих показників якості обслуговування [45,46,106].

Таким чином, пропускна здатність повинна виражатися через два параметри: величину  $Y_i$  інтенсивності виконус навантаження, що, і задана якість обслуговування  $p_{ij}$  у кожному напрямку зв'язку.

Як уже було відзначено вище, телекомунікаційна мережа й складові її напрямку зв'язки є багатофазними багатолинейними системами масового

обслуговування. Тут інтенсивність виконаного навантаження  $Y_{ij}$  може бути

виражена через інтенсивність виконаного потоку вхідних заявок  $C_{ij}$  у кожному

напрямку зв'язку й середній час обслуговування  $t_c$  цих заявок, тобто  $Y_{ij} = C_{ij} t_c$

[8,110]. Якість обслуговування заявок обумовлюється прийнятим на мережі

способом обслуговування.

У телекомунікаційних мережах, що обслуговують навантаження реального часу (наприклад, мова) у більшості випадків приймається [2,24,29,108] спосіб обслуговування заявок із втратами, для якого показником

якості є величина  $p$  - імовірність відмови в обслуговуванні через відсутність можливості надання споживачеві ресурсу необхідного обсягу.

Якщо в напрямок зв'язку  $J_{ij}$  значення інтенсивності вступник навантаження дорівнює  $Z_{ij}$ , то пропускна здатність даного напрямку дорівнює

$$Y_{ij} (p_{ij}) = Z_{ij} (1-p_{ij}). \quad (1.2)$$

Пропускна здатність телекомунікаційної мережі оцінюється за результатами функціонування кожного напрямку зв'язку. Відповідно до визначення пропускної здатності, вона є характеристикою телекомунікаційної мережі, її напрямків і гілок зв'язку. При цьому параметри пропускної здатності не залежать від значень інтенсивності вступник навантаження  $Z_{ij}$ .

У завданнях оцінки параметрів телекомунікаційної мережі чисельне значення пропускної здатності  $Y_{ij}(p_{ij})$  може бути отримане з вираження [108,133]:

$$Y(P) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N Y_{ij}(p_{ij}), \quad (1.3)$$

где:  $N$  – число коммутационных центров в сети;

$Y_{ij}(p_{ij})$  – значение пропускной способности направления зв'язку  $J_{ij}$ .

У завданнях контролю за функціонуванням телекомунікаційної мережі оцінка значень параметрів цієї характеристики займає одне із провідних місць. При цьому можуть проводитися безпосередні виміри як величини  $Y_{ij}$ , так і величини  $p_{ij}$ . Як треба з визначення пропускної здатності і його вираження, що розкриває (1.3), основним елементом керованої мережі, по якому здійснюється оцінка параметрів розглянутої характеристики є напрямок зв'язку.

Гілки телекомунікаційних мереж, у більшості випадків, забезпечують

обслуговування навантаження різних напрямків зв'язку. При цьому, реальна, так називана функціонуюче навантаження мережі  $Y_{\phi}$ , перевищує (іноді істотно) пропускну здатність мережі. Відповідно до визначення [108,113], чисельне значення функціонуючого навантаження може бути розраховане в такий спосіб:

$$Y_{\phi} = \sum_{i=1}^M Y_i,$$

где:  $M$  – число гілок сети зв'язку;

$Y_i$  – интенсивность навантаження, исполняемая  $i$ -й гілкою сети.

Разом з тим, об'єктом контролю, як правило, є реальне навантаження

елементів мережі (функціонуюче навантаження) і (або) показники якості обслуговування заявок на цих елементах (гілках і комутаційних центрах). У зв'язку із цим, практично значимою завданням оцінки пропускної здатності напрямків зв'язку, є завдання перерахування величини реального навантаження в гілках мережі в значення пропускних здатностей напрямків зв'язку, що включають ці гілки. Одним з основних параметрів, що становлять напрямки зв'язку шляхів установлення з'єднань, є число вхідних у них транзитів  $b$  [66,113].

Нехай напрямок зв'язку  $J_{ij}$  складається з одного шляху встановлення

з'єднань  $ij$  і цей шлях між оконечними КЦ  $n_i^0$  й  $n_j^0$  не містить жодного

транзитного КЦ, тобто  $b=0$ . Тоді, мабуть, що пропускна здатність  $Y_{ij}(p_{ij})$  цього

напрямку зв'язку буде чисельно дорівнює навантаженню  $Y_{mj}$  гілки  $mij$  між розглянутими оконечними КЦ і в остаточному підсумку величині функціонуючого навантаження  $Y_{\phi}$ :

$$Y_{ij}(p_{ij}) = Y_{mj} = Y_{\phi}.$$

На шляху  $\mu_{ij} = \{n_i^0, n_1^T, n_j^0\}$ , содержащем один транзитный КЦ  $(n_1^T)$ ,  $b=1$ , а навантаження  $Y_{ij}(p_{ij})$  обумовлююча пропускну способность, фіксується дважды, на гілках  $m_{i1}$  и  $m_{1j}$ , тобто  $Y_\phi = 2Y_{ij}(p_{ij})$ .

На шляху  $\mu_{ij} = \{n_i^0, n_1^T, n_2^T, n_j^0\}$ , два транзитних КЦ,  $b = 2$ , а  $Y_\phi = 3Y_{ij}(p_{ij})$ .

На  $\mu_{ij}$  -  $b$  транзитних КЦ  $Y_\phi = (b+1)Y_{ij}(p_{ij})$ .

В НЗ, з двух незалежних шляхів встановлено з'єднань на шляху першого

вибору  $\mu(1)$  будет обслужена навантаження

$$Y_{ij}^{(1)}(p_{ij}) = Y_{ij}(p_{ij})[1-p(1)],$$

де:  $p(1)$  – втрати заявок на шляху  $\mu(1)$ .

При цьому

$$Y_\phi = (b^{(1)} + 1) Y_{ij}(p_{ij})[1-p(1)],$$

де:  $b^{(1)}$  - число транзитних КЦ на шляху  $\mu(1)$ .

На шляху другого вибору  $\mu(2)$ :

$$Y_{ij}^{(2)}(p_{ij}) = Y_{ij}(p_{ij})p(1) \text{ и } Y_\phi = (b^{(2)} + 1) Y_{ij}(p_{ij})p(1),$$

де:  $b$  - число транзитних КЦ на шляху  $\mu(2)$ .

Таким чином, для шляху  $k$ -го вибору

$$Y_{ij}^{(\mu)}(p_{ij}) = Y_{ij}(p_{ij}) \prod_{k=1}^{\mu-1} p(k) \text{ и } Y_\phi = (b^{(\mu)} + 1) Y_{ij}(p_{ij}) \prod_{k=1}^{\mu-1} p(k),$$

де:  $\mu$  – число шляхів встановлення з'єднань в НЗ;

$p(k)$  – потери заявок в  $k$ -м шляху.

Переходячи до середніх значень [65,105] числа транзитів, що доводяться

на одну заявку (одне передане повідомлення), для мережі в цілому можна

записати

$$Y_{\phi} = (\bar{b} + 1)Y(p).$$

Дане співвідношення пропускної здатності й реального функціонуючого навантаження мережі зв'язку дозволяє здійснювати контроль за станом окремих елементів мережі й на основі результатів контролю робити оцінку відповідності реальної пропускної здатності напрямків зв'язку їхнім нормованим значенням.

Важливою техніко-експлуатаційною характеристикою мережі зв'язку є надійність функціонування. Як показник надійності функціонування мережі приймається [21,51,55] імовірність  $W(t)$  безвідмовного обслуговування вступників у мережу заявок. Для гілки мережі зв'язку, імовірність безвідмовного обслуговування може бути визначена як

$$W_m(t) = R_m(1 - p_m), \quad (1.4)$$

где:  $R_m$  – ймовірність безвідмовної роботи;

$p_m$  - потери заявок на данной гілці.

Дана характеристика не є основною для проведених у даній роботі досліджень. Тому детально розглядатися не буде. Однак, слід зазначити, що в даній характеристиці об'єднані два показники - імовірність відмови в обслуговуванні через технічну надійність елемента (наприклад, гілки) і ймовірність відмови в обслуговуванні через відсутність вільного каналного ресурсу в тій же гілці.

Функціонування телекомунікаційної мережі можливо й в умовах зовнішніх агресивних впливів. До таких впливів можуть бути віднесені різного роду стихійні природні явища (землетрусу, повені, селеві потоки й т.п.), помилкові дії обслуговуючого персоналу й цілеспрямовані зловмисні дії (диверсії, вплив різних видів зброї, прицільні перешкоди й.т.буд.).

Характеристикою, що розкриває властивості телекомунікаційної мережі виконувати варті перед нею завдання в умовах агресивних зовнішніх

впливів, хоча б і з погіршенням якості обслуговування вступників у неї заявок, називається живучість [22,48].

