

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ У МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ IP/MPLS ТА DWDM

© Стрихалюк Б. М., Гуськов П. О., Андрущак В. С., Мурак В. Є. Редчук С. М., 2015

Запропоновано архітектуру IP over OTN over DWDM мережі для поліпшення якості надання послуг шляхом інтеграції технологій MPLS та DWDM. Розроблено метод класифікації трафіку та вдосконалено модель крайового маршрутизатора, який забезпечує ефективніше використання оптичних ресурсів і адаптується під вибуховий IP трафік. На основі запропонованого алгоритму агрегації вхідного трафіку побудовано імітаційну модель, результати якої показали, що ефективність використання ресурсів мережевого вузла збільшилася на 25 %.

**Ключові слова:** IP/MPLS, OTN, QoS, агрегація, клас обслуговування.

B. M. Strykhalyuk, P. O. Huskov, V. S. Andrushchak, V. Ye Murak, S. M. Redchuk  
Lviv Polytechnic National University

## IMPROVING THE QUALITY OF SERVICE IN MULTISERVICE NETWORKS BY INTEGRATING TECHNOLOGIES IP / MPLS AND DWDM

© Strykhalyuk B.M., Huskov P.O., Andrushchak V.S., Murak V.Ye, Redchuk S.M., 2015

IP traffic is growing and setting new tasks for improving the quality of telecommunications services. To resolve this problem in this paper has been proposed IP over OTN over DWDM network architecture, which peculiarity is OTN level that separates the logical and physical topology in IP / MPLS and DWDM networks with MPLS control plane. In the proposed architecture IP / MPLS routers has been connected to multiservice optical transport platforms.

In this paper has been defined three basic classes of traffic that will simplify the process of analysis and incoming flows. The first class is real-time traffic. It can be divided into two types: signaling – its required for access and interoperability transmitted through the signal wavelength – and real-time traffic (broadcast and video). The second class is streaming traffic. He is not very responsive to delays, but is responsive to jitter and loss. The third class is elastic traffic, which bandwidth changes has no effect on quality of service. Elastic traffic belongs to class of traffic that is responsive to losses, inresponsive to delay and noresponsive to jitter. For example, its the e-mail traffic, data transfer, web-based applications.

Based on the three-level architecture IP / MPLS over OTN over DWDM, and methods for classification of traffic has been improved pattern edge router that provides a more efficient use of optical resources and adapts to explosive IP traffic. Based on the proposed algorithm incoming traffic aggregation were built simulation model that allows to estimate its effectiveness.

The simulation results showed that the efficiency of use network node resources has increased by 25 %, which leads to lower workload of hardware resources.

**Key words:** IP/MPLS, OTN, QoS, aggregation, class of service.

### Вступ

Сьогодні спостерігається тенденція до зростання IP трафіку. Це ставить перед оператором завдання підвищити якість надання телекомунікаційних послуг. Для вирішення цієї проблеми, а саме передавання великого обсягу даних, в оптичних мережах використовують технологію зі спектральним ущільненням каналів (WDM) на основі архітектури IP over DWDM.

У дворівневій архітектурі IP over DWDM маршрутизатори безпосередньо з'єднані з оптичними WDM системами, які забезпечують оптичні канали типу "точка-точка". Проблемою в такій архітектурі є те, що кожен пакет може мати різну довжину і різну тривалість обробки. У таких умовах джитер між пакетами буде змінюватись. Такі потоки повинні напряму проходити через дороге О-Е-О перетворення на проміжних маршрутизаторах, що теж вносить додаткову затримку і призводить до зниження швидкодії мережі. Використання архітектури IPover DWDM у пакетних мережах призводить до неефективного використання ресурсів оптичного тракту (довжин хвиль). Також використовуються дорогі оптичні інтерфейси IP-маршрутизаторів. Ця архітектура не здатна реалізувати принципи управління трафіком та швидке відновлення в умовах, коли відбулася відмова у роботі обладнання. Однією із особливостей цієї архітектури є те, що сигнальна інформація та корисна інформація передаються на різних довжинах хвиль.

