

В.І. Романчук, Ю.В. Антонюк, А.В. Поліщук  
Національний університет “Львівський політехніка”

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ IP/MPLS ЗА РІЗНИХ МЕРЕЖЕВИХ ТОПОЛОГІЙ

© Романчук В.І., Антонюк Ю.В., Поліщук А.В., 2009

**Досліджено залежності часу затримки від способу об'єднання кільцевих структур в MPLS-мережі і методи підвищення швидкості передачі інформації у мережах з технологією MPLS. Застосовано найоптимальнішу кільцеву структуру.**

**Work is devoted research of dependences of times of delay from the method of association of circular structures in MPLS – to the network and methods of rev-up passing to information in networks with technology of MPLS. And also application of the most optimum circular structure.**

### Вступ

Основна перевага протоколу TCP/IP – його багатофункціональність і гнучкість. Ось вже тридцять років цей протокол є основним для мережі Internet, що об'єднує сьогодні більше як 500 мільйонів користувачів. За цей час стек протоколів TCP/IP, з одного боку, поповнився протоколами прикладного рівня (такими, як HTTP – гіпертекстовий протокол, SMTP – поштовий протокол, FTP – протокол пересилки файлів тощо), а з іншого, – знайшов сумісність з усіма популярними стандартами фізичного, каналного і мережевого рівнів, у тому числі і X.25. Проте широкі можливості мережі на основі стеку протоколів TCP/IP не відмінюють її недоліків. Основні з них – це проблеми безпеки і гарантії якості зв'язку. І якщо завдання із забезпечення безпеки IP-мережі ще можна розв'язати, використовуючи різні механізми шифрування і захисту (наприклад, стандарти IPSec), то проблема відсутності гарантованої швидкості передачі даних, яку вимагають такі чутливі до затримок застосування (системи передачі голосу і відео), поки залишається невирішеною.

**MPLS (Multiprotocol Label Switching)** – це технологія швидкої комутації пакетів у багатопротокольних мережах, що ґрунтується на використанні міток. **MPLS** розробляється і позиціонується як спосіб побудови високошвидкісних IP-магістралей, проте область її застосування не обмежується протоколом IP, а розповсюджується на трафік будь-якого мережевого протоколу, що маршрутизується.

Традиційно головними вимогами, що пред'являються до технології магістральної мережі, були висока пропускна здатність, мале значення затримки і добра масштабованість. Проте сучасний стан ринку диктує нові правила гри. Тепер постачальникові послуг недостатньо просто надавати доступ до своєї IP-магістралі. Потреби користувачів, що змінилися, включають і доступ до інтегрованих сервісів мережі, і організацію віртуальних приватних мереж (**VPN**), і багато інших інтелектуальних послуг. Попит на додаткові послуги, що реалізуються поверх простого IP-доступу, що зростає, обіцяє принести Інтернет-провайдерам величезні прибутки.

Для розв'язання цих завдань і розробляється архітектура **MPLS**, яка забезпечує побудову магістральних мереж, що мають практично необмежені можливості масштабування, підвищену швидкість обробки трафіка і безпрецедентну гнучкість з погляду організації додаткових сервісів. Крім того, технологія **MPLS** дає змогу інтегрувати мережі IP і ATM, за рахунок чого постачальники послуг зможуть не тільки зберегти засоби, інвестовані в устаткування асинхронної передачі, але і отримати додаткову вигоду із сумісного використання цих протоколів.

### Постановка завдання

Будь-який IP-пакет на вході в мережу MPLS, незалежно від того чи поступає цей пакет від відправника, чи ж він прийшов з суміжної мережі, яка може бути MPLS-мережею більш високого рівня, належить до певного класу еквівалентного пересилання FEC (Forwarding Equivalence Class). Нагадаємо, що аналіз заголовка IP-пакета і призначення FEC проводиться тільки один раз на вході у мережу (рис. 1)