Виділяють два види живучості мережі зв'язку [20,22] - структурну й функціональну. Перший вид визначає верхню (теоретично досяжну) границю живучості. Уважають, що мережа має структурну живучість, якщо можна вважати (з певною ймовірністю), що граф мережі, що описує її структуру, залишиться зв'язковим після впливу на цю мережу певних агресивних зовнішніх факторів, тобто якщо в зазначених умовах у кожному напрямку зв'язку зберігається (з певною ймовірністю) хоча б один шлях установлення з'єднань, що забезпечує передачу повідомлень між кінцевими КЦ. Зі шляху в розглянутому випадку здійснюється за структурою мережі. Це завдання можна вважати тотожною відомою з теорії графів [19,38,49] завданням зі шляхів на графі.

У реальній мережі не кожен шлях може бути використаний для передачі повідомлень. Це обумовлюється обмеженнями, що накладають функціональними можливостями використовуваних засобів зв'язку.

Такими обмеженнями можуть із використання детермінованого процесу пошуку шляхів на комутаційних з (як кінцевих, так і транзитних), а також гранично припустиме число переприйомів, установлене для даного типу систем передачі. Властивість телекомунікаційної мережі з передачу повідомлень у напрямках зв'язку при виході з ладу в результаті зовнішніх впливів її елементів й (або) ділянок, з урахуванням функціональних можливостей устаткування називається функціональною живучістю.

За показник кількісної оцінки живучості приймається ймовірність виживання (збереження связности) напрямків зв'язку. Для оцінки структурної живучості - це  $W(G)$ , для оцінки функціональної живучості - це  $W_{ij}(F)$ .

Живучість  $W_{ij}(F)$  будь-якого шляху встановлення з'єднань, як сукупності послідовно включених його елементів (КЦ, гілок), визначається добутком імовірностей виживання кожного із цих елементів:

$$W_{ij}^{\mu}(F) = \prod_{k=1}^n W_k \prod_{l=1}^L W_l, \quad (1.5)$$

де:  $n$  - число КЦ в шляху  $\mu$ ;

$W_k$  - ймовірність виживання  $k$ -го КЦ в заданих умовах;

$L$  - число гілок в шляху  $\mu$ ;

$W_1$  - ймовірність виживання 1-й гілці в заданих умовах.

### 1.3 Постановка задачі

Мета дипломної роботи: розробка метода оцінки пропускної спроможності мережі MPLS, що тунелює, при обслуговуванні навантаження реального часу.

Звідси випливають наступні основні задачі дослідження:

- 1 Аналіз стану та перспектив розвитку технологій сучасних телекомунікаційних мереж.
2. Аналіз існуючих методів оцінки пропускної здатності телекомунікаційних мереж.
3. Розробка моделі функціонування тунельованої мережі MPLS в процесі обслуговування навантаження реального часу.
4. Розробка методу розрахунку обчислення середнього часу перебування пакета в тунелі з  $N$  вузлів.

## Висновки

1 Головна особливість технології MPLS полягає у відділенні процесу

комутації пакету від аналізу IP-адреса в його назві (додавання тегів), яке

відкриває ряд можливостей при яких IP-пакети комутуються, а не LSPизуються, що різко збільшує швидкість їх передачі.

2 Дослідження таких складних систем, як мережі MPLS, вимагає формалізованого опису процесів, що протікають у них, і розробки математичних моделей, що дозволяють відбити основні властивості й показники її функціонування мережі, одержати їхні значення в необхідних режимах експлуатації.

3 Проаналізовані зміни поведінки моделей імітаційного моделювання при застосуванні протоколів розподілу міток LDP і RSVP на основі розрахунків основних показників мережі транспортного ядра NGN на базі узагальненої моделі функціонування телекомунікаційної системи.

4 Розроблено модель функціонування тунельованої мережі MPLS у вигляді багатофазної, багатолинейной, розімкнутої системи. Показано, що загальний висновок про відповідність параметрів функціонування мережі заданим вимогам можна дати лише після визначення основних показників

функціонування кожного напрямку зв'язку й оцінки взаємного впливу напрямків зв'язку один на одного, що ускладнює процес дослідження.



5 Проаналізовано основні характеристики телекомунікаційних мереж, що дозволяють кількісно оцінити ступінь їхньої відповідності своєму цільовому призначенню.

## 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1 Обґрунтування використаної моделі

Оператори і провайдери телекомунікаційних систем намагаються знайти способи збільшення рентабельності існуючих інфраструктур. Про що свідчать публікації і рішення пропоновані на конференціях присвячених питанням MPLS. Але пропоновані рішення досить складні в реалізації, потребують значних матеріальних вкладень в мережу, іноді навіть значні модернізації, тому питання підвищення рентабельності мереж MPLS, – самих масових первинних мереж в світі, на даний час, залишається відкритим. Поставлена задача ускладнюється тим, що в мережах MPLS застосовуються підходи інжинірингу трафіку, методи їх покращення пропонують Гольдштейн [67], також різноманітні рішення розробляються компаніями-вендорами обладнання [88, 124]. Проте суттєвим недоліком цих пропозицій є зростаюча складність апаратури, і як наслідок значна вартість і складність реалізації. Саме тому метою даної роботи є створення простого алгоритму, який в доповнення до рішень трафік інжинірингу дозволить операторам оцінити ефективність використання мережі, і як наслідок збільшити чистий прибуток, за рахунок використання оптимальних протоколів. Технологія MPLS дозволяє підвищити швидкість обробки пакетів у порівнянні з технологією IP за рахунок заміни процесу маршрутизації пакетів на процес комутації при проходженні даних через магістральну мережу провайдера.

Це досягається створенням LSP-тунелів між граничними маршрутизаторами магістральної мережі, де процес обробки пакетів і аналіз адресної інформації здійснюється з використанням спеціальних міток [69]. Довжина мітки в технології MPLS менше довжини адресної частини пакета IP. Крім того, процес звертання до пулу з мітками

вимагає значно менше обчислювальних і часових затрат, чим розв'язок завдань розподілу інформації на основі матриці маршрутів.

Якщо не враховувати додаткові часові витрати на формування тунелів, то технологія MPLS завжди буде переважати технологію IP з погляду часу затримки пакетів у тракті передачі. Однак, у реальних умовах експлуатації, перш ніж приступитися до процесу обміну інформацією між джерелами й споживачами інформації, необхідно сформувати тунель, що відповідає заданим вимогам по якості обслуговування.

Це вимагає певних обчислювальних і часових затрат. У загальному випадку, по сформованому тунелю може бути передане не одне, а кілька повідомлень. Використання одного тунелю різними видами повідомлень можливо в тому випадку, якщо в них збігаються вимоги до всіх показників якості обслуговування, крім того тунелю дозволяють краще захищати інформацію від зломисників [35]. Руйнування тунелів відбувається в тому випадку, якщо на протязі певного часу відсутні пакети з необхідною міткою або надходить відповідний сигнал на звільнення ресурсів, задіяних даним тунелем.

У роботі пропонується розглянути „найгірший” для MPLS випадок, при якому обміну інформацією між кінцевими пунктами завжди передують процес створення тунелю. А по закінченню інформаційного обміну, тунель завжди підлягає руйнуванню (рекомендації IETF по MPLS [94-115]).

Порівняльну оцінку ефективності запропонованої методики для мережі MPLS пропонується провести за сумарним часом обробки пакетів на всіх вузлах тракту передачі від відправника до одержувача. У якості критерію переваги пропонується використовувати відносне значення відхилення ( $\Delta t$ ) доставки повідомлення в одній і тій же мережі MPLS, яка розрахована на основі представленого методу а також методом запропонованим Гольдштейном [30].

У процесі розв'язку завдання передбачається використовувати ряд допущень:

- продуктивність вузлів і ліній на всіх ділянках мережі однакова й не залежить від часу;
- довжина пакета не залежить від типу й виду переданої інформації і є величиною постійної;
- не залежно від технології, що використовується, пакети одного повідомлення передаються по шляхах, що мають однакову довжину й параметри обслуговування;

При проведенні розрахунків для реальних телекомунікаційних мереж, необхідно здійснити прив'язку до структури мережі, урахувати конкретні характеристики вузлів і ліній зв'язку, а так само зробити попередній розрахунки завантаження кожного вузла з врахуванням більш складних, але більш близьких до реальних потоків навантаження.

