

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МАНЬКІВСЬКИЙ ВОЛОДИМИР БРОНІСЛАВОВИЧ



УДК 621.39

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА  
ПРОДУКТИВНОСТІ ГІЛОК МЕРЕЖІ MPLS ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ  
ГОЛОСОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Міністерство освіти і науки України

**Науковий  
керівник**

доктор технічних наук, професор  
**Романов Олександр Іванович,**

Національний технічний університет  
України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
професор кафедри телекомунікацій

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Войтер Анатолій Петрович**  
Інститут ядерних досліджень Академії наук України,  
заступник директора з науково-технічної роботи

кандидат технічних наук, доцент  
**Колченко Галина Федорівна**  
Товариство з обмеженою відповідальністю  
«Випробувальний центр «ОМЕГА»,  
начальник відділу управління якістю

Захист відбудеться **«22» січня 2018 р. о 15.00** на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.14 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Київ-56, просп. Перемоги, 37, корп. 1, ауд. 249.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці ім.Г.І.Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Київ-56, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «1» грудня 2017 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Л.О. Уривський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Однією з галузей виробництва, що найшвидше розвивається, є телекомунікації. Вони дозволяють операторам отримувати стабільні і значні прибутки. Це досягається за рахунок надання користувачам великої кількості різноманітних послуг.

При цьому важливо, щоб була створена єдина мережева архітектура, яка забезпечувала б надання трьох основних видів послуг: передача мови, передача відео, передача даних. Комітетом ІТУ-Т для реалізації усієї різноманітності послуг на базі універсального транспорту була запропонована концепція мереж наступного покоління (NGN). У основу NGN покладена концепція побудови телекомунікаційних мереж, що забезпечують надання необмеженого набору послуг з гнучкими можливостями по їх управлінню, персоналізації і створенню нових послуг за рахунок уніфікації мережевих рішень, що припускає реалізацію універсальної транспортної мережі з розподіленою комутацією, винесення функцій надання послуг в крайові мережеві вузли і інтеграцію з традиційними мережами зв'язку. Базовим принципом концепції NGN є відділення один від одного функцій перенесення і комутації, функцій управління викликом і функцій управління послугами. Перед NGN стоїть завдання об'єднати усі існуючі мережі (телефонні мережі загального користування, мережі передачі даних, мережі мобільних видів зв'язку та ін.). В своїй архітектурі NGN виділяє наступні рівні: доступу, управління, сигналізації, транспорту, а також рівень послуг і додатків.

Слід зазначити, що в якості транспортної технології на перших етапах розробки рекомендацій по створенню NGN розглядалися різні технології, такі як ATM, IP, MPLS і інші. Проте, останніми роками з'явилася стійка тенденція по орієнтації на використання як основна транспортна технологія саме технології MPLS, як на магістральних мережах, так і на мережах «останньої милі».

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 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, не етапі перевірки отриманих результатів. Це вимагає повернення до початкового етапу розрахунку.

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.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Розробка основних положень дисертаційної роботи проводилася відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського” в рамках наступних держбюджетних НДР, а саме:

- № 2712-ф «Дослідження методів підвищення ефективності неперервної передачі обслуговування в системах широкосмугового радіо доступу», номер державної реєстрації 0114U002534.
- № 2918-п «Гетерогенні телекомунікаційні системи на базі стратосферної платформи з використанням сучасних технологій і засобів телекомунікацій», номер державної реєстрації 0116U003771.

**Мета і задачі дослідження** є розробка методів оцінки якості обслуговування і пропускної спроможності тунельованої мережі MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень. Це дозволяє оцінити відповідність якості обслуговування абонентів нормованим значенням, а також визначити необхідні матеріально-технічні витрати на розгортання мережі, яка забезпечить задану пропускну спроможність.

Досягнення поставленої мети в роботі передбачає вирішення таких задач:

1. Аналіз стану і перспектив розвитку технологій сучасних телекомунікаційних мереж наступного покоління (NGN).
2. Аналіз існуючих методів розрахунку необхідної продуктивності гілок телекомунікаційних мереж MPLS.
3. Аналіз існуючих методів оцінки пропускної спроможності телекомунікаційних мереж MPLS.
4. Розробка математичної моделі тунельованої мережі MPLS.
5. Розробка моделі функціонування тунельованої мережі MPLS в процесі обслуговування навантаження голосовими повідомленнями.
6. Розробка методу розрахунку необхідної продуктивності гілок тунельованої мережі MPLS для забезпечення заданої пропускної спроможності напрямів зв'язку при обслуговуванні голосових повідомлень .
7. Розробка методу оцінки якості обслуговування абонентів тунельованої мережі MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень.

*Об'єктом дослідження* в дисертаційній роботі є тунельована мережа MPLS в процесі обслуговування навантаження реального часу.

*Предметом дослідження* є методи визначення необхідної продуктивності гілок і оцінки якості мережі MPLS за показниками пропускної здатності.

**Методи дослідження.** Рішення поставленої в дисертаційній роботі задачі здійснювалося із застосуванням наступних методів дослідження : математичного апарату теорії графів, теорії масового обслуговування, теорії телетрафіку, теорії математичного моделювання, чисельних методів аналізу, теорії ймовірності.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше запропоновано математичну модель функціонування мережі MPLS в режимі обслуговування голосових повідомлень, яка представлена у вигляді багатоканальної, багатозазної, багатолінійної, розімкнутої системи масового обслуговування, де кожному шляху передачі інформації поставлений у

відповідність тунель LSP. Дана модель враховує випадковий характер потоку заявок, його тип і відмови в обслуговуванні в разі нестачі необхідного каналного ресурсу мережі. Модель дозволяє провести декомпозицію мережі на окремі напрямки зв'язку, простежити проходження навантаження, поставити у відповідність шляху передачі інформації відповідний LSP мережі MPLS.

2. Удосконалено метод розрахунку пропускної здатності мережі MPLS, відмінністю від існуючих є те, що введено етап прогнозування імовірності втрат на тунелях мережі до етапу розподілу навантаження. Це дозволяє зменшити обчислювальну складність і виключити невизначеності, які притаманні існуючим методикам, а також проводити оцінку завантаженості елементів мережі MPLS і може бути використане як рекомендації для прийняття рішення в процесі управління мережею.

3. Вперше запропоновано метод розрахунку необхідної продуктивності гілок мережі MPLS за показниками пропускної спроможності в LSP-тунелях. Відмінність методу від відомих раніше в тому, що враховано тип потоку заявок, взаємодія навантаження різних напрямків зв'язку на гілках мережі MPLS, обмеженість каналного ресурсу, а також усунені невизначеності в процесі вибору найкоротшого шляху передачі інформації в напрямку зв'язку.

**Практичне значення отриманих результатів** дисертаційної роботи визначається її спрямованістю на рішення завдань, які виникають на етапах аналізу, проектування, розгортання, будівництва і експлуатації мереж MPLS, виражається в наступному:

1. Розроблено математичну модель функціонування мережі MPLS в режимі обслуговування голосових повідомлень.

2. Запропоновано метод розрахунку пропускної здатності мережі тунельованої мережі MPLS в режимі обслуговування голосових повідомлень.

3. Розроблено алгоритм врахування всіх напрямків зв'язку в мережі MPLS в методах розрахунку пропускної здатності і продуктивності гілок.

4. Удосконалено метод розрахунку необхідної продуктивності гілок мережі MPLS за показниками пропускної спроможності.