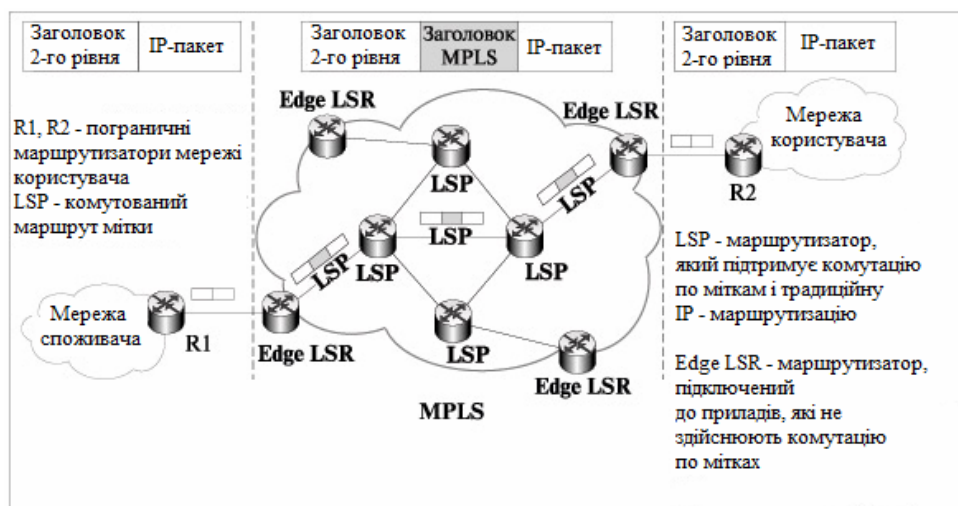


Рис. 1. Фрагмент MPLS-мережі

*Етап 1.* Мережа автоматично формує таблиці маршрутизації. У цьому процесі беруть участь маршрутизатори або комутатори IP+ATM, встановлені в мережі сервіс-провайдер. При цьому застосовуються *внутрішні протоколи маршрутизації, такі як OSPF або IS-IS.*

*Етап 2.* Протокол розподілу міток (Label Distribution Protocol – LDP) використовує відбиту у таблицях топологію маршрутизації для визначення значень мітки, що вказують на сусідні пристрої. У результаті цієї операції формуються маршрути з комутацією по мітках (Label Switched Paths – LSP). Автоматичне привласнення міток MPLS вигідно відрізняє цю технологію від технології приватних віртуальних каналів ATM PVC, що вимагають ручного привласнення VCI/VPI.

*Етап 3.* Вхідний пакет поступає на прикордонний Label Switch Router (LSR), який визначає, які послуги 3-го рівня необхідні цьому пакету (наприклад, QoS або управління смугою пропускання). На основі обліку усіх вимог маршрутизації і правил високого рівня прикордонний LSR вибирає і привласнює мітку, яка записується в заголовок пакета.

*Етап 4.* Пристрій LSR, що знаходиться в опорній мережі, прочитає мітку кожного пакета, замінить старі мітки новими (нові мітки визначаються за локальною таблицею) і передає пакет далі. Ця операція повторюється у кожній точці передачі пакета опорною мережею.

*Етап 5.* На виході пакет потрапляє в прикордонний LSR, який видаляє мітку, прочитає заголовок пакета і передає його за місцем призначення. У магістральних LSR влучна MPLS порівнюється із задалегідь розрахованими таблицями комутації і містить інформацію 3-го рівня. Це дає змогу кожному пристрою LSR автоматично надавати кожному пакету необхідні IP-услуги. Таблиці розраховуються задалегідь, що не потребує повторного оброблення пакетів в кожній точці передачі. Така схема не тільки уможливорює розділити різні типи трафіка (наприклад, відокремити неперіоритетний трафік від критично важливого): вона робить вирішення MPLS добре масштабованими. Оскільки для привласнення міток технологія MPLS використовує різні набори правил (policy mechanisms), вона відокремлює передачу пакетів від змісту заголовків IP. Мітки мають тільки локальне значення і багато разів перевикористовується у великих мережах, тому вичерпати запас міток фактично неможливо. У межах надання корпоративних IP-послуг найголовніша перевага MPLS полягає у здатності привласнювати мітки, що мають спеціальне значення. Набори міток визначають не тільки місце призначення, але і тип додатка, і клас обслуговування.

## Дослідження часу затримки у мережі MPLS

Найпоширенішою топологією для вивчення MPLS-маршрутизації є кільцева топологія і її різні форми поєднання, які і розглянемо.

Для цього дослідження застосовуватиметься час на затримку в лінії.

Найкращою топологією буде та, в якій буде найменший час затримки доставки пакета від пункту А до пункту Б.