Для більшої наочності уточнимо алгоритми роботи IP і MPLS на прикладі мережі, наведеної на рис. 2.1[32]:

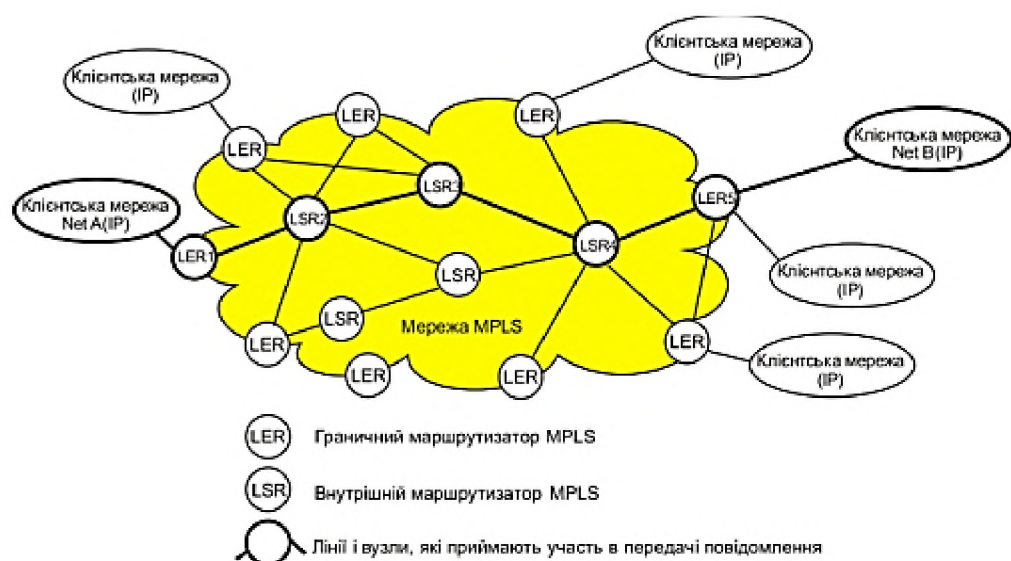


Рисунок 2.1 – Приклад MPLS мережі

## 2.2 Обслуговування заявок по TE-тунелям

Процес передачі інформації при використанні технології MPLS характерний тим, що обслуговування кожної заявки починається з формування тунелю.

При цьому, якщо тунель уже існує, то проводиться корекція його параметрів з метою забезпечення заданої якості обслуговування. При цьому,

може відбутися відмова у встановленні тунелю, а відповідно й обслуговування, якщо користувач не має достатніх прав або відсутні ресурси в необхідному обсязі. Формування тунелю проводиться в три етапи:

1) на основі стандартних протоколів маршрутизації, в маршрутизаторах будується матриця маршрутів;

2) у необхідному напрямку зв'язку створюється звичайний LSP-тунель без врахування обмежень на показники якості обслуговування;

3) на основі LSP-тунелю (розподіл міток по протоколу LDP), створюється RSVP-TE-Тунель, який закріплює необхідний мережний ресурс, що забезпечує задані вимоги по якості обслуговування. Тунель розформовується по команді відправника або після закінчення певного часу простою.

**1. Етап.** Основним завданням даного етапу є формування матриць маршрутів на основі стандартних протоколів маршрутизації OSPF; IS-IS; BGP. Сформовані на основі одного із протоколів матриці маршрутів надалі є вихідними даними для формування тунелів.

**2. Етап.** На цьому етапі включається спеціально розроблений для технології MPLS протокол розподілу міток LDP ( Label Distribution

Protocol). Даний протокол забезпечує поширення атрибутів ресурсів мережі й формує LSP (Label Switching Path) тунелі, які, у загальному випадку, можуть не забезпечувати задану якість обслуговування. Розподіл міток проводиться від одержувача до відправника після надходження запиту. LER5 знає (має маршрут) про підключену безпосередньо до нього мережу NET B. LER 5 довільно призначає для мережі NET B вхідну мітку LABEL = X, наприклад, і прописує це у свою LFIB (таблицю маршрутизації по мітках), рис. 2.2 а).

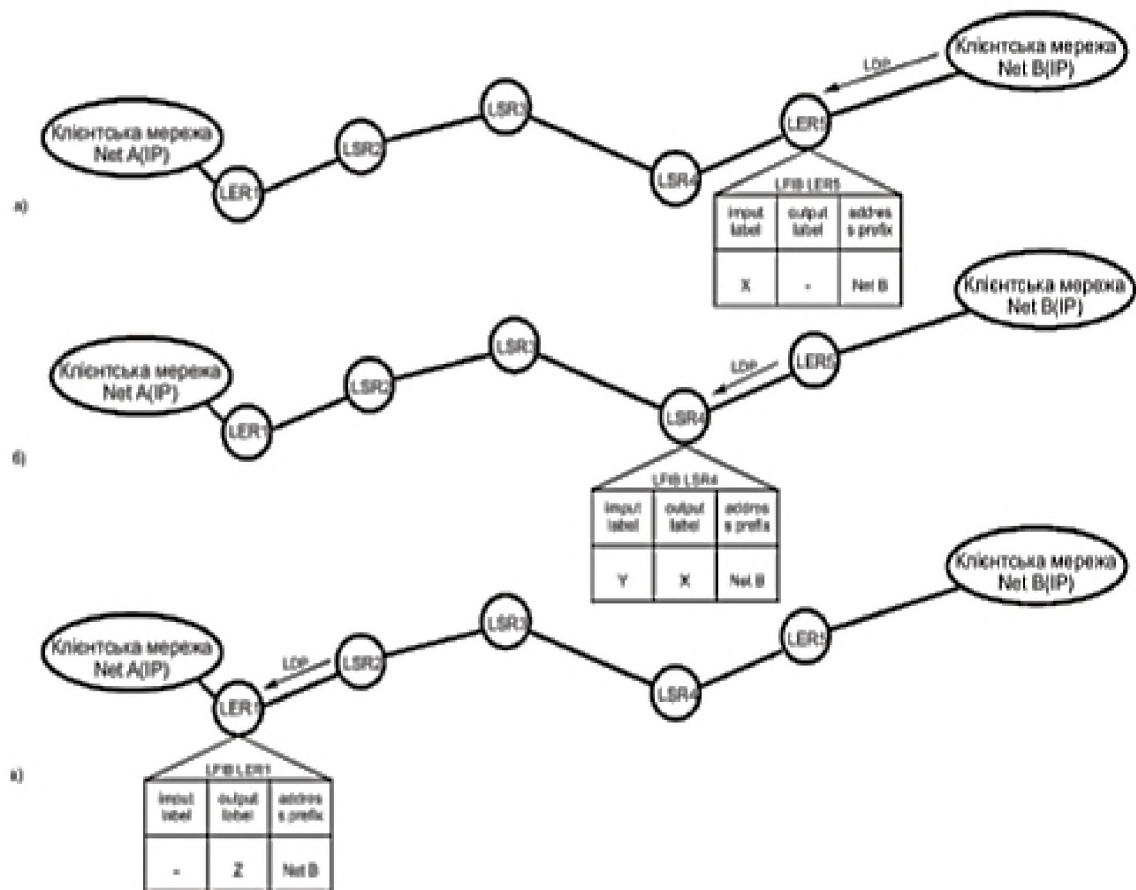


Рисунок 2.2 – Процес розподілу міток LDP

Процес формування LSP тунелю з вказанням часу виконання кожної операції представлений на рис. 2.3.

При проведенні аналізу будуть використовуватися наступні позначення:

$t_{1,2}$ ,  $t_{3,2}$  – час передачі запиту Label Request між вузлами (LSR, LER).

Залежить від швидкодії модуляторів/демодуляторів, фізичного носія, довжини шляху, і т.д.

$t_{др4}$  – час на обробку передачі пакета в маршрутизаторі в дейтаграмному режимі

$t_{обр4}$  – час аналізу й заміни мітки в маршрутизаторі, який приймемо

рівним  $t_{др4}$ .