5. Розроблено аналітичну модель дослідження залежності коефіцієнта використання тунелів LSP від співвідношення виконаного навантаження, величини втрат і продуктивності гілок телекомунікаційних мереж.

6. За допомогою імітаційної мережі отримані часові характеристики перебування пакета в LSP-тунелях.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використанні для мінімізації необхідного об'єму каналоутворюючого і лінійного устаткування. А також представлений комплексна математична модель для планування, розгортання і введення в експлуатацію сучасних мереж NGN на базі протоколу MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є узагальненням результатів теоретичних і експериментальних досліджень, проведених автором самостійно. Головну ідею роботи та напрям досліджень було запропоновано науковим керівником. Автором обґрунтовано необхідність розділення всіх потоків в тунельованої мережі MPLS на окремі LSP-тунелі, запропоновано

розглядати найпростіший потік з математичним апаратом Ерланга, розроблено принцип розділення каналів для основного та резервного шляху передачі, виконано аналіз взаємного впливу параметрів потоку в гілках мережі на показники якості обслуговування (Quality Of Service, QoS); розроблено математичну модель мережі MPLS, в якій врахований вплив параметрів потоку, як ймовірнісна величина, в моделі закладений показник якості обслуговування, який дозволяє розділити показники пропускної здатності від величини виконаного навантаження; досліджено запропонований комплексний метод визначення операційних витрат для визначення алгоритму розрахунку якості обслуговування мережі MPLS; досліджено і проаналізовано можливість застосування регресійної моделі коефіцієнта використання каналів для побудови LSP-тунелів мережі MPLS; розроблено алгоритм для розв'язку математичної моделі, розроблено метод визначення продуктивності гілок в LSP-тунелях мережі MPLS.

В роботах, виконаних у співавторстві, особисто автором виконано: [1, 8] – отримані аналітичні залежності коефіцієнта використання каналів гілки телекомунікаційної мережі від пропускної здатності гілки мережі; [6, 13, 17] – отримано повні аналітичні вирази, що описують параметри математичної моделі мережі, які мають взаємний вплив на параметри якості обслуговування в мережі MPLS; проведено аналіз впливу обслуговуючого найпростішого потоку при обслуговуванні голосових повідомлень; [2] – розроблено методику визначення часу обробки повідомлень в системі управління телекомунікаційною мережею; [3, 4] – проаналізовано і знайдено формули розрахунку оптимальної ємності мобільної мережі WCDMA; [5] – розроблено метод оцінки часу обслуговування повідомлень в мережі MPLS; [7, 14] – розроблена аналітична модель функціонування мережі MPLS; розроблений математичний апарат для визначення взаємного впливу параметрів якості обслуговування в мережі; [9] – удосконалений алгоритм оптимізації часу перебування повідомлень в мережі MPLS; [10, 11] – запропонований регресійний метод оцінки якості обслуговування в мережі DWDM; [12] – розроблена аналітична модель оцінки продуктивності гілок мережі MPLS за показниками пропускної здатності мережі MPLS; [15] – обґрунтовано використання методу найменших квадратів для розрахунку операційних витрат при обслуговуванні пакетів на магістралях IP/MPLS; [16, 19] – виконане імітаційне моделювання в середовищі GNS3 для оцінки параметрів якості обслуговування в мережі MPLS; [18] – запропоновані методи підвищення пропускної здатності мережі IP/MPLS на основі врахування взаємного впливу найпростіших потоків; [20] – описано стадії побудови IP-телефонії на базі SoftSwitch; [21] – виконане імітаційне моделювання в середовищі GNS3 для оцінки параметрів затримки та джитер при обслуговуванні голосових повідомлень в мережі MPLS.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях і наукових семінарах: XV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науки, практики освіти», м.Київ, 2010 р.; VI науково-практичний семінар «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального

призначення», м.Київ, 2011 р.; XXII, XXIII Міжнародна Кримська конференція «СВЧ-техніка і телекомунікаційні технології», м.Севастополь, 2012-2013 рр.; V-VII, X Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій», м.Київ, 2011-2013 рр., 2016 р.

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 21 наукову працю, у тому числі 8 статей у наукових фахових виданнях України, з них 1 стаття у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 13 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, анотацій, переліку умовних позначень, п'ятих основних розділів, загальних висновків по роботі, списку використаних джерел із 143 найменувань та 7 Додатків. Загальний обсяг роботи 179 сторінок. Основний зміст роботи становить 144 сторінки друкованого тексту, в тому числі 47 рисунків і 10 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і задачі наукового дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача. Визначається зв'язок роботи з науковими програмами, визначається мета і задачі дослідження, наукова новизна одержаних результатів та їх практичне значення, наводяться дані про апробацію та публікації результатів роботи, висвітлено особисту участь здобувача.

У **першому розділі** дисертації проведено огляд робіт, присвячених мережам наступного покоління (NGN), шляхів інтеграції існуючих мереж та вибору основного протоколу передачі інформації в транспортних систем зв'язку. Проаналізовані основні протоколи передачі інформації, які входять до списку рекомендованих комітетом ІТУ-Т, та обґрунтовано зроблений вибір, в якості протоколу для мережу наступного покоління, протокол MPLS.

Показаний вплив основних переваг та недоліків використання MPLS на другому й третьому рівні моделі OSI. Показано, що MPLS дозволяє при розрахунку маршрутів враховувати вимоги до пропускної здатності мережі. Виходячи з цього показаний метод відділення процесу вибору маршруту від аналізу IP-адреси. Це в свою чергу дає можливість надавати широкий спектр додаткових сервісів при збереженні масштабованості мережі.

Запропонована модель дозволяє здійснити вирішення задачі врахування всіх напрямків зв'язку при зміні навантаження. Оскільки, в досить зв'язаних мережах одну і ту ж гілку для передачі інформаційних потоків використовують 60% і більше напрямків зв'язку для передачі. При динамічній маршрутизації, зміна напрямку потоку з тунелю першого вибору на тунель другого вибору, відразу ж призводить до зміни сумарних значень величини навантаження ряду гілок мережі. Так як, якість обслуговування на кожній гілці мережі залежить від