Використані для прикладу комутатори:

**3Com 3C16470** – IP-комутатор;

**GENERAL DATACOMMM** – Лучезар 800" – MPLS-комутатор

### Різновиди кільцевих топологічних структур

Перший різновид кільцевих топологій

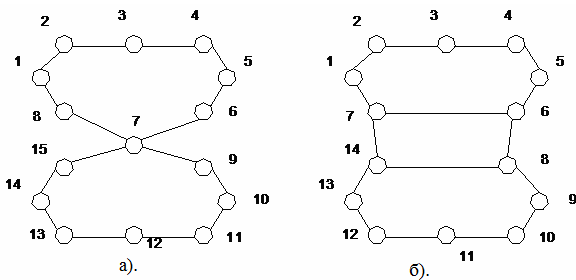


Рис. 2: а – з'єднання кілець в одному вузлі;  
б – з'єднання кілець по загальному ребру

Другий різновид кільцевих топологій

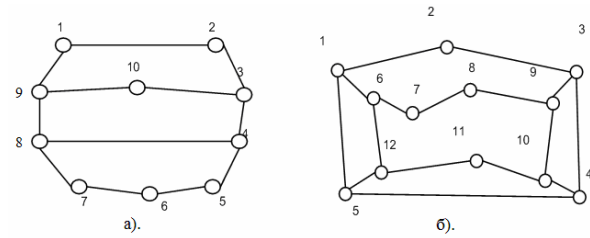


Рис. 3: а – з'єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах;  
б – з'єднання двох кільцевих структур у багатьох вузлах

Третій різновид кільцевих топологій

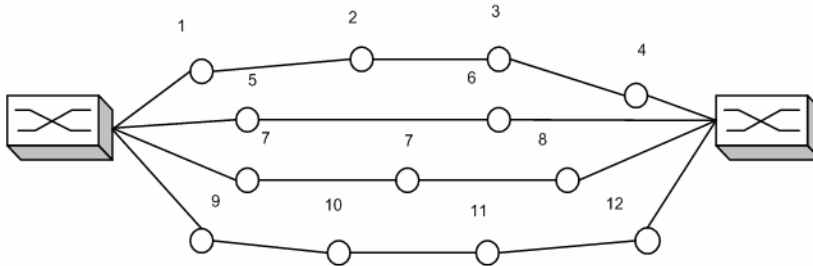


Рис. 4. Кільця, перетворені у лінійну структуру за допомогою двох крос-конекторів

### Дослідження часу затримки від топології мережі

З'єднання кілець в одному вузлі:

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-8,8-7,7-9,9-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-8,8-7,7-9,9-10\})$$

З'єднання кілець по загальному ребру:

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-7,7-6,6-8,8-9,9-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-7,7-6,6-8,8-9,9-10\})$$

З'єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах:

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-9,9-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-9,9-10\})$$

### Дослідження часу затримки від кількості вузлів

З'єднання кілець в одному вузлі:

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-2,2-3,3-4,4-5,5-6,6-7,7-9,9-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-2,2-3,3-4,4-5,5-6,6-7,7-9,9-10\})$$

З'єднання кілець по загальному ребру:

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-7,7-14,14-13,13-12,12-11,11-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-7,7-14,14-13,13-12,12-11,11-10\})$$

З'єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах:

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-2,2-3,3-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-2,2-3,3-10\})$$

З'єднання двох кільцевих структур у багатьох вузлах:

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-6,6-12,12-11,11-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-6,6-12,12-11,11-10\})$$

Кільця, перетворені у лінійну структуру за допомогою двох крос-конекторів:

К – крос-конектор

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-K, K-9,9-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-K, K-9,9-10\})$$

З'єднання двох кільцевих структур у багатьох вузлах:

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-5,5-4,4-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-5,5-4,4-10\})$$

Кільця, перетворені у лінійну структуру за допомогою двох крос-конекторів:

К – крос-конектор

$$t_3(H_{10}^1 = \{1-2,2-3,3-4,4-K, K-12,12-11,11-10\})$$

$$t_3^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-2,2-3,3-4,4-K, K-12,12-11,11-10\})$$

### Дослідження часу затримки від типу комутаторів

*IP-комутатори:* 1 вид – **D-Link DES-1024D** –  $t_{31}=2$  мкс; 2 вид – **D-Link DES-1026G** –  $t_{32}=2.5$  мкс;

*MPLS-комутатори:* 3 вид – **НЗС S9505** –  $t_{33}=1$  мкс; 4 вид – **НЗС S9502** –  $t_{34}=1.2$  мкс.