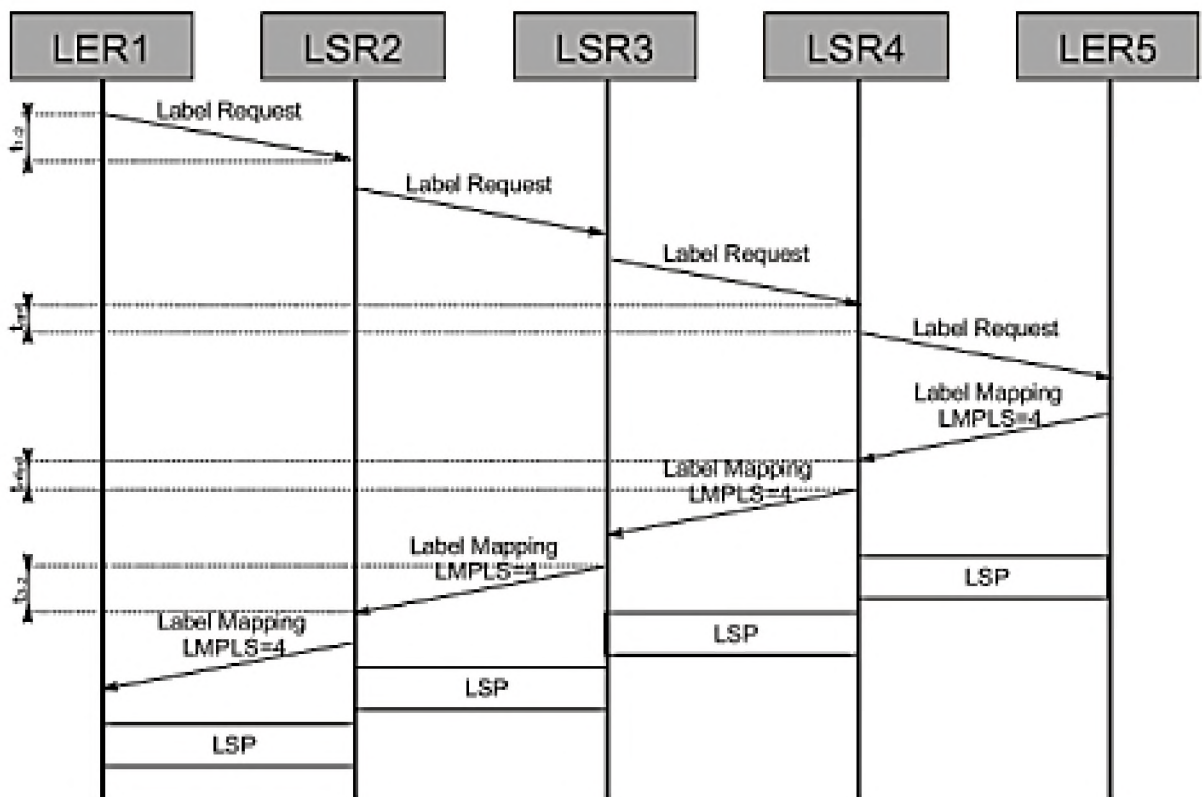


Рисунок 2.3 – Процес формування LSP тунелю

Тоді загальний час встановлення LSP- тунелю буде рівний:

$$t_{LSP}(N) = 2 \cdot \sum_{i=1}^{N-1} t_{i,i+1} + \sum_{i=1}^{N-1} t_{\partial pi} + \sum_{i=2}^N t_{\partial \bar{p}i} \quad (2.1)$$

де: N – кількість вузлів в LSP-тунелі.

Час передачі в двох напрямках ( $t_{i,i+1}$  та  $t_{i+1,i}$ ) практично однаковий, тому що довжина повідомлення не змінюється = 32\*5 біт [16].

Для нашого прикладу:

$$t_{LSP}(5) = 2 \cdot (t_{1,2} + t_{2,3} + t_{3,4} + t_{4,5}) + (t_{\partial p1} + t_{\partial p2} + t_{\partial p3} + t_{\partial p4}) + (t_{\partial \bar{p}5} + t_{\partial \bar{p}4} + t_{\partial \bar{p}3} + t_{\partial \bar{p}2}) \quad (2.2)$$

де  $t_{i,i+1}$  дорівнює відношенню довжини повідомлення до пропускної здатності лінії.

**Етап 3.** Формування RSVP-TE тунелю. На основі LSP-тунелю, створюється RSVP-TE-тунель. На даному етапі проводиться закріплення необхідного мережного ресурсу по всьому шляхову проходження пакетів у пункт призначення з урахуванням заданих вимог до якості обслуговування.

Для визначеності аналізу приймемо, що шлях проходження пакетів задається в явному вигляді. Це дозволяє робити автоматичну ремаршрутизацію в обхід аварійних ділянок, перевантажених областей і „вузьких” місць мережі. Розподіл міток буде здійснюватися від одержувача до відправника повідомлення. Процес розподілу міток представлений на рис. 2.4.



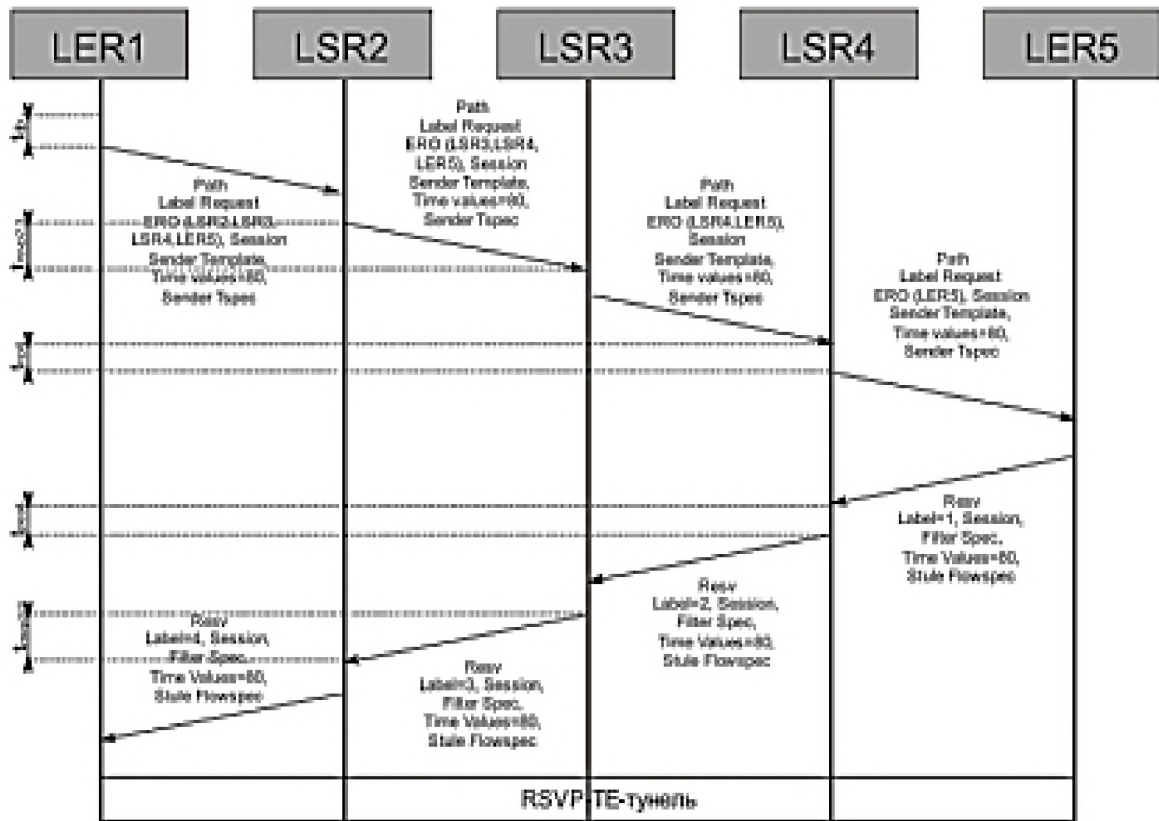


Рисунок 5.4 – Процес формування RSVP-TE тунелю

Будемо використовувати наступні позначення:

$t_{rsvp2,3}$ ,  $t_{rsvp3,2}$  – час передачі запиту протоколу RSVP між 2 та 3 вузлом, дорівнює відношенню довжини повідомлення до пропускної здатності лінії.

$t_{\phi}$  – час, необхідний для формування запиту Path, списку явно заданих маршрутизаторів ERO (фіксований шлях з маршрутизаторів).

$t_{пр4}$  – час на просування Path, модернізацію ERO (поля, яке містить явний маршрут).

$t_{рез4}$  – час який витрачається на аналіз прав на резервування й резервування ресурсів.

Тоді загальний час встановлення тунелю RSVP-TE буде рівний:

$$t_{RSVP-TE}(N) = t_{\phi} + \sum_{i=1}^{N-1} t_{rsvp,i,i+1} + \sum_{i=2}^N t_{rsvp,i,i-1} + \sum_{i=2}^N t_{pezi} + \sum_{i=2}^{N-1} t_{npi} \quad (2.3)$$

Для нашого прикладу:

$$t_{RSVP-TE}(5) = t_{\phi} + (t_{rsvp1,2} + t_{rsvp2,3} + t_{rsvp3,4} + t_{rsvp4,5}) + (t_{rsvp5,4} + t_{rsvp4,3} + t_{rsvp3,2} + t_{rsvp2,1}) + (t_{np2} + t_{np3} + t_{np4}) + (t_{pez5} + t_{pez4} + t_{pez3} + t_{pez2}) \quad (2.4)$$

Врахування одночасної обробки пакетів одного повідомлення в гілках мережі враховується одночасність обробки пакетів, які рухаються один за одним, без затримок.

Представимо ланцюг з 5 вузлів. Пакети входять в 1-й вузол і виходять із останнього (ланцюг – транзитний). Пакети одного потоку рухаються один за одним без розривів (розкиду в часі). Прийmemo, у гілках мережі час передачі пакетів рівний нулю, а виникаючу при передачі затримку перерахуємо на маршрутизатори. Позначимо величину затримки на одному маршрутизаторі рівною  $t_1$ .

Час затримки одного пакета, за умови що в шляху передачі інформації 5 транзитних вузлів, визначається в такий спосіб.