Для вирішення вищесказаних проблем необхідно ввести транспортну технологію, яка виконуватиме функції проміжного між IP та DWDM рівня і дасть змогу вирішити проблему ефективнішого використання пропускну здатності кожної із довжин хвиль.

### **Архітектура IPover OTN over DWDM з використанням принципу MPLS комутації**

Сьогодні вже є ціла низка транспортних технологій. Наприклад, синхронна технологія SDH неефективно використовує пропускну здатність і погано адаптується під вибуховий IP трафік. Технологія Gigabit Ethernet характеризується негарантованим часом доступу до мережі, а також не може використовуватись для потоків реального часу через непередбачувані затримки і відсутність класів обслуговування. В цій роботі для вирішення вищесказаних проблем запропоновано використати транспортну технологію OTN з впровадженням трирівневої архітектури IP over OTN over DWDM з площиною управління MPLS.

Технологія OTN надає такі переваги:

- дозволяє підвищити ефективність мереж, забезпечивши ефективне використання пропускну здатності зі зменшенням затрат на реалізацію приватних ліній;
- оптимізовано операції для автоматизації обладнання та моніторингу ресурсів;
- дозволяє прискорити реагування системи на запит на надання нових сервісів та зміну режиму послуг;
- розширено інтелект мережі та забезпечено подальшу її оптимізацію у міру росту та розвитку послуг.

У запропонованій архітектурі маршрутизатори IP/MPLS фізично підключені до оптичних мультисервісних транспортних платформ. Особливістю такої архітектури є OTN рівень, який є проміжним рівнем між IP/MPLS і DWDM. Він розділяє логічну та фізичну топології. Маршрутизатори IP/MPLS забезпечують логічне з'єднання, тоді як OTN/DWDM забезпечує з'єднання, що базуються на фізичній топології. Впровадження технології IP over DWDM на основі IP/MPLS зберігає використання мітки як невід'ємного елемента процесу комутації MPLS.

Запропонована архітектура представлена у вигляді трьох логічних рівнів: IP/MPLS, OTN та DWDM.

1. IP/MPLS рівень. На цьому рівні здійснюється класифікація та агрегація вхідного трафіку, розрахунок та побудова LSP (Label Switched Path – шлях, комутований по мітках) з урахуванням принципів Traffic Engineering (прокладання наскрізних каналів із відповідними пропускними здатностями), розподіл міток та управління нижчими рівнями архітектури. Перераховані функції реалізуються протоколами OSPF, LDP та RSVP, а також розробленими у цій роботі алгоритмами роботи IP/MPLS маршрутизаторів. Як результат, IP/MPLS рівень, використовуючи особливості транспортних технологій нижчих рівнів, пропонує широкі можливості керування трафіком, що уможливує реалізацію множинних та ієрархічних параметрів якості обслуговування (QoS) та гарантованого рівня обслуговування (SLA), забезпечує надійність мережі та високий рівень відмовостійкості за рахунок швидких і гнучких механізмів захисту та відновлення, забезпечує загальне керування та функції OAU (обробка, адміністрування та управління) для всіх сервісів.

2. На OTN рівні здійснюється процес формування цифрової обгортки згідно зі стандартом G.709. Цей рівень забезпечує прозорість передавання протоколів та ефективний механізм корекції помилок FEC (Forward Error Correction). Завдяки технології OTN досягається ефективне використання пропускної здатності зі зменшенням витрат на прокладання додаткових оптичних ліній. OTN має розширені можливості експлуатації, адміністрування та обслуговування, підтримує ефективний транспорт і комутацію (мультиплексування) ODU фреймів, оптимізацію операцій для моніторингу та управління ресурсами мережі. Забезпечує автоматизацію робочих функцій – таких як сервісне обслуговування, оновлення списку обладнання та топології мережі, що дає змогу знизити трудовитрати персоналу і одночасно прискорити реагування на запити нових сервісів і зміни режиму послуг. OTN рівень підвищує інформаційну насиченість мережі, забезпечує випереджувальне і реактивне обслуговування залежно від поточних умов (наприклад, множинні паралельні збої, маршрути з високим рівнем затримок і будь-які інші фактори, що впливають на якість обслуговування).