З'єднання кілець в одному вузлі:

$$t_{31}(H_{10}^1 = \{1-8,8-7,7-9,9-10\})$$

$$t_{32}(H_{10}^1 = \{1-8,8-7,7-9,9-10\})$$

$$t_{33}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-8,8-7,7-9,9-10\})$$

$$t_{34}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-8,8-7,7-9,9-10\})$$

З'єднання кілець по загальному ребру:

$$t_{31}(H_{10}^1 = \{1-7,7-6,6-8,8-9,9-10\})$$

$$t_{32}(H_{10}^1 = \{1-7,7-6,6-8,8-9,9-10\})$$

$$t_{33}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-7,7-6,6-8,8-9,9-10\})$$

$$t_{34}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-7,7-6,6-8,8-9,9-10\})$$

З'єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах:

$$t_{31}(H_{10}^1 = \{1-9,9-10\})$$

$$t_{32}(H_{10}^1 = \{1-9,9-10\})$$

$$t_{33}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-9,9-10\})$$

$$t_{34}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-9,9-10\})$$

З'єднання двох кільцевих структур у багатьох вузлах:

$$t_{31}(H_{10}^1 = \{1-6,6-12,12-11,11-10\})$$

$$t_{32}(H_{10}^1 = \{1-6,6-12,12-11,11-10\})$$

$$t_{33}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-6,6-12,12-11,11-10\})$$

$$t_{34}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-6,6-12,12-11,11-10\})$$

Кільця, перетворені у лінійну структуру за допомогою двох крос-конекторів:

$$t_3(\text{крос-конектора}) = 1 \text{ мкс}$$

К – крос-конектор

$$t_{31}(H_{10}^1 = \{1-K, K-9,9-10\})$$

$$t_{32}(H_{10}^1 = \{1-K, K-9,9-10\})$$

$$t_{33}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-K, K-9,9-10\})$$

$$t_{34}^{MPLS}(H_{10}^1 = \{1-K, K-9,9-10\})$$

Проаналізувавши та дослідивши різні види кільцевих топологій, можна стверджувати, що час затримки під час передачі пакета з одного вузла в інший найменший за MPLS-комутаторів.

У першому досліді, а саме – дослідження часів затримок за різних видів топологій, найменший час затримки має MPLS-комутатор за топології: "З'єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах".

У другому досліді – дослідження часу затримки за різної кількості вузлів, найменший час затримки має MPLS-комутатор, за топологій: "З'єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах" та "З'єднання двох кільцевих структур у багатьох вузлах".

За MPLS-комутатора (**НЗС S9505**) час затримки інформації буде найменший.

Найкращою топологією за різних випадків за даними дослідження є "З'єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах".

**Моделювання MPLS-мережі України**  
**Запропонована магістральна мережа України**  
**на основі технології IP/MPLS з кільцевою топологією.**

Враховуючи результати попереднього розділу, найоптимальнішу серед представлених топологій обираємо “З’єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах” і застосовуємо її на карті України для побудови магістральної MPLS-мережі.



*Рис. 5. Карта-схема запропонованої магістральної мережі на основі технології MPLS*

**Вибираємо потрібний комутатор:**

**Маршрутизуючий комутатор ZXR10 T64G.**

Маршрутизуючий комутатор Zxr10 T64g/t64g-ei MPLS 10g – це високопродуктивний комутатор нового покоління великої місткості, пропускна здатність об’єднувальної панелі якого досягає 900 Гбіт/с, містить комутації у 480 Гбіт/с. Швидкість пересилання пакетів – 357 Мбіт/с з комутацією L2/L3/L4 на швидкості каналу.

Zxr10 Zxr10 T64g/t64g-ei MPLS 10g має модульну конструкцію і механізм паралельної обробки з використанням множинних процесорів. У T64g/t64g-ei використана архітектура високошвидкісної комутації пакетів Crossbar, у ній підтримується широкий спектр інтерфейсів, включаючи 10ge, GE, FE і POS, і такі різноманітні службові функції, як MPLS, QOS, багатоадресна передача і регулювання смуги пропускання (табл. 1).