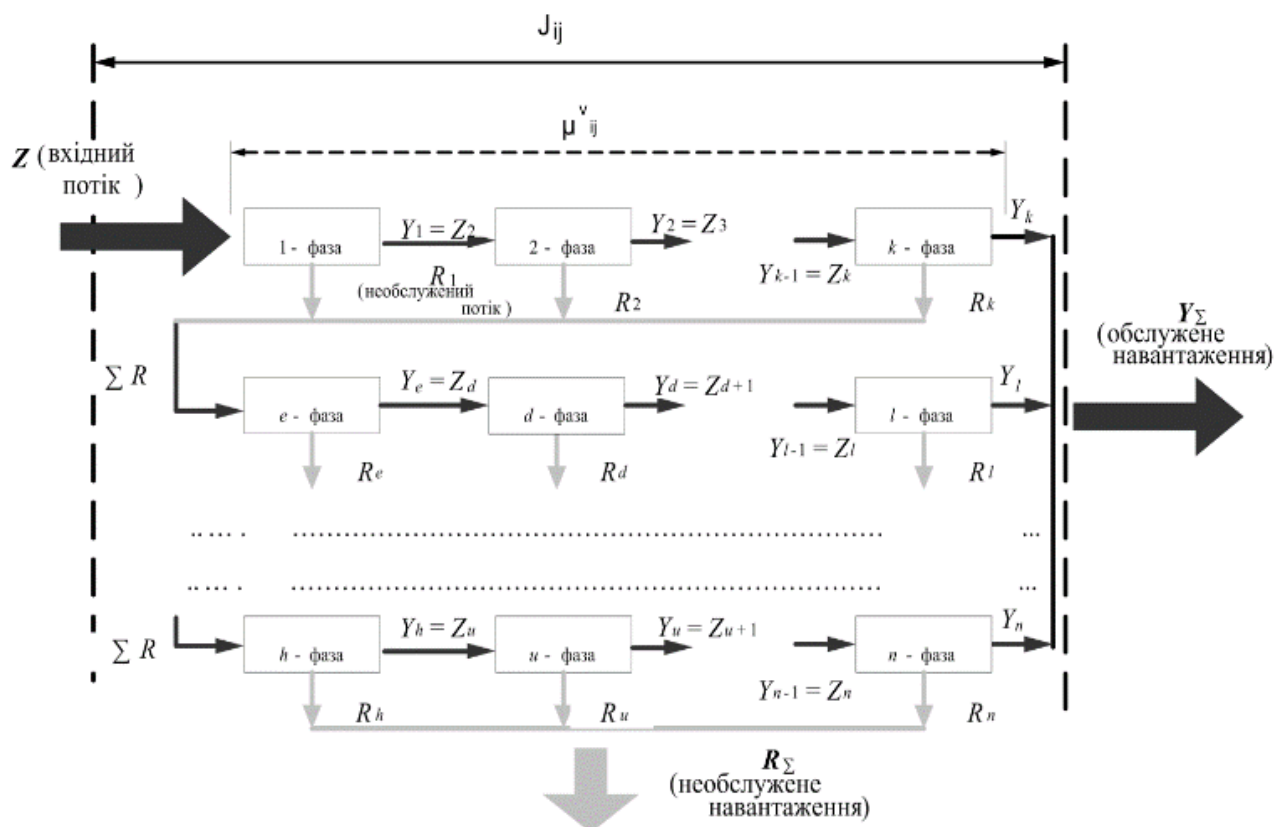


Рисунок 1. Модель функціонування Мережі MPLS

її продуктивності та навантаження, показник якості обслуговування отримує пульсуючий характер по всій мережі при зміні порядку використання LSP-тунелю мережі MPLS.

У **другому розділі** дисертації присвячено розробці моделі функціонування тунельованої мережі MPLS. Як основа 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 мереж, а в перспективі дозволить впроваджувати нові послуги, забезпечуючи виконання вимог до пропускної здатності і якості обслуговування.

Аналіз процесу функціонування складних телекомунікаційних систем дозволив виділити чотири компоненти: телекомунікаційну мережу, систему забезпечення заданих показників функціонування телекомунікаційної мережі, система керування доставкою повідомлень і фактори, що впливають на них. Між цими компонентами здійснюється постійний інформаційний обмін. Основою моделі є визначення взаємозв'язку й впливу тих чи інших факторів на телекомунікаційну систему. На основі отриманих досліджень, аналіз процесу функціонування доцільно починати з напрямків зв'язку, що мають найбільш тверді вимоги до показників функціонування. Крім того, було враховано, що телекомунікаційна мережа є багатофазної, багатолінійною, розімкненою системою, з врахування цього було представлено модель функціонування мережі MPLS (рис. 1). Розроблена модель дозволяє враховувати не тільки основні параметри одного напрямку зв'язку (НЗ), але й всіх НЗ в мережі в цілому. На основі розробленої моделі було запропоновано два методи аналізу й синтезу мережі MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень.



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.

У **третьому розділі** дисертації присвячено розробці методу розрахунку пропускної здатності мережі MPLS. Це задача аналізу, вона розраховується для мереж, які введені в експлуатацію. Даний метод передбачає розрахунок величини виконаного навантаження з заданим показником якості. Складність даної задачі обумовлене тим, що мережа дуже чутлива до змін показників навантаження на гілках мережі. Це потребує врахування взаємного впливу навантаження на всіх гілках мережі.

Проектування систем здійснюється математичними методами і вимагає математичного опису системи, розробки математичної моделі. Встановити взаємозв'язок між факторами в телекомунікаційній системі дозволяє відобразити реальні характеристики системи і алгоритми її функціонування в різних умовах.

Аналітичний опис процесів функціонування телекомунікаційних мереж призводить до досить складних математичних виразів. Тому, в ході вирішення завдань управління, проектування і оцінки якості обслуговування в напрямках зв'язку телекомунікаційної мережі не завжди вдається отримати прийнятний для практики результат. Так, наприклад, при вирішенні завдання з визначення допустимих значень якості обслуговування QoS на гілках мережі при заданих обмеженнях на якість обслуговування в напрямках зв'язку, необхідно вирішити систему з нерівностей  $N(N-1)$  (де  $N$  - кількість вузлів в мережі). В якості змінних в нерівностях використовуються показники якості обслуговування на гілках мережі. При цьому в мережах з динамічною маршрутизацією потоків заявок одна і та ж гілка використовується для передачі інформації в багатьох напрямках зв'язку. Тому, будь-яка зміна показника якості обслуговування на одній гілці веде до зміни якості обслуговування в ряді напрямків зв'язку.

Крім того, одна і та ж гілка, в залежності від параметрів напрямки зв'язку, функціонує в різних умовах. Наприклад, якщо кількість транзитів в шляху передачі інформації велике (більше 10), то вимоги до якості обслуговування на кожній гілці більш жорсткі. Якщо кількість транзитів в шляху передачі інформації мало, то вимоги до якості обслуговування знижуються.

Напрямки зв'язку складаються з сукупності шляхів передачі інформації, кожен з яких включає до свого складу декілька гілок. Якість обслуговування в напрямках зв'язку нормується, як правило, від абонента до абонента. Тому при аналізі і синтезі телекомунікаційних мереж необхідно вирішувати задачу перерахунку значень норми втрат в напрямках зв'язку на величину допустимих втрат на кожну гілку. Оскільки кожна гілка телекомунікаційної мережі може брати участь в обслуговуванні заявок в ряді напрямків зв'язку, то вимоги до якості обслуговування в мережі можна описати системою нерівностей (рис. 2).

Аналіз умов функціонування телекомунікаційних мереж, система рівнянь (рис.2) буде відображати реальні процеси тільки за умови рівності числа транзитів у всіх шляхах передачі інформації в тунелях LSP.

Домогтися рівності числа транзитів у всіх шляхах передачі інформації досить складно, тому в більшості випадків вимоги до якості обслуговування в мережі описується системою нерівностей.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{ij} \geq \prod_{s=1}^{k_{ij}} \left\{ 1 - \prod_{t=1}^{t-1} \left[ 1 - \frac{Z_{st}^{V_{st}} / V_{st}!}{\sum_{a=0}^{V_{st}} Z_{st} / a!} \right] \right\}, \quad i, j = \overline{1, N}; \\ P_{gd} \geq \prod_{r=1}^{k_{gd}} \left\{ 1 - \prod_{f=1}^{f-1} \left[ 1 - \frac{Z_{rf}^{V_{rf}} / V_{rf}!}{\sum_{a=0}^{V_{rf}} Z_{rf} / a!} \right] \right\}, \quad g, d = \overline{1, N}; \\ \dots; \\ P_{hy} \geq \prod_{w=1}^{k_{hy}} \left\{ 1 - \prod_{x=1}^{x-1} \left[ 1 - \frac{Z_{wx}^{V_{wx}} / V_{wx}!}{\sum_{a=0}^{V_{wx}} Z_{wx} / a!} \right] \right\}, \quad h, y = \overline{1, N}; \end{array} \right.$$

Рис. 2 Система нерівностей НЗ для мережі MPLS

де  $P_{ij}$ ,  $P_{gn} \dots P_{hy}$  - вимоги до допустимих значень нормованих значень втрат;  
 $p_{sl}$ ,  $p_{rf}$ , ...  $p_{wz}$  - допустимі значення ймовірності втрат на гілках ;

визначених на першому етапі, визначається план розподіл навантаження та кількість фізичних або логічних каналів в LSP-тунелях мережі MPLS.