3. На DWDM рівні здійснюється процес комутації фізичних каналів (довжин хвиль), а саме комутація між відповідним номером волокна та довжиною хвилі. Основними функціями цього рівня є операції мультиплексування та демультиплексування, а саме – об'єднання довжин хвиль та виділення інформації кожного каналу із загального сигналу. DWDM рівень забезпечує перенесення блоків OTU (оптичних фреймів) між двома термінальними вузлами мережі.

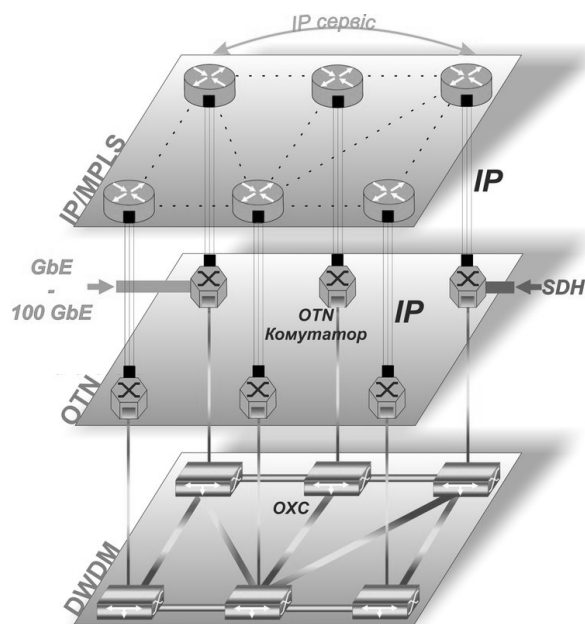


Рис.1. Логічне представлення мережі IP/MPLS over OTN over DWDM

### Диференціація класів трафіку за QoS на крайовому маршрутизаторі мережі

Для ефективнішого використання смуги пропускання кожної довжини хвилі у запропонованій архітектурі удосконалено модель крайового маршрутизатора. Це передбачає класифікацію вхідного потоку відповідно до вимог щодо якості обслуговування. Враховуючи це, пропонується визначити три основні класи трафіку, що дозволить спростити процеси аналізу та обслуговування вхідних потоків.

Перший клас – це трафік реального часу (real time). Його можна розділити на два типи: службовий трафік (сигналізаційний трафік), який необхідний для взаємодії мереж доступу і передається через сигнальну довжину хвилі, та безпосередньо трафік реального часу (мовлення та відео).

Другий клас – потоковий трафік, який не є дуже чутливим до затримок, однак чутливий до джитера та втрат. Прикладом може бути аудіо на вимогу, відео на вимогу та інтернет-мовлення.

Третій клас – еластичний трафік, тобто трафік, для якого зміна пропускної здатності каналу практично не впливає на якість обслуговування. Еластичний трафік належить до класу трафіків, чутливих до втрат, малочутливих до затримок та нечутливих до джитера. Цей клас для передавання

використовує протокол TCP. Прикладом може бути трафік електронної пошти, пересилання даних, веб-додатків.