*Таблиця 1*

**Запропоновані швидкості передачі пакетів по ВОЛЗ з технологією MPLS**

| Лінія передачі                               | Тип лінії | Протяжність, км | Швидкість передачі |
|--|-----------|-----------------|--------------------|
| “Полісся” (Київ-Житомир-Рівне-Луцьк-Львів)   | ВОЛЗ      | 660             | 155 Мбіт/с         |
| “Карпати” (Львів-Ужгород)                    | ВОЛЗ      | 290             | 2.5 Гбіт/с         |
| “Дністер” (Київ-Вінниця-Одеса)               | ВОЛЗ      | 779             | 2.5 Гбіт/с         |
| “Поділля” (Вінниця-Чернівці-Ужгород)         | ВОЛЗ      | 430             | 2.5 Гбіт/с         |
| Одеса-Миколаїв                               | ВОЛЗ      | 80              | 2.5 Гбіт/с         |
| “Таврія” (Миколаїв-Херсон-Сімферополь)       | ВОЛЗ      | 390             | 2.5 Гбіт/с         |
| Київ-Чернігів                                | ВОЛЗ      | 98              | 155 Мбіт/с         |
| “Десна” (Чернігів-Суми)                      | ВОЛЗ      | 376             | 155 Мбіт/с         |
| Суми-Харків                                  | ВОЛЗ      | 100             | 622 Мбіт/с         |
| “Вуглик” (Харків-Луганськ-Донецьк-Запоріжжя) | ВОЛЗ      | 550             | 2.5 Гбіт/с         |
| “Січ” (Запоріжжя-Мелітополь)                 | ВОЛЗ      | 137             | 622 Мбіт/с         |
| “Січ” (Мелітополь-Джанкой-Сімферополь)       | ВОЛЗ      | 335             | 2.5 Гбіт/с         |
| Харків-Полтава-Кіровоград-Миколаїв           | ВОЛЗ      | 420             | 622 Мбіт/с         |

У кожному вузлі встановлене обладнання MPLS, а саме: маршрутизуючий комутатор ZXR10 T64G. Час затримки такого комутатора становить 0.5 мкс. А також для порівняння використаємо IP-комутатор: 12-портовий гігабітний комутатор ZyXEL Dimension GS-3012F EE. Час затримки такого комутатора становить 1.2 мкс.

### Вибираємо маршрути проходження пакетів:

#### 1. Львів-Ужгород-Чернівці-Вінниця-Одеса-Миколаїв-Херсон-Сімферополь.

Час затримки в лінії між містами розраховується в такий спосіб:

Довжина TCP-пакета – 1500 байт.

$$t_{з, \text{Львів-Ужгород}} = \left( \frac{L_{TCP}}{V_{\text{передачі в лінії}}} \right) = \frac{1500 \text{ байт}}{2500 \text{ Мбіт/с}} = \frac{1500 \cdot 8 \text{ біт}}{2500 \cdot 10^6 \text{ біт}}$$

$$t_{з, \text{Ужгород-Чернівці-Вінниця}} = \left( \frac{L_{TCP}}{V_{\text{передачі в лінії}}} \right) = \frac{1500 \text{ байт}}{2500 \text{ Мбіт/с}} = \frac{1500 \cdot 8 \text{ біт}}{2500 \cdot 10^6 \text{ біт}}$$

$$t_{з, \text{Вінниця-Одеса}} = \left( \frac{L_{TCP}}{V_{\text{передачі в лінії}}} \right) = \frac{1500 \text{ байт}}{2500 \text{ Мбіт/с}} = \frac{1500 \cdot 8 \text{ біт}}{2500 \cdot 10^6 \text{ біт}}$$

$$t_{з, \text{Одеса-Миколаїв}} = \left( \frac{L_{TCP}}{V_{\text{передачі в лінії}}} \right) = \frac{1500 \text{ байт}}{2500 \text{ Мбіт/с}} = \frac{1500 \cdot 8 \text{ біт}}{2500 \cdot 10^6 \text{ біт}}$$

$$t_{з, \text{Миколаїв-Херсон-Сімферополь}} = \left( \frac{L_{TCP}}{V_{\text{передачі в лінії}}} \right) = \frac{1500 \text{ байт}}{2500 \text{ Мбіт/с}} = \frac{1500 \cdot 8 \text{ біт}}{2500 \cdot 10^6 \text{ біт}}$$