Для одного пакета час затримки рівний  $T_1 = 5t_1 = Nt_1$  (для  $n$  вузлів в ланцюгу). Для двох пакетів час затримки рівний  $T_2 = 5t_1 + t_1 = (N+1)t_1$  (для

$n$  вузлів в ланцюгу). Для трьох пакетів час затримки рівний  $T_3 = 5t_1 + 2t_1 = (N+2)t_1$  (для  $n$  вузлів в ланцюгу). Тоді, узагальнимо: для  $K$  пакетів час затримки рівний  $T_K = Nt_1 + (K-1)t_1$ , (де  $N$  кількість вузлів в ланцюгу),  $Nt_1$  -

час необхідний для передачі одного пакета по ланцюгу із  $N$  вузлів.

Оцінка часу доставки в MPLS-мережі К пакетів при використанні

протоколу IP по RSVP-TE тунелю, стиль FF. Загальний час доставки К пакетів в MPLS-Мережі при використанні RSVP-TE тунелю й стилю FF дорівнює сумі часів встановлення тунелю LSP, на його основі тунелю RSVP, передачі пакетів.

$$t_{Kп-м}(N, K, p) = t_{LSP}(N) + t_{RSVP-TE}(N) + \chi_N(p) \cdot \left( \sum_{i=1}^{N-1} t_{mpls,i,i+1} + \sum_{i=2}^N t_{3mi} + (K-1) \cdot t_{3m} \right) \quad (2.5)$$

де  $(K - 1) t_{3m}$  – компонент, який ураховує одночасне обслуговування пакетів на різних ділянках мережі.

Для нашого прикладу:

$$t_{Kп-м}(5, K) = t_{LSP}(5) + t_{RSVP-TE}(5) + (t_{mpls,1,2} + t_{mpls,2,3} + t_{mpls,3,4} + t_{mpls,4,5}) + (t_{3m,2} + t_{3m,3} + t_{3m,4} + t_{3m,5} + t_{FEC}) + (K-1) \left( \sum_{i=1}^4 t_{3mi} + \alpha t_{FEC} \right) / 5, \quad (2.6)$$

### 2.3 Врахування навантаження в мережі

У зв'язку з тим, що процес навантаження в мережі підкоряється випадковому закону, то в якійсь момент часу ресурс мережі простоює, а в якійсь момент часу на маршрутизаторах виникають черги. Це приводить до появи додаткової складової часу затримки. Для спрощення розрахунків припустимо що має місце аналітична модель системи масового обслуговування типу M/M/1. Кожний маршрутизатор можна описати за допомогою вхідного  $\lambda$  і вихідного  $\mu$  потоків. Відповідно при  $\mu < \lambda$  виникають черги. Завантаження вузла дорівнює відношенню  $\mu/\lambda = \rho$ . Функція  $\chi(\rho)$  – це функція, яка враховує величину завантаження вузлів. Її зміст полягає в тому що при завантаженні мережі (вузла) рівному  $\rho$ , час передачі пакета збільшується в  $\chi(\rho)$  раз. Найпростіший її вид [16]  $\chi(\rho) = 1/(1-\rho)$ , де  $\rho$  – завантаження маршрутизатора (лінії), рис. 2.5.

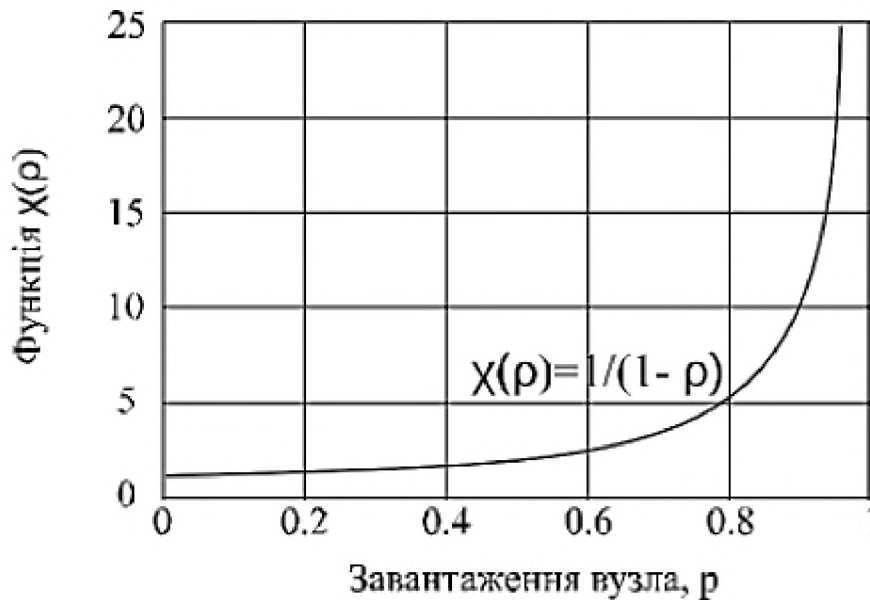


Рисунок 2.5 – Графік функції  $\chi(\rho)=1/(1-\rho)$

Для нашого прикладу:

$$\begin{aligned}
 t_{Kn-m}(5, K, \rho) = & t_{LSP}(5) + t_{RSVP-TE}(5) + \chi(\rho)_{mpls1,2} t_{mpls1,2} + \chi(\rho)_{mpls2,3} t_{mpls2,3} + \\
 & + \chi(\rho)_{mpls3,4} t_{mpls3,4} + \chi(\rho)_{mpls4,5} t_{mpls4,5} + (\chi(\rho)_{3M2} t_{3M2} + \chi(\rho)_{3M3} t_{3M3} + \\
 & + \chi(\rho)_{3M4} t_{3M4} + \chi(\rho)_{3M5} t_{3M5}) + (K-1) \left( \sum_{i=1}^5 \chi(\rho)_{3Mi} \right) / 5
 \end{aligned} \quad (2.7)$$

де  $\left( \sum_{i=1}^5 \chi(\rho)_{3Mi} \right) / 5$  - усереднений показник  $\chi(\rho)_{3M}$

$$t_{Kn-m}(N, K, \rho) = t_{LSP}(N) + t_{RSVP-TE}(N) + \chi_N(\rho) \cdot \left( \sum_{i=1}^{N-1} t_{mpls_{i,i+1}} + \sum_{i=2}^N t_{3Mi} + (K-1) \cdot t_{3M} \right) \quad (2.8)$$

Аналітичний опис процесів функціонування телекомунікаційних мереж нерідко призводить до досить складних математичних виразів. Тому, як правило, використовуються різного роду обмеження, що дозволяють отримати наближене рішення різного ступеня точності. Так, в роботі для вирішення задачі пропонується розв'язок системи нерівності на основі запропонованих методів. Для кожного НЗ пропонується розрахувати час

перебування пакету в мережі (2.7), як система значень для нерівності:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{ij} = \prod_{i=1}^{\nu} \left[ 1 - \prod_{j=1}^{n_{ij}} (1 - p_{ij}) \right], \\ P_{kl} = \prod_{k=1}^{\nu} \left[ 1 - \prod_{l=1}^{n_{kl}} (1 - p_{kl}) \right], \\ \dots, \\ P_{m\ell} = \prod_{m=1}^{\nu} \left[ 1 - \prod_{\ell=1}^{n_{m\ell}} (1 - p_{m\ell}) \right]. \end{array} \right. \quad (2.9)$$

де  $\nu$  - число незалежних шляхів в напрямку зв'язку;

$n_{ij}$  - число гілок в  $\nu$ -м шляху встановлення з'єднання;

$p_{ij}, p_{kl}, \dots, p_{m\ell}$  - допустима ймовірність втрат на гілках;

$P_{ij}, P_{kl}, \dots, P_{m\ell}$  - допустимі величини втрат в напрямках зв'язку.

Число рівнянь системи визначається числом інформаційних напрямків у мережі зв'язку.

Отримані значення зображені на рис. 2.6-2.8.

Теоретична база для аналізу мереж передачі інформації була запропонована в роботах Клейнрока і Гольдштейна. У роботах Клейнрока

отримані аналітичні співвідношення (як рішення задачі з монографії - отримано Гольдштейном) для мереж передачі даних, що працюють в дейтаграмному режимі. У роботі Гольдштейна [30] була отримано аналітичне співвідношення для тунелюватись мережі MPLS, при обслуговуванні найпростішого потоку і використанні мат.ап. Ерланга.

У роботі Гольдштейна [32] представлений методу аналізу ефективності організації LSP тунелю в MPLS мережі на підставі показника часу перебуваючи пакета. Представлення MPLS-тунелю у вигляді системи масового обслуговування з послідовними чергами дозволяє

використовувати формулу для моделі М/М/т обчислення середнього часу перебування пакета в тунелі з N вузлів (рис. 2.6-2.8): [1]

$$T_{TUN}(N, \rho) = \ln \left[ (N-2)! \left( \frac{\rho}{1-\rho} \right)^N \right] + N(1+\gamma), \quad (5.9)$$

де:  $N > 2$ ,  $\gamma$  – постійна Ейлера,  $\rho$  - коефіцієнт завантаженості;

$\mu/\lambda = \rho$  (завантаження маршрутизатора);

$\lambda$  - вхідний потік;

$\mu$  - вихідний потік.