На третьому етапі за результатами другого етапу визначається величина втрат на гілках мережі, що відповідає пропускній здатності мережі.

На четвертому етапі проводиться оцінка отриманих показників пропускної здатності мережі і порівняння їх із заданими вимогами.

При виконанні дослідження показано, що запропонований метод розрахунку пропускної здатності на мережі MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень, враховує взаємодію всіх LSP. А також за допомогою введеного етапу превентивного визначення можливих втрат, дозволило зменшити обчислювальну складність при однозначному визначенні порядку вибору при розрахунку на 27%, а також підвищити точність отриманих результатів до 18%.

У **четвертому розділі** дисертації присвячено розробці методу розрахунку необхідної продуктивності гілок мережі MPLS за показниками пропускної здатності. Це задача синтезу, вона розраховується для мереж, які знаходяться на етапі розробки. Даний метод передбачає розрахунок системи нерівностей (рис.2), що відбиває виконання вимог до якості обслуговування в напрямках зв'язку. В дисертаційній роботі в процесі вирішенні такого типу задач пропонується орієнтуватися на напрям зміни коефіцієнта використання каналів для побудови LSP-тунелів. Наприклад, в процесі формування плану розподілу навантаження, що визначає вид системи нерівностей, виникає ситуація, коли не можна однозначно визначити оптимальний шлях передачі інформації. Тоді рекомендується вибирати шлях, що веде до підвищення загального коефіцієнта

Враховуючи вище зазначене, рішення задачі запропоновано у вигляді чотирьох етапів, на кожному з яких вирішується окрема задача.

На першому етапі визначається сукупність LSP тунелів в НЗ мережі MPLS. Для чого можуть використовуватися різні методи: метод графів, алгоритм Флойда, алгоритм Дейкстри. У даній роботі використана теорія матриць: шляхом зведення матриці зв'язності в ступінь, який відповідає кількості НЗ в мережі. Даний вибір пояснюється тим, що даний метод дозволяє врахувати LSP з визначенням основного та обхідного шляху, на відміну від інших методів.

На другому етапі за розрахованими тунелями LSP,

використання каналів (КБК) в LSP-тунелі при дотриманні заданих показників якості обслуговування в напрямках зв'язку..

Однак, коефіцієнта використання каналів має ряд незручностей. По-перше, коефіцієнт використання каналів описується не диференційованими функціями. По-друге, аналітичні вирази, що описують взаємозв'язку коефіцієнта використання каналів, не дозволяють в явному вигляді виразити залежність між параметрами. Тому, для мережі MPLS виконаний перехід до кількісного показника – коефіцієнт використання LSP-тунелю з використанням наближеної аналітичної моделі, що дозволяють усунути ці недоліки.

Основою дослідження в розділі присвячено отримати наближені аналітичні залежності КБК в LSP-тунелі від співвідношення величини навантаження, числа каналів і допустимої ймовірності втрат на гілках мережі, які відображають суть процесів, що протікають в мережі, мають високий рівень адекватності і диференціюються в діапазоні досліджуваних значень.

КБК є одним з достовірних показників оцінки функціонування телекомунікаційних мереж. Це пов'язано з тим, що він є чисельним значенням з вираженим фізичним змістом і відображає якісні показники мережі.

Для гілки мережі в побудованому LSP-тунелі КБК може бути представлений у вигляді:

$$K = \frac{Y(p)}{V} \Big|_{p = \text{const}}, \quad (1)$$

де К - коефіцієнт використання каналів;

Y(p) - Пропускна спроможність гілки мережі;

V - кількість каналів в гілці;

P - ймовірність відмови у встановленні з'єднання.

В якості моделі потоку обраний найпростіший потік, оскільки даний потік найбільш точніше описує процес обслуговування голосового трафіку, а також має відпрацьований математичний апарат Ерланга. Пропускна спроможність гілки при обслуговуванні найпростішого потоку визначається виразом:

$$Y(p) = Z(1 - p) = Z \left(1 - \frac{Z^V / V!}{\sum_{i=0}^V Z^i / i!}\right). \quad (2)$$

Враховуючи пропускну здатність (2) аналітичний вираз (1) має вигляд:

$$K = \frac{Z \left(\sum_{i=0}^V Z^i / i! - Z^V / V!\right)}{V \sum_{i=0}^V Z^i / i!}. \quad (3)$$

У процесі вирішення мережевих завдань необхідно забезпечити раціональне співвідношення між кількістю каналів, навантаженням і втратами, на гілках мережі при забезпеченні заданих вимог до якості обслуговування в напрямках зв'язку. Для цього необхідно аналізувати залежності типу:

$$- K = f(V) \text{ при } p = \text{const};$$

Проведення аналізу значно простіше і точніше, якщо дані аналітичні вирази мають похідні у всьому діапазоні досліджуваних значень, а залежність одного



Для наочності і зручності аналізу отриманих емпіричних залежностей на представлені у вигляді графіків (рис.3). Отримані результати вказують на той факт, що найбільший приріст KBK

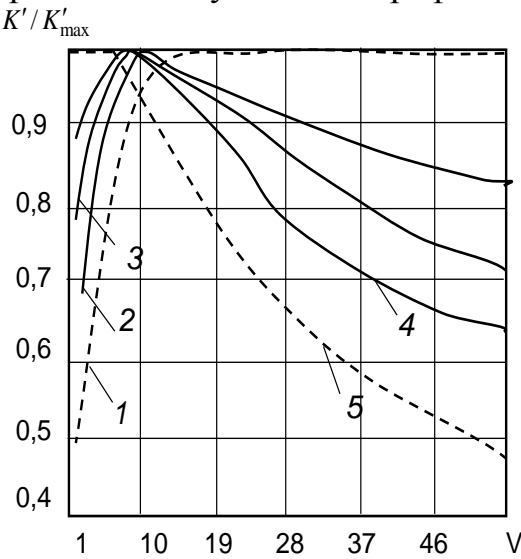


Рисунок 3. Графіки залежності

- $\tilde{K}'/\tilde{K}'_{max}$  от  $V$  при  $p = const$  :
- 1 -  $K' - p = 0,001$ ; 2 -  $K' - p = 0,005$ ;
  - 3 -  $K' - p = 0,01$ ; 4 -  $K' - p = 0,02$ ;
  - 5 -  $K' - p = 0,05$

спостерігається на гілках мережі з малим навантаженням і невеликою кількістю каналів в LSP-тунелі. При середній і високій навантаженні швидкість зміни KBK на гілках мережі приблизно однакова. При формуванні плану розподілу навантаження по LSP-тунелях в MPLS мережі слід дотримуватися наступних рекомендацій:

- якщо в мережі інтенсивність навантаження в LSP-тунелі невелика (до 10% від спроможності мережі), то необхідно прагнути до рівномірного розподілу навантаження по гілкам мережі;

- якщо в мережі інтенсивність навантаження в LSP-тунелі середня або висока, то необхідно прагнути до досягнення рівності втрат на гілках мережі.