Час затримки проходження пакета маршрутом Львів – Сімферополь за MPLS-комутаторів розраховуємо так:

$$t_{з, \text{загальний}}^{MPLS} (H_{\text{Сімферополь}}^{\text{Львів}} = \left. \begin{array}{l} \text{Львів – Ужгород, Ужгород – Чернівці –} \\ \text{Вінниця, Вінниця – Одеса,} \\ \text{Одеса – Миколаїв, Миколаїв –} \\ \text{Херсон – Сімферополь} \end{array} \right\} =$$

$$= t_{з, \text{Львів-Ужгород}} + t_{з, \text{Ужгород-Чернівці-Вінниця}} + t_{з, \text{Вінниця-Одеса}} + t_{з, \text{Одеса-Миколаїв}} +$$

$$+ t_{з, \text{Миколаїв-Херсон-Сімферополь}} + (t_z^{MPLS} \cdot N_{\text{вузлів}}).$$

Час затримки проходження пакета маршрутом Львів – Сімферополь за IP-комутаторів розраховуємо так:

$$t_{з, \text{загальний}}^{IP} (H_{\text{Сімферополь}}^{\text{Львів}} = \left. \begin{array}{l} \text{Львів – Ужгород, Ужгород – Чернівці –} \\ \text{Вінниця, Вінниця – Одеса,} \\ \text{Одеса – Миколаїв, Миколаїв –} \\ \text{Херсон – Сімферополь} \end{array} \right\} =$$

$$= t_{з, \text{Львів-Ужгород}} + t_{з, \text{Ужгород-Чернівці-Вінниця}} + t_{з, \text{Вінниця-Одеса}} + t_{з, \text{Одеса-Миколаїв}} +$$

$$+ t_{з, \text{Миколаїв-Херсон-Сімферополь}} + (t_z^{IP} \cdot N_{\text{вузлів}}).$$

Те саме робимо з маршрутами:

#### 2. Львів-Луцьк-Рівне-Житомир-Київ.

#### 3. Київ-Чернігів-Суми-Харків-Луганськ-Донецьк-Запоріжжя.

#### 4. Ужгород-Чернівці-Вінниця-Київ.

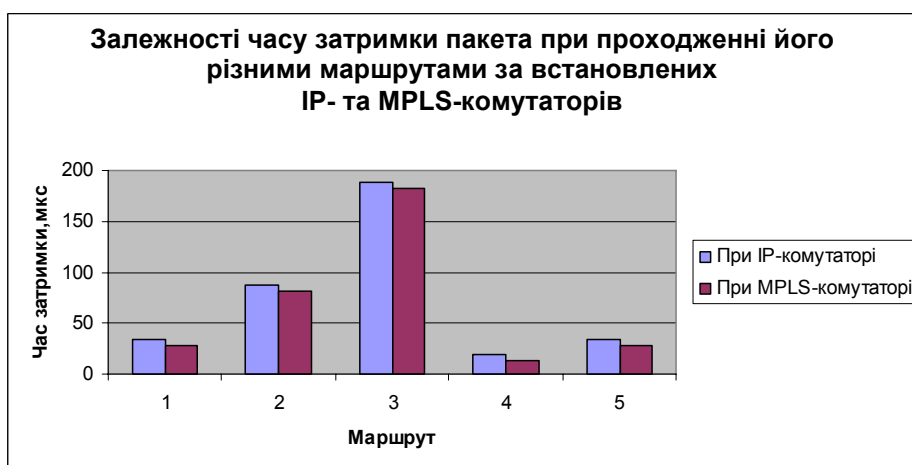
#### 5. Харків-Полтава-Кіровоград-Миколаїв-Одеса.

Дані зводимо в табл. 2.

**Залежності часу затримки пакетів в мережі від вибраного маршруту за IP- та MPLS-комутаторів; процентний виграш MPLS-комутатора**

| Запропоновані маршрути   | Час затримки пакета в мережі за різних комутаторів, мкс |       | Виграш MPLS-коммутатора, % |
|--|---|-------|----------------------------|
|  | MPLS  | IP    |                            |
| Львів-Ужгород-Чернівці-Вінниця-Одеса-Миколаїв-Херсон-Сімферополь | 28  | 34    | 17.6                       |
| Львів-Луцьк-Рівне-Житомир-Київ                                   | 81.4  | 87    | 6.6                        |
| Київ-Чернігів-Суми-Харків-Луганськ-Донецьк-Запоріжжя             | 182.9   | 188.5 | 3                          |
| Ужгород-Чернівці-Вінниця-Київ                                    | 13.6  | 19.2  | 29.2                       |
| Харків-Полтава-Кіровоград-Миколаїв-Одеса                         | 28.1  | 33.7  | 26.6                       |