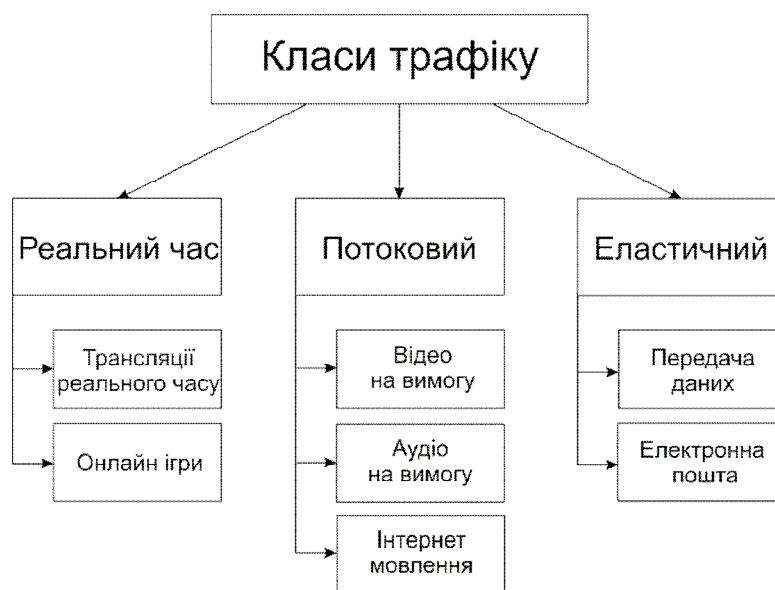


Рис. 2. Класифікація типів трафіку

### Структурно-функціональна схема удосконаленого крайового маршрутизатора MPLS

На основі запропонованої тривірневої архітектури IP/MPLS over OTN over DWDM, а також методів класифікації трафіку вдосконалено модель крайового маршрутизатора, який забезпечує ефективніше використання оптичних ресурсів і адаптується під вибуховий IP трафік.

Запропонована архітектура використовує технологію OTN, яка є асинхронною, на відміну від SDH. Це означає, що момент відправки транспортного модуля з вихідного вузла не є чітко визначеним (наприклад, синхронізованим з центральним годинником, як в SDH). Відповідно постає питання визначення оптимального моменту відправки транспортного модуля.

Момент відправлення блока даних є одним з основних факторів, який впливає на продуктивність і ефективність мережі та якість обслуговування. Відповідно до запропонованої моделі крайовий вузол мережі забезпечує агрегацію інформаційних потоків від мереж доступу (IP мережі, мережі мобільного зв'язку, центри обробки даних, приватні локальні мережі підприємств та державних організацій) та формує з цих потоків транспортні модулі. У випадку надходження IP пакета на конкретний крайовий вузол (маршрутизатор) перший крок – аналіз та визначення його FEC (Forwarding Equivalence Class – клас передавання). Після цього відбувається запис пакета в один з буферів  $\text{Buff-FEC}_1 - \text{Buff-FEC}_N$ , де  $N$  – кількість мереж призначення. Структурно-функціональна схема такого маршрутизатора відображена на рис. 3.

У разі впровадження IP over OTN over DWDM на основі IP/MPLS мітка присвоюється OTN фрейму, який містить пакети з однаковим класом еквівалентності FEC.

Основними структурними елементами запропонованої моделі крайового вузла є:

#### 1. Traffic Engineering менеджер (TEM):

- забезпечує роботу протоколів динамічної маршрутизації: OSPF, IS-IS, E-IGRP;
- забезпечує роботу протоколів розподілу міток LDP, RSVP-TE;
- забезпечує роботу протоколу управління з'єднанням LMP;
- на основі роботи вищесказаних протоколів формує таблицю MPLS комутації (з урахуванням номера волокна та номера довжини хвилі) та формує LSP (маршрути за мітками);
  - по  $\lambda_c$  здійснює обмін службовою інформацією (топология мережі, мітки, завантаженість каналів) з іншими вузлами мережі;
  - у певних умовах формує наскрізний канал, резервуючи одну або декілька довжин та використовуючи роботу протоколу RSVP-TE .

## 2. Таблиця комутації MPLS (MPLSS witching table):

- на основі контрольної інформації формує копію таблиці комутації та вносить до неї зміни під час реконфігурації мережі.

## 3. Копія таблиці комутації MPLS (CMST):

- здійснює комутацію за мітками на OTN рівні (вх. номер волокна, вх. довжина хвилі, вх. мітка – вих. номер волокна, вих. довжина хвилі, вих. мітка);
- формує мітки, які будуть записуватися в поле ODU сформованих OTN фреймів у процесі агрегації.