Такий підхід дозволить забезпечити високу ефективність використання каналів, і

як наслідок, мінімізує необхідний обсяг необхідного обладнання в мережі для забезпечення заданої якості обслуговування в напрямках зв'язку.

У роботі запропонований метод розрахунку необхідної продуктивності гілок мережі MPLS, при обслуговуванні голосових повідомлень, за заданими показниками якості обслуговування в напрямках зв'язку для досягнення рівності втрат в LSP-тунелях. Особливістю методу є те, що введений етап прогнозування ймовірності втрат на гілках мережі, що дозволило прибрати невизначеність при виборі порядку зайняття шляхів в LSP-тунелі і, як наслідок, зменшити обчислювальну складність і збільшити точність отриманих результатів. Введення даного етапу дозволяє зменшити час розрахунків, за рахунок зменшення кількості ітерацій, приблизно на 15%. Це дозволяє зменшити кількість операцій при розрахунку завдяки виключенню етапу розподілу навантаження по шляхах першого вибору.

У п'ятому розділі дисертації присвячено оцінки ефективності використання запропонованого методу для розрахунку параметрів якості обслуговування в мережі MPLS. Саме тому метою даної роботи є створення простого алгоритму, який в доповнення до рішень трафік інжинірингу дозволить операторам оцінити ефективність використання мережі. В якості одного з основних показників якості обслуговування обрано параметр RTT (час перебування пакету в мережі), Delay (затримка) та Jitter (джитер).

Якщо не враховувати додаткові часові витрати на формування тунелів, то технологія MPLS завжди буде переважати технологію IP з погляду часу затримки пакетів у тракту передачі. Однак, у реальних умовах експлуатації,

спочатку необхідно сформувати LSP тунель, що відповідає вимогам QoS.

Порівняльну оцінку ефективності розробленої методики для проектування 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.

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 відсутні ресурси в необхідному обсязі.

Процес формування LSP тунелю з вказанням часу виконання кожної операції представлений на рис. 4.

При проведенні аналізу були використані наступні позначення:

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

Залежить від швидкодії модуляторів, фізичного носія, довжини шляху, і т.п.

$t_{др4}$  – час обробки пакета в маршрутизаторі в дейтаграмному режимі

$t_{обр4}$  – час аналізу й заміни мітки в маршрутизаторі, прийемо рівним  $t_{др4}$ .

Тоді загальний час встановлення LSP- тунелю буде рівний:

$$t_{LSP}(N) = 2 \cdot \sum_{i=1}^{N-1} t_{i,i+1} + \sum_{i=1}^{N-1} t_{дрi} + \sum_{i=2}^N t_{обрi} \quad (14)$$

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.

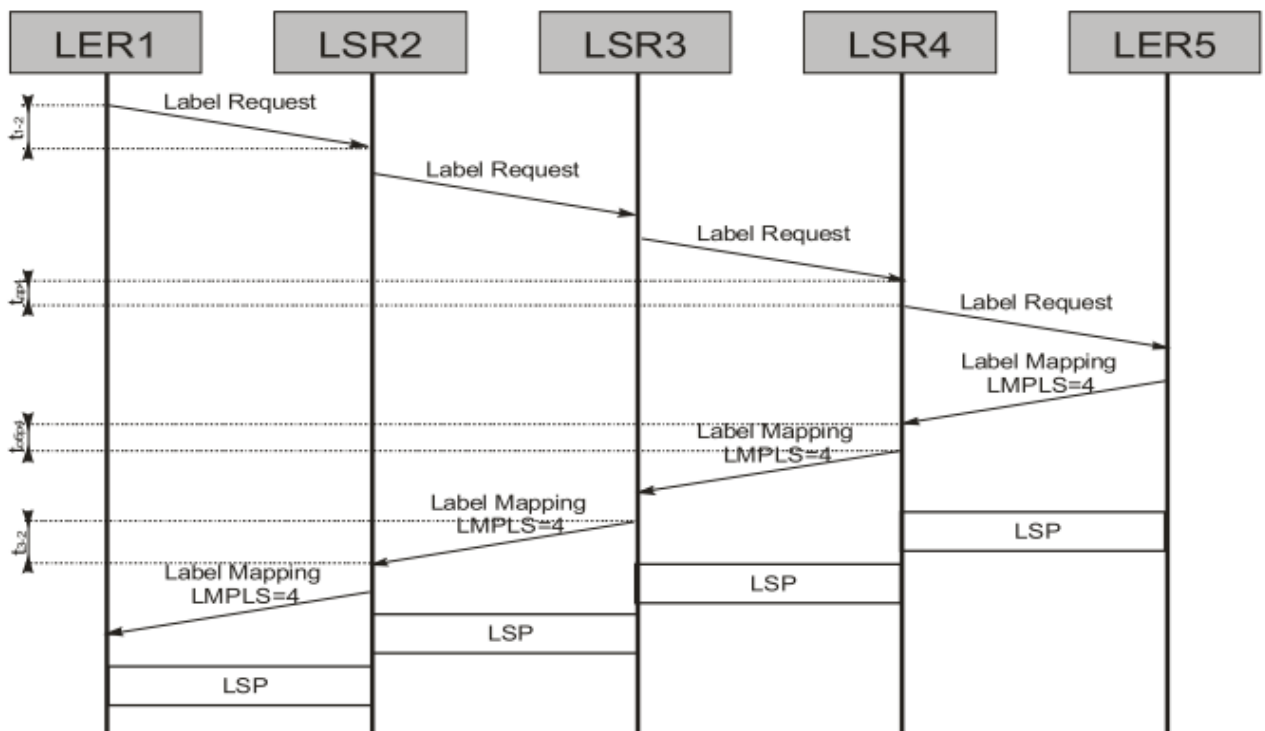


Рисунок 4. Процес формування LSP тунелю

Це приводить до появи додаткової складової часу затримки. Для розрахунків було обмеження, що аналітична модель системи масового обслуговування типу М/М/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  $\chi(\rho)$  – враховує величину завантаження вузлів: при завантаженні вузла рівному  $\rho$ , час передачі пакета збільшується в  $\chi(\rho)$  раз.

Найпростіший її вид:

$$\chi(\rho) = \frac{1}{1-\rho} \quad (15)$$

де  $\rho$  – завантаження маршрутизатора (лінії).

З урахуванням цього, час буде рівний:

$$t_{Kn-m}(N, K, p) = t_{LSP}(N) + t_{RSVP-TE}(N) + \chi_N(p) \cdot \left( \sum_{i=1}^{N-1} t_{mplsi,i+1} + \sum_{i=2}^N t_{3mi} + (K-1) \cdot t_{3m} \right) \quad (16)$$

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 (2) на основі запропонованих методів. Для кожного НЗ пропонується розрахувати час перебування пакету в мережі (16), як система значень для нерівності (2). На рис.5 представлено порівняння отриманих значень часу перебування пакету мережі MPLS при побудові LSP-тунелю: по протоколу RSVP, як одного з найкращих за показником RTT (RoundTrip, час перебування), та на основі запропонованого методу (16).