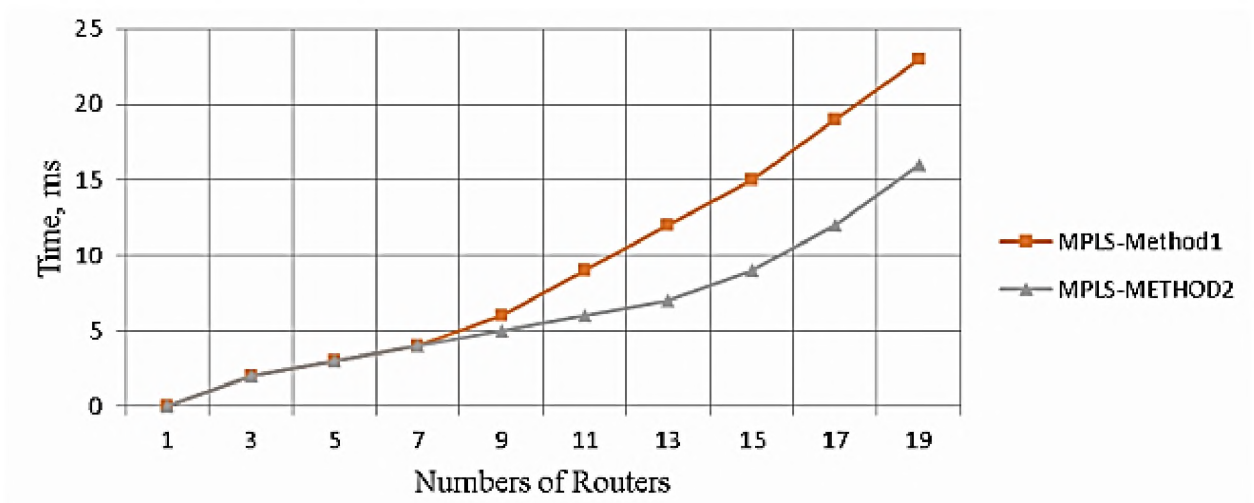


Рисунок 2.6 – Графік розрахунків при  $\rho = 0,75$

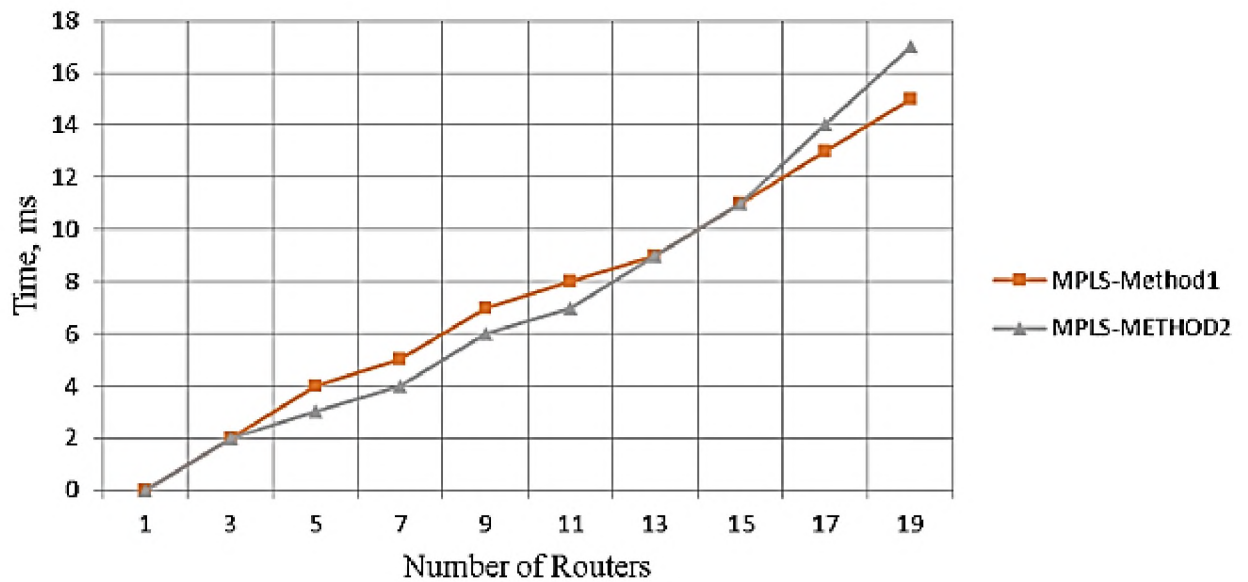


Рисунок 2.7 – Графік розрахунків при  $p = 0,8$

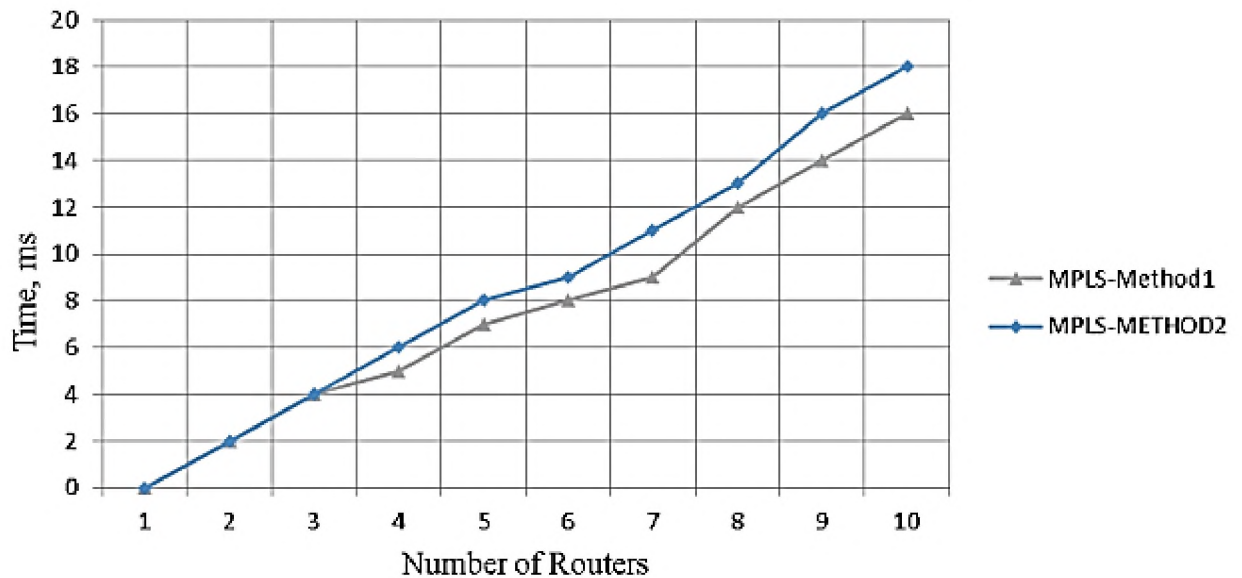


Рисунок 2.8 – Графік розрахунків при  $p = 0,9$

### Висновки

1 При застосуванні на MPLS-мережі LSP-тунелю виділяється гарантована смуга пропускання, завдяки чому відсутні втрати пакетів, але необумовлена послідовність обробки пакетів.

2 При застосуванні на MPLS-мережі окрім резервування смуги пропускання є можливість задати пріоритетність обробки пакетів маршрутизатором.

3 На практиці, VoIP-пакети оброблялись в першу чергу, таким чином зменшивши час їхнього перебування у буферах маршрутизаторів по шляху слідування.

4 Пропонований метод дослідження пропускної можливості мережі MPLS, що тунелює, при обслуговуванні навантаження реального часу дає близькі результати в порівнянні з відомим методом, однак у зв'язку з достатньою простотою розрахунків його часові витрати приблизно на 30% менше.



### 3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В в дипломній роботі розроблена модель функціонування тенульованної мережі MPLS. У економічному розділі розраховуються одноразові капітальні витрати на розробку цієї моделі.

#### 3.1 Визначення трудомісткості розробки моделі

Трудомісткість створення моделі визначається тривалістю кожної робочої операції, починаючи зі складання технічного завдання й закінчуючи оформленням документації (за умови роботи одного проектувальника):

$$t = tmz + tv + ta + tnp + tonp + t\delta \text{ [год]}. \quad (3.1)$$

де  $tmz$  – тривалість складання технічного завдання на впровадження методу;

$tv$  – тривалість вивчення технічного завдання (ТЗ) та літературних джерел за темою;

$ta$  – тривалість розробки моделі;

$tnp$  – тривалість модулювання віртуального аналога каналу зв'язку;

$tonp$  – тривалість опрацювання здобутих характеристик;

$t\delta$  – тривалість підготовки технічної документації.