Звівши дані, розраховані у цьому розділі, у таблицю залежностей часу затримки пакетів у мережі від вибраного маршруту за IP- та MPLS-комутаторів, зрозуміло, що виграш за часом затримки у MPLS-комутаторів. За даними дослідження видно: виграш MPLS-комутатора над IP-комутатором найбільший на шляху: *Ужгород-Чернівці-Вінниця-Київ* – 29.2 %; найменший на шляху: *Київ-Чернігів-Суми-Харків-Луганськ-Донецьк-Запоріжжя* – 3 %.



*Рис. 6. Залежності часу затримки пакета під час проходження його різними маршрутами за встановлених IP- та MPLS-комутаторів:  
1 – Львів – Сімферополь; 2 – Львів – Київ; 3 – Київ – Запоріжжя;  
4 – Ужгород – Київ; 5 – Харків – Одеса*

Гістограма 1 показує, що виграш MPLS-комутатора над IP-комутатором – безсумнівний. Як зрозуміло з даних гістограми, чим найменший час затримки буде на маршруті, в нашому випадку: Ужгород – Київ, тим більшим буде і виграш MPLS-комутатора, якщо, наприклад, взяти маршрут *Київ – Запоріжжя*, то відрив у виграші буде не значний, як вже згадувалося раніше, – 3 %, у першому – 29.2 %.

### Висновки

У цій роботі проаналізовано і досліджено ефективність технології IP/MPLS за різних кільцевих топологічних структур. Результатом роботи є модифіковані методи розрахунку і аналіз комутаторів в магістральних MPLS-мережах, що дало можливість підвищити якість передавання інформації (зменшення часу затримки) шляхом оптимізації структури MPLS-мережі. У роботі:



1) проведено аналіз методів розрахунку, принципів проектування та існуючих способів моделювання магістральних кільцевих мереж, розроблено модель магістральної MPLS-мережі на основі MPLS-комутаторів;

2) виведено вирази для розрахунку часу затримок, що дають змогу визначити, яка з досліджуваних топологій є найоптимальнішою для практичного застосування на магістральній MPLS-мережі;

3) проведено комплексний аналіз часу затримки під час використання різних кільцевих топологій і запропоновано для подальшого дослідження кільцеву топологію: “З’єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах”;

4) вдосконалено метод збільшення швидкості передачі інформації шляхом зменшення часу доставки пакета у магістральних мережах на основі покращання швидкості передачі каналом зв’язку. Вдосконалений метод дає змогу розрахувати, на якому з маршрутів швидкість передачі інформації буде більшою і якіснішою, враховуючи усі затримки як у вузлах, так і на лінії;

5) досліджено залежності часу затримки пакета під час проходження його різними маршрутами від встановлених IP- та MPLS-комутаторів (1 – Львів – Сімферополь; 2 – Львів – Київ; 3 – Київ – Запоріжжя; 4 – Ужгород – Київ; 5 – Харків – Одеса). Показано, що магістральна структура побудована на основі топології “З’єднання двох кілець у віддалених несуміжних вузлах” є найбільш оптимальним розв’язком з погляду часу затримки мережевої системи, а використання для побудови магістральних платформ топології “З’єднання кілець по загальному ребру” внаслідок високого часу затримки є небажаним.

Розроблено методику визначення оптимального шляху проходження пакетів мережею MPLS загалом, яка враховує усі затримки у цій топології і дає змогу наочно побачити недоліки в проектуванні магістральної мережі на основі MPLS-технології.

*1. Гулевич Д.С. Сети связи следующего поколения. – М., 2000. 2. Однорог П.М., Омецінська О.Б., Михайленко Є.В. WDM. – 3-тє вид. / Під ред. В.Б. Катка. – К., 200. 3. Вербовецкий А.А. Основы проектирования цифровых оптоэлектронных систем связи. – М.: Радио и связь, 2000 – 160 с. 4. Сергеева Т.М., Баркова И.В. Оптимизация проектирования сетей SDH с резервированием // Вестник связи. – 2003. – № 11. 5. Климаш М.М. Романчук В.І. Розрахунок ефективності використання пропускної здатності каналу для різних видів трафіка та мережевих технологій // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Ком’ютерні системи проектування. Теорія і практика”. – 2003.*