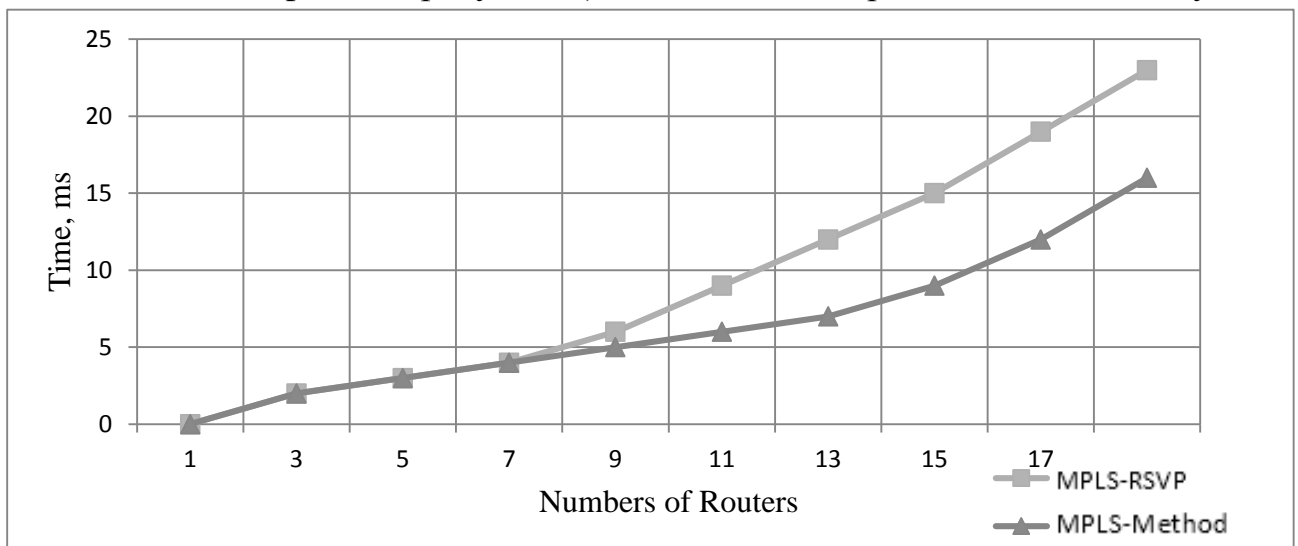


Рисунок 5. Графік розрахунків RTT

У роботі 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/1 обчислення середнього часу перебування пакету в тунелі з N вузлів. В рамках даного дослідження було виміряно один з параметрів якості обслуговування

(затримка, джитер) мережі MPLS із застосуванням при:

- 1) Побудова LSP представленим методом в роботі.
- 2) Побудова LSP з застосування IntServ (на базі RSVP протоколу).

Було організовано побудову мережі MPLS шляхом створення LSPs представленими методами в роботі і з застосуванням IntServ. Порівняти отримані результати та зробити висновок про доцільність застосування запропонованих методики на мережі MPLS. Порівнюючи показники Delay, Jitter та RTT двома методами побудови тунелю, можна зробити висновки, про покращення показників якості обслуговування на 27%.

Детальніше: середні показники затримки пакетів при проходженні від точки 1 до точки 2 без тунелю з зарезервованими ресурсами складають 35-40 мс, втрати пакетів відсутні за час моделювання, що склав 300 секунд.

Після увімкнення одностороннього тунелю Tunnel1, в якому зарезервована смуга пропускання рівна 512кбіт/с, та виконано побудову тунелю на основі запропонованих методик, маємо наступні результати: затримка пакетів при проходженні по тунелю складає в середньому 20 мс за 5 хвилин моделювання. Показник Jitter складає 5-6 мс. На рисунку 6 показано залежність затримки від

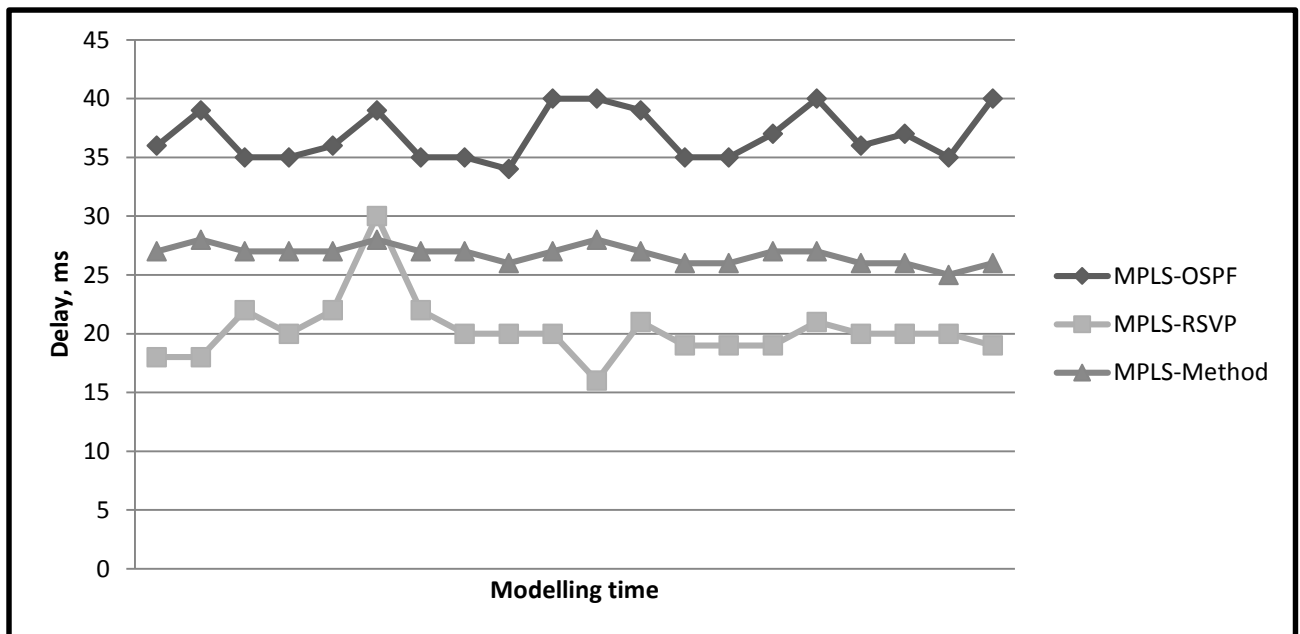


Рис. 6. Залежність затримки від часу моделювання при MPLS часу моделювання при MPLS (власний метод розрахунку LSP) та комбінації MPLS (IntServ - RSVP).

При застосуванні на MPLS-мережі LSP-тунелю виділяється гарантована смуга пропускання, завдяки чому відсутні втрати пакетів, але необумовлена послідовність обробки пакетів. Використання механізму обмеження (shaping) також запобігає втратам пакетів за рахунок зменшення швидкості передачі. Отже, для VoIP-трафіку смуга пропускання зберігається, а неперіоритетний трафік передається повільно у разі перевантаження каналу. При застосуванні на MPLS-мережі RSVP окрім резервування смуги пропускання (guaranteed bandwidth LSP) є можливість задати пріоритетність обробки пакетів LSR. На практиці, модель інтегрованого обслуговування (IntServ) забезпечує QoS,



гарантуючи необхідну пропускну здатність. VoIP-пакети оброблялись в першу чергу, таким чином зменшивши час їхнього перебування у буферах LSR. В свою чергу, зменшило показники якості обслуговування: Jitter та Delay.