Вихідні дані для визначення трудомісткості створення моделі приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Тривалість розробки моделі

$t_{mз}$ , год	$t_{в}$ , год	$t_{а}$ , год	$t_{np}$ , год	$t_{onp}$ , год	$t_{\partial}$ , год
55	58	74	22	22	30

Розрахуємо трудомісткість розробки моделі за формулою (3.1):

$$t = 55+58+74+22+22+30=261[\text{год}].$$

### 3.2 Розрахунок витрат на розробку моделі

Витрати на розробку моделі  $K_{пз}$  складаються з витрат на заробітну платню розробника  $Z_{п}$  і вартості витрат машинного часу, що необхідний для опрацювання моделі мережі на ПК  $Z_{мч}$ :

$$K_{пз} = Z_{п} + Z_{мч}[\text{грн}] \quad (3.2)$$

Заробітна плата виконавця враховує основну і додаткову заробітну плату, а також відрахування на соціальні потреби (пенсійне страхування, страхування на випадок безробіття, соціальне страхування тощо) і визначається за формулою:

$$Z_{пг} = t \cdot Z_{п}[\text{грн}]. \quad (3.3)$$

де  $t$  – трудомісткість створення моделі;

$Z_{пг}$  дорівнює 85 грн/год.

Розрахуємо заробітну платню проектувальника за формулою (3.3):

$$Z_{zn} = 261 \cdot 85 = 22185 [\text{грн}].$$

Вартість машинного часу на ПК визначається за формулою:

$$Z_{мч} = (t_a + t_{np} + t_{онр} + t_{\partial}) \cdot C_{мч} [\text{грн}]. \quad (3.4)$$

де  $C_{мч}$  – вартість 1 години машинного часу ПК, грн/година.

Вартість 1 години машинного часу ПК визначається за формулою:

$$C_{мч} = P_e \cdot t \cdot C_e + \frac{\Phi_{перв} \cdot H_a}{F_p} + \frac{K_{лнз} \cdot H_{анз}}{F_p} [\text{грн/год}], \quad (3.5)$$

де  $P_e$  – встановлена потужність ПК;

$t$  – трудомісткість створення моделі;

$C_e$  – енерговитрати;

$\Phi_{перв}$  – первісна вартість ПК на початок року;

$H_a$  – річна норма амортизації на ПК;

$K_{лнз}$  – вартість ліцензійного програмного забезпечення;

$H_{анз}$  – річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення;

$F_p$  – річний фонд робочого часу (за 40-годинного робочого тижня).

Енерговитрати розраховуються за формулою:

$$C_e = P_e \cdot C_{кВт} [\text{грн/год}], \quad (3.6)$$

де  $C_{кВт}$  - тариф на електричну енергію.

Розрахунок витрат на розробку моделі зводимо в таблицю 3.2

Таблиця 3.2 – Розрахунок витрат на розробку моделі

$P_e$ , кВт	$C_{кВт}$ кВт·год	$\Phi_{перв}$ , грн	$Ha$ , частка одиниці	$K_{лиз}$ , грн	$Ha_{лз}$ , частка одиниці	$F_p$ , год
1,3	1,60	19000	0,4	8400	0,4	1920

Тоді за формулою (3.6) отримаємо розмір енерговитрат:

$$C_e = 1,3 \cdot 1,60 = 2,08 [\text{грн/год}].$$

Річна норма амортизації, якщо використовується метод прискорення зменшеної вартості, визначається за формулою:

$$Ha = \frac{2}{T} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

де  $T$  – строк корисного використання ПК, дорівнює 5 років.

Розрахуємо річну норму амортизації за формулою (3.7):

$$Ha = \frac{2}{5} \cdot 100\% = 40\% = 0,40 [\text{частки одиниці}].$$

Строк корисного використання ліцензійного програмування дорівнює 5 років.

Річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення визначається за формулою (3.7):

$$\text{Напз} = \frac{2}{5} \cdot 100\% = 40\% = 0,40 \text{ [частки одиниці]}.$$

Ліцензійне програмне забезпечення, яке використовується в даному випадку Microsoft Windows 7 Professional. Його вартість 8400 грн.

Вартість 1 години машинного часу ПК визначаються за формулою (3.5):

$$C_{мч} = 1,3 \cdot 261 \cdot 1,6 + \frac{19000 \cdot 0,4}{1920} + \frac{8400 \cdot 0,4}{1920} = 548,59 \text{ [грн/год]}$$

Розрахуємо вартість машинного часу за формулою (3.4):

$$Z_{мч} = (74 + 22 + 22 + 30) \cdot 548,59 = 81191,36 \text{ [грн]}.$$

Отже, підставивши отримані результати у формулу (3.2), отримаємо величину витрат на розробку моделі:

$$K_{пз} = 22185 + 81191,36 = 103376,32 \text{ [грн]}.$$

### 3.3 Розрахунок капітальних витрат

Загальні капітальні витрати на розробку визначаються за формулою:

$$KЗ = K_{пз} + K_{навч} + K_n \text{ [грн]}, \quad (3.8)$$

де  $K_{навч}$  - витрати на навчання технічних фахівців і обслуговуючого персоналу;

$K_n$  - Витрати на встановлення обладнання та налагодження системи.

Дані о витратах на розробку моделі зводимо в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 – Витрати на розробку моделі

<i>K<sub>из</sub></i> , грн	<i>K<sub>навч</sub></i> , грн	<i>K<sub>н</sub></i> , грн
103376,32	5600	1300

Отже, капітальні витрати становлять:

$$KЗ = 103376,32 + 5600 + 1300 = 110276,32 [\text{грн}].$$

#### Висновки

В економічному розділі було розраховано:

- 1 Трудомісткість розробки моделі функціонування тенульованної мережі MPLS – 261 год;
- 2 Заробітня платня проектувальника – 22185 ,00 грн;
- 3 Витрати на розробку моделі – 103376,32 грн;
- 4 Капітальні витрати на розробку моделі модель функціонування тенульованної мережі MPLS – 110276,32грн.

## **ВИСНОВКИ**

1 Виконано аналіз стану та перспектив розвитку технологій сучасних

телекомунікаційних мереж.

2 Виконано аналіз існуючих методів оцінки пропускної здатності телекомунікаційних мереж.

3 Розроблена модель функціонування тунельованої мережі MPLS в процесі обслуговування навантаження реального часу.

4 Розроблений метод розрахунку обчислення середнього часу перебування пакета в тунелі з  $N$  вузлів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бакланов И.Г. NGN: Принципы построения и организации / под редакцией Ю.Н. Чернышова.- М.: Эко-Трендз, 2008.- 400с.
2. Гулевич Д.С. Сети зв'язку следующего поколения. – М: Интернет Университет Информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007, - 183с.
3. RFC 3031: Multiprotocol Label Switching Architecture. E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon. January 2001, 61p.
4. RFC 3032: MPLS Label Stack Encoding. E. Rosen, D. Tappan, G. Fedorkow, Y. Rekhter, D. Farinacci, T. Li, A. Conta. January 2001, 23p. Опубликовано: Зв'язок. – 2006, №5. – С. 49–55.11
5. RFC 3270: Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services. F. Le Faucheur, L. Wu, B. Davie, S. Davari, P. Vaananen, R. Krishnan, P. Cheval, J. Heinanen. May 2002, 64p.
6. Лемешко А.В. Тензорный подход к моделированию мультисервисных сетей с поддержкой услуг зв'язку гарантированного качества //Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник-2003. - вып.133 - с. 33-41
7. Лемешко А.В. Тензорная модель решения задачи многопутевой LSPизации информационного трафика заданного объема с требуемым временем доведения в двухполюсных телекоммуникационных сетях//Прикладная радиоэлектроника. - 2003. –Том 2, №2 - стр. 140-146,



8. Лемешко А.В., Евсеева О.Ю., Агеев Д.В. Двухуровневый метод LSPизации с поддержкой качества обслуживания в многооператорских сетях NGN // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних Сил. – 2010. – Вип. 1(23) – С. 83 – 89.
9. Агеев Д.В., Переверзев А.А. Определение объема сетевого ресурса, необходимого при предоставлении услуг телефонии и передачи данных // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2009. – Вып.159. – С. 30 – 34.]
10. Щербина Л. П. Основы теории сетей военной зв'язку. -Л.: ВАС, 1984 - 170
11. Лазарев В.Г., Саввин Г.Г. Сети зв'язку управление и коммутация.- М.: Связь,1973. - 264с.
12. Давыдов Г.Б. Рогинский В.Н. Толчан А.Я. Сети электрзв'язку - М.: Связь,  
1977 – 268с.
13. Романов А.И. Телекоммуникационные сети и управление. – К.: ВПЦ „Киевский Университет”, 2003. – 247 с.
14. Романов О.І., Нестеренко М.М. Модифікована методика оцінки якості обслуговування в телекомунікаційних мережах з встановленням з'єднання // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – № 3. К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – С. 121 – 128.
15. Вержбицкий В.М. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения). – М.: ООО „Издательский дом

ОНИКС 21 век”, 2005. – 400 с.