Отже, можна зробити висновок про покращення параметрів якості обслуговування, таких як Delay та Jitter, при застосуванні алгоритмів побудови LSP-тунелів запропонованим методом. Дані оцінки отримані завдяки тесту IP SLA з підключеним кодеком g729a. З часом моделювання, що складав 300 секунд, MOS для кодака g729a з позначки 4,0 зменшився до 1,5. Тест IP SLA дозволяє оцінити параметри якості передачі голосового трафіку по мережі MPLS.

### **ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі, що є завершеною науково-дослідною роботою, поставлена і вирішена актуальна наукова задача, яка пропонує використовувати метод розрахунку пропускну здатності мережі MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень, який враховує наявність декількох шляхів передачі інформації в LSP, їх адаптивний вибір, залежно від завантаженості шляхів, і облік взаємодії навантаження на всіх гілках мережі.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Удосконалено метод розрахунку пропускну здатності мережі MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень. Відмінністю цього методу від існуючих є те, що він дозволяє врахувати наявність декількох LSP, їх адаптивний вибір, залежно від завантаженості шляхів, і взаємодії обслуговування навантаження різних LSP на всіх гілках мережі. Крім того, він дозволяє враховувати нелінійну залежність співвідношення навантаження втрат і числа каналів.

2. Удосконалений метод розрахунку необхідної продуктивності гілок мережі MPLS за Показник пропускну спроможності.

Відмінністю методу є те, що враховується взаємодія обслуговується навантаження різних напрямків зв'язку на всіх гілках мережі, нелінійне співвідношення величини навантаження, числа каналів і ймовірності втрат. Крім того, введено етап прогнозування ймовірності втрат на гілках мережі, що дозволило прибрати невизначеність при виборі порядку зайняття шляхів, як наслідок, зменшити обчислювальну складність і збільшити точність отриманих результатів. Враховано взаємодію напрямків зв'язку на гілках мережі, зменшена обчислювальна складність при однозначному визначенні порядку вибору для розрахунку напрямків зв'язку, а також підвищена точність отриманих результатів. Введення даного етапу дозволяє зменшити час розрахунків, за рахунок зменшення кількості ітерацій, приблизно на 15%).

3. Математична модель Функціонування мережі MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень.

Особливістю є те, що дана модель враховує нелінійне співвідношення величини навантаження, числа каналів і ймовірності втрат на гілках мережі, дозволяє зробити декомпозицію мережі на окремі НС, простежити просування навантаження в процесі обслуговування, поставити у відповідність кожній колії передачі інформації відповідний тунель мережі MPLS, привести модель до стандартної СМО. Мережа MPLS представлена у вигляді багатоканальної, багатозв'язкової, багатолінійної, розімкнутої системи.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. 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. *Здобувачем отримані аналітичні залежності коефіцієнта використання каналів телекомунікаційної мережі від пропускної здатності гілки мережі.*
2. 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. *Здобувачем розроблено методикау визначення часу обробки повідомлень в системі управління телекомунікаційною мережею.*
3. 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. *Здобувачем проаналізовано і знайдено формули розрахунку оптимальної ємності мобільної мережі.*
4. Романов А. И., Маньковский В.Б., Лаврут А.А. Модифицированный метод оценки емкости сети связи WCDMA. Научно-технический журнал // Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ: - 2010.- № 2(4).-С. 119-123. *Здобувачем знайдено формули розрахунку оптимальної ємності мобільної мережі.*
5. 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 №1, 2010р. С. 98 – 106. *Здобувачем розроблено метод оцінки часу обслуговування повідомлень в мережі MPLS.*
6. Romanov O., Mankovskiy V. Service model voice traffic in tunneled MPLS network. Telecommunication Sciences, 2013, Vol.4, Number 1, p.33-38. *Здобувачем отримано повні аналітичні вирази, що описують параметри математичної моделі взаємного впливу на якість обслуговування.*
7. 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.
8. 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)** *Здобувачем отримані аналітичні залежності КВК мережі від пропускної здатності гілки мережі.*
9. Пасько С.П., Чистякова А.В., Маньковский В.Б. Оптимизация времени пребывания сообщений в тунелированной сети MPLS. XV Міжнародна науково-практична конференція 25-26 лютого 2010. Інформаційні технології в економіці, менеджменті та бізнесі. Проблеми науки, практики освіти, м.Київ, 2010, С. 306-307. *Здобувачем удосконалено алгоритм оптимізації часу перебування повідомлень в мережі MPLS.*
10. Кутырь С.С., Маньковский В.Б. Алгоритм расчета вероятности ошибки в системе, построенной на базе технологии DWDM. 19-22 квітня 2011 V міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій»,

- м.Київ, 2011, С. 99-98. *Здобувачем запропонований регресійний метод оцінки якості обслуговування в мережі DWDM.*
11. Нестеренко М.М., Маньківський В.Б. Методика оцінки якості обслуговування DWDM – системи на базі Q-фактора. VI-й научно-практичний семінар «Приоритетные направления развития телекоммуникационных систем и сетей» 20 октября 2011, С. 76-78. *Здобувачем запропонований регресійний метод оцінки якості обслуговування в мережі DWDM.*
  12. Романов А. И., Маньковский В.Б. Метод расчета требуемой производительности вервей туннелированной сети MPLS. Материалы 22-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 10 – 14 сентября 2012 г. – Москва-Киев-Минск-Севастополь, том 1 С.399-400, 2012 г. Зареєстровано у наукометричній базі SCOPUS. *Здобувачем розроблена аналітична модель оцінки продуктивності гілок мережі MPLS.*
  13. Романов А. И., Маньковский В.Б. Модель сети MPLS/ Материалы 23-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 8 – 13 сентября 2013 г. – Москва-Киев-Минск-Севастополь, том 1 С.488-489, 2013 г. Зареєстровано у наукометричній базі SCOPUS. *Здобувачем отримано повні аналітичні вирази, що описують параметри математичної моделі взаємного впливу на параметри якості обслуговування в мережі MPLS; проведено аналіз впливу обслуговуючого потоку при обслуговуванні голосових повідомлень.*
  14. Маньковский В.Б. Метод оценки пропускной способности сети MPLS. VI Міжнародна науково-технічна конференція «ІТТ» 2012 р. С 85-88.
  15. Нестеренко М.М., Маньківський В.Б., Хазрон І.О., Куриленко Д.М. Порівняльна характеристика операційних витрат при обслуговуванні пакетів на магістралях IP/MPLS. Шоста Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» 2012 р. С 103-105. *Здобувачем обгрунтовано використання метода найменших квадратів для розрахунку операційних витрат при обслуговуванні пакетів на магістралях IP/MPLS.*
  16. Романов О.І., Куриленко Д.М., Маньківський В.Б., Хазрон І.О. Імітаційна модель GNS3 оцінки параметрів якості в мережі IP/MPLS. VII Міжнародна НТК «Проблеми телекомунікацій» 2013 р. С 90-91. *Здобувачем виконано імітаційне моделювання в середовищі GNS3 для оцінки параметрів якості.*
  17. Маньківський В.Б., Романов О.І. Аналітична модель мережі MPLS. VII Міжнародна НТК «Проблеми телекомунікацій» 2013 р. С 62-63. *Здобувачем проведено аналіз впливу обслуговуючого потоку при обслуговуванні голосових повідомлень в мережі MPLS.*
  18. Маньковский В.Б., Рудько Н.Д. Оценка пропускной способности сети Ethernet и способы ее повышения. VII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» 2013 р. С 68-69. *Здобувачем запропоновані методи підвищення пропускної здатності мережі IP/MPLS на основі врахування взаємного впливу потоків.*
  19. Романов О.І., Нестеренко М.М., Маньківський В.Б., Доманчук В.С. Використання VM VIRTUAL BOX для розширення можливостей GNS3.

- Матеріали восьмої міжнародної науково - технічної конференції «Проблеми телекомунікацій», 2014 р. С 179-182. *Здобувачем виконано імітаційне моделювання в середовищі GNS3 для оцінки QoS в мережі MPLS.*
20. Романов О.І., Гордашник Є.С., Маньківський В.Б. Принцип побудови IP-телефонії на базі SOFTSWITCH. Матеріали ІХ міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій», 2015 р. с 131-134. *Здобувачем описано стадії побудови IP-телефонії на базі SoftSwitch.*
21. Маньковський В.Б. Оценка производительности трафика в сети MPLS с использованием Traffic Engeneering. Десята Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» 2016 р. С 173-176. *Здобувачем виконане імітаційне моделювання в середовищі GNS3 для оцінки параметрів затримки та джитер при обслуговуванні голосових повідомлень в MPLS.*

### АНОТАЦІЯ

**Маньківський В.Б. Методи оцінки якості обслуговування і пропускної здатності тунельованої мережі MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2017.

Дисертація присвячена розробки методів оцінки якості обслуговування і пропускної спроможності мережі MPLS при обробці голосових повідомлень.

Розроблено математичну модель функціонування мережі MPLS в режимі обслуговування голосових повідомлень, дана модель дозволяє провести декомпозицію мережі на окремі напрямки зв'язку, поставити у відповідність напрямку відповідний LSP мережі MPLS, привести модель до стандартної СМО.

Удосконалено метод розрахунку пропускної здатності мережі MPLS відмінністю від існуючих є те, що введено етап прогнозування імовірності втрат на тунелях мережі до етапу розподілу навантаження.

Удосконалено метод розрахунку необхідної продуктивності гілок мережі MPLS за показниками пропускної спроможності. Зменшена обчислювальна складність при однозначному визначенні порядку вибору для розрахунку напрямків зв'язку, а також підвищена точність отриманих результатів.

**Ключові слова:** MPLS, розподіл навантаження, пропускна здатність, напрямок зв'язку, LSP, QoS.

### АННОТАЦИЯ

**Маньковський В.Б. Методы оценки качества обслуживания и пропускной способности тунелированной сети MPLS при обслуживании голосовых сообщений.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена разработке методов оценки качества обслуживания и пропускной способности сети MPLS при обработке голоса.

Разработана математическая модель функционирования сети MPLS в режиме обслуживания голосовых сообщений, данная модель позволяет провести декомпозицию сети на отдельные направления связи, поставить в соответствие направлению связи LSP сети MPLS, привести модель в стандартной СМО.

Усовершенствован метод расчета пропускной способности сети MPLS отличием от существующих является то, что введено этап прогнозирования вероятности потерь на туннелях сети до этапа распределения нагрузки.

Усовершенствован метод расчета требуемой производительности ветвей сети MPLS по показателям пропускной способности. Сущность улучшения заключается в том, что учтено взаимодействие направлений связи сети MPLS.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, MPLS, распределение нагрузки, пропускная способность, направления связи, LSP, QoS

### SUMMARY

**Mankivskyi V.B. Evaluation method quality of service and bandwidth abilities in tunneled MPLS network serviced by voice.** – Manuscript copyright.

Thesis for a candidate degree in specialty 05.12.02 - Telecommunication systems and networks. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2017.

The dissertation is devoted to developing methods for assessing the quality of service and bandwidth tunnel MPLS network at service load real time. This allows for determining extent that the quality of customer service online normalized value and determine the necessary logistical costs of network with the necessary bandwidth. Analytical description of telecommunications networks functioning brings to rather difficult mathematical expressions.

Therefore, solving tasks of control, planning and estimation of service quality in directions of telecommunications network connection we do not always succeed in getting an acceptable to practice result. So, for example, solving the tasks of determination of acceptable values of quality of service on the branches of network at the set limits on qualities of service in directions of connection, it is necessary to decide the system from inequalities (where  $n$  is the number of junctions in a network). As variables, the indexes of quality of service on the branches of network used in inequalities.

Thus, in networks with dynamic routing of streams of requests the same branch used for transmission information in many directions of connection. Therefore, any change of index of QoS on one of the network branches leads to the change of service quality in a number of directions. As researches show, depending on complexity of network structure, degree of compendency of its structure, numbers of roundabout ways in connection directions, some branches can participate in maintenance of requests of all of 40-60% connection directions.

Besides the same branch, depending on the parameters of connection, functions under various conditions. For example, if the number of transits on the way of information transmission is very large, requirements to service quality on every branch

of connection are harder. If the number of transits on the way of information transmission is small, requirements to quality of service decrease.

Therefore, it is almost impossible to get the exact solution to the set of inequalities, reflecting the implementation of requirements to the quality of service in directions of connection. While solving such type of tasks the issue suggests being oriented to the coefficient change of the use of channels in a telecommunications network.

For example, forming the plan load partition, which determines the type of the inequalities set, may arise a situation, when it is impossible to define the optimum way of information data transmission. In this case it is recommended to choose the way which leads to the increase of general coefficient of the use of channels in a network when the set indexes of the service quality in connection directions is observed. Finally, it allows minimizing the necessary number of channels and, as a result, total charges on the equipment.

However, utilization of coefficient of channels in a standard way has a number of inconveniences. Firstly, the coefficient of the use of channels described by non-differentiated functions. Secondly, analytical expressions, describing connections of the coefficient of the use of channels, do not allow expressing in an obvious way the dependence of one parameter through others. That is why it is expedient to use similar analytical models, allowing to remove these disadvantages.

The mathematical model the MPLS network is develops in maintenance mode voice messaging. Feature is that this model allows for the decomposition of the network for certain areas of communications, track passing loads during service, put in correspondence to each transmission of information on LSP MPLS network, bring the model to the standard QoS.

The method of calculating bandwidth MPLS difference from existing is that entered stage forecasting the probability of losses in the tunnel network to stage load distribution. This reduces the computational complexity and eliminate the uncertainty inherent in existing methods and assess the workload of network elements MPLS and can be used as guidelines for decision making in the management of the network.

The method of calculating the required output branches MPLS network in terms of bandwidth. The difference between this result from the previously known that defines its novelty and the essence of improvement is that considered interaction directions due to the branches network MPLS, reduced computational complexity with an unambiguous determination of the order of selection for calculating the areas of communication and increased the accuracy of the results.

**Keywords:** telecommunication network, MPLS, load balancing, bandwidth, directions of communication, LSP, QoS.

Підписано до друку 30.11.2017 Формат 60x90/16  
Ум. Друк.арк. 0,9. Обл-вид. арк 0,9.  
Наклад 100 прим. Замовлення №37-3  
Віддруковано на різнографі в видавничому центрі «Принт-центр»  
04053, м.Київ, вул. Політехнічна, 35  
Тел./факс: 486-50-88, 332-41-10, 277-40-16  
<http://www.printc.com.ua>. E-mail printcentr@ukr.net