16. Романов А.И. Телекоммуникационные сети и управление. – К.: ВПЦ

„Киевский Университет”, 2003. – 247 с.

17. Романов О.І., Нестеренко М.М. Модифікована методика оцінки якості

обслуговування в телекомунікаційних мережах з встановленням з'єднання // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. Вип. №3 – 2007 – С. 121 – 128.

18. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. – М.: Физматгиз, 1963. – 400 с.

19. Краснов М.Л., Киселев А.И., Шикин Е.В., Залогин В.И. Вся высшая математика. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 256 с.

20. Вержбицкий В.М. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения). – М.: ООО „Издательский дом

ОНИКС 21 век”, 2005. – 400 с.

21. Романов О. І., Нестеренко М.М., Маньківський В.Б. Регресійна модель

коефіцієнта використання каналів гілки телекомунікаційної мережі. Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”, Випуск №1, 2009р.С.106–116.

22. Романов О. І., Грінік Є.В. Нестеренко М.М., Маньківський В.Б. Аналіз

часу обробки повідомлень в системі управління телекомунікаційною мережею. Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ"КПІ", Випуск №1, 2010р. С. 60-67.

23. Романов О. І., Чмиренко О.В., Маньківський В.Б. Оцінка ємності мережі мобільного зв'язку WCDMA. Системи озброєння і військова техніка. Науковий журнал №1 (21), 2010, с.184-188.

24. Романов А. И., Маньковский В.Б., Лаврут А.А. Модифицированный метод оценки емкости сети зв'язку WCDMA. Научно-технический журнал // Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ: - 2010.- № 2(4).-С. 119-123.

25. Романов О. І., Маньківський В.Б., Пасько С.П. Порівняльна оцінка часу обслуговування повідомлень в мережах IP і MPLS. Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ"КПІ", Випуск №3, 2011р. С. 83 – 93.

26. Romanov O., Mankovskiy V. Service model voice traffic in tunneled MPLS network. Telecommunication Sciences, 2013, Vol.4, Number 1, p.33-38.

27. Маньківський В.Б. Аналітична модель оцінки пропускної спроможності

мережі MPLS в режимі тунелювання. Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ"КПІ", Випуск №2, 2013р. С. 48-57.

28. Романов О. І., Нестеренко М.М., Маньківський В.Б. Застосування регресійної моделі коефіцієнта використання каналів для формування плану розподілу навантаження в мережі. Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, Випуск 67, 2016 р., С. 34 – 42. Зареєстровано у наукометричній базі Index Copernicus.

29. Корн Г., Корн Т. Сборник по математике для научных работников и инженеров. – М.: „Наука”. – 1977. – 832 с.

30. Гольдштейн А.Б. «Исследование механизма туннелирования мультимедийного трафика в сети MPLS. – М.: Весник связи. – 2004. – №2

31. Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. Справочник по теории ймовірність и математической статистике. – М.: Наука, 1985. – 640 с.
32. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS. С-Пб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2005.
33. Cisco Systems и др. Руководство по технологиям объединения сетей. 4-е издание. М.:Издательский дом «Вильяме», 2005.
34. Засецкий А.В., Иванов А.Б., Постников С.Д., Соколов И.В. Контроль качества в телекоммуникациях и зв'язку. Часть 2. М.: Компания Сайрус Системе, 2001.
35. Романов А.И., Фигурный С.С. Повышение эффективности функционирования и защиты информации
36. Структура и реализация современной технологии MPLS. – Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004, 480с.
37. Abdelhalim A. IP/MPLS - Based VPNs. Layer-3 vs Layer-2 / Foundry Networks, 2002.
38. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии и протоколы - СПб.: Питер, 2002. - 672с.
39. Greene T. LAN Services to get new look / Network world, 2004, №9.
40. Capuano M. VPLS: Scalable Transparent LAN Services / Junipier Networks, 2003.
41. Песков С.Н., Шишов А.К. Интерактивные мультимедийные кабельные

сети / Информ Курьер Связь, 2004, № 1.

42. Алексеев Е.Б. и др. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2008, 392с.

43. RFC 2205. Resource Reservation Protocol (RSVP). Ver .1. Kunctional Specification. - September 1997

44. Романов А.И. Телекоммуникационные сети и управление. Киев, ВПЦ «Киевский Университет», 2003. - 247с.

45. Шринивас Вегешна. Качество обслуживания в сетях IP. - М.: Вильяме,  
368с.

46. Захватов М. Построение виртуальных частных сетей (VPN) на базе технологии MPLS. М.: Риверсайд Тауерз, 2004.

47. Романов А.И. Управление потоками речевых сообщений на сетях зв'язку. К.: НЦ КВІУЗ, 1998. – 272с.

48. Гольдштейн Б.С. и др. IP-телефония. - М.: Радио и связь, 2001, - 336с.

49. Телекоммуникационные системы и сети. Учебное пособие. Том 3 – Мультисервисные сети /Величко В.В., Субботин В.П. и др/ - М.: - Горячая  
линия-Телеком, 2005 – 502с.

50. Томас Нолл. Резервирование по сценарию RSVP. Сети, 1996, №9.

51. Alwayn, Vivek. Advanced MPLS Design and Implementation. Indianapolis,  
IN: Cisco Press, 2001.

52. Armitage Grenville. MPLS: the magic behind the myths, IEEE Communications Magazine, vol. 38, no. 1, January 2000.
53. Armitage Grenville. Quality of Service in IP Networks. — Macmillan Technical Publishing, 2000.
54. Arvidsson Ake, Krzesinski Antony. The Design of Optimal Multi-Service MPLS Network //Telektronik 2/3.-2001.
55. Ash G.R. Dynamic Routing in Telecommunications Networks. McGraw Hill, 1998.
56. Awduche D. MPLS and Traffic Engineering in IP Networks. IEEE Communications Magazine, vol. 37, December 1999.
57. Барсков А.Г. VPN — старые принципы, новые технологии//Сети и системы зв'язку, №6(112). —2004.
58. Belloni A. Alcatel 5620 IP/MPLS Data Network Management. Alcatel Telecommunication Review — 3rd Quarter 2002.
59. Black, Ulyess. MPLS and Label Switching Networks. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2001.
60. Bouillet E., Mitra D., and Ramakrishnan K.G. The Structure and management of Service Level Agreements in Networks. IEEE JSAC Vol. 20, No. 4, May 2002.
61. Chen T.M., Oh T.H.. Reliable services in MPLS. IEEE Communications Magazine, December 1999.
62. Davidson J., Peters J. Voice Over IP Fundamentals. — Cisco Press, 2000.
63. Davie B., Rekhter Y MPLS, Technology and Applications. Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

64. Douskalis B. Putting VoIP to Work: Softswitch Network Design and Testing. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2002.
65. Fortz B. and Thorup M. Optimizing OSPF/IS-IS Weights in a Changing World// IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 20, No. 4, May 2002.
66. Garcia J.M., Rachdi A., Brun O. Optimal LSP Placement with QoS Constraints in DiffServ/MPLS Networks/ITC 18 / Charzinski J., Lehnert R., and Tran-Gia P. (Editors), Elsevier Science B.V., 2003.
67. Ghanwani A., Jamoussi B., Fedyk D., Ashwood-Smith P., Li L., and Feldman N. Traffic Engineering Standards in IP Networks Using MPLS. IEEE Communications Magazine, vol. 37, December 1999.
68. Гольдштейн А.Б.. Проблемы перехода к мультисервисным сетям// Вестник зв'язку.-2002- №12.
69. Goldstein A., Yanovsky G. Traffic Engineering in MPLS Tunnels//In International Conference on "Next Generation Teletraffic and Wired/Wireless Advanced Networking (NEW2AN'04)", February 02-06, 2004.
70. Гольдштейн А.Б. Механизм эффективного туннелирования в сети MPLS// Вестник зв'язку.-2004- №2.
71. Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. IP-телефония. М.: Радио и связь, 2001.
72. Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа. Том 2. М.: Радио и связь, 1999.

73. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. Стек ОКС7. Подсистема МТР.

Справочник//М.: Радио и связь-2003.

74. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Кадыков В.Б., Рерле Р.Д. Протоколы

V5.1 и V5.2. Справочник//СПб.: ВHV-2003.

75. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. Стек ОКС7. Подсистема ISUP. Справочник//СПб.: ВHV-2003.

76. Гольдштейн Б.С., Сибирякова Н.Г., Соколов А.В. Сигнализация R1.5. Справочник//СПб.: ВHV-2004.