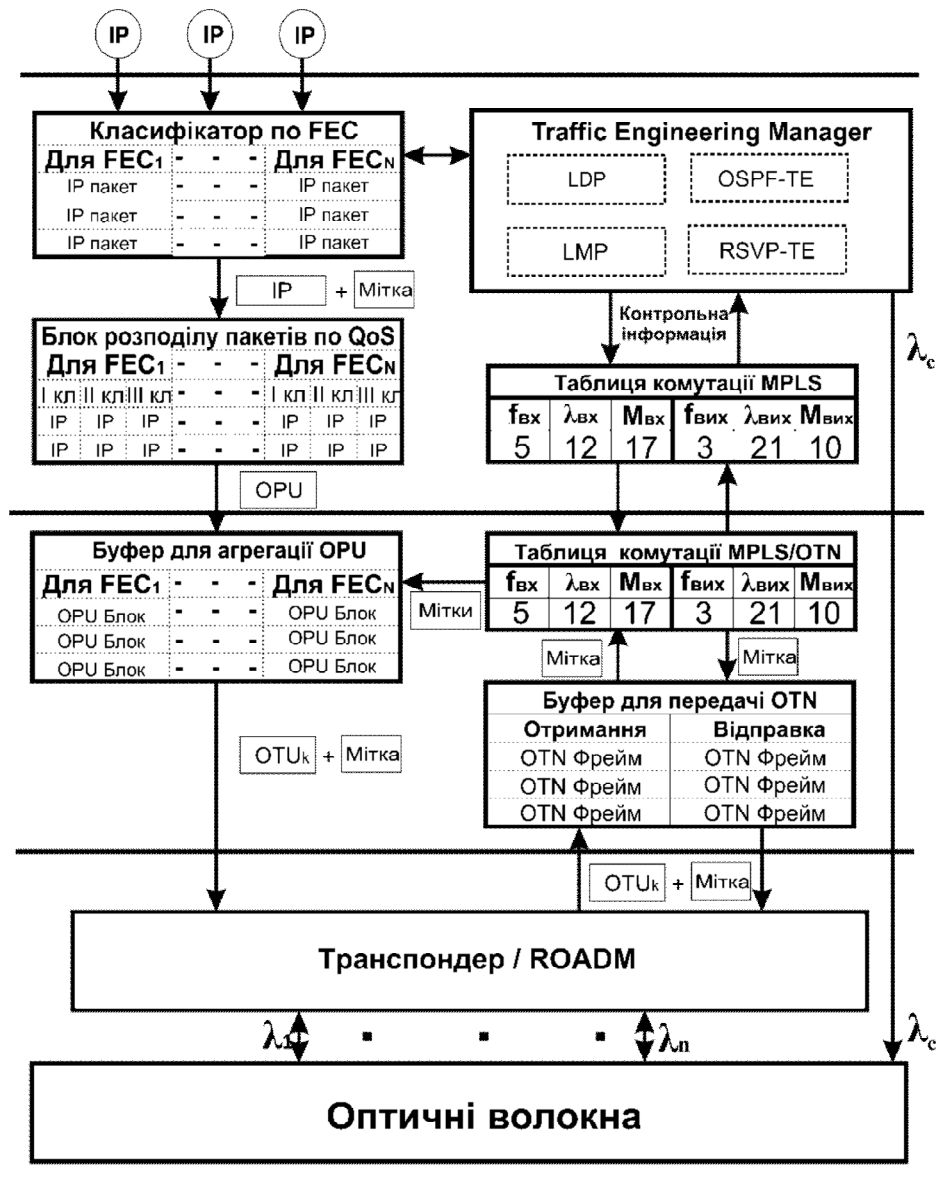


Рис. 3. Структурно-функціональна схема запропонованої моделі крайового вузла транспортної мережі

## 4. Класифікатор FEC:

- класифікує пакети за адресою мережі призначення та розподіляє їх по буферах;

## 5. Блок розподілу пакетів по QoS (QoSDB):

- здійснює класифікацію пакетів за параметром якості обслуговування (QoS);
- з IP пакетів формує OPU (15232 байти);
- забезпечує дотримання критичного часу у формуванні OPU.

## 6. Буфер для агрегації OPU:

- зберігає OPU перед формуванням OTN фрейму, причому OPU приходять від різних FEC та займають окремі області пам'яті.

## 7. Буфер для передавання OTN:

- зберігає ODU фрейми під час передавання на проміжних вузлах мережі.

Кожен клас трафіку характеризується параметром затримки, якої він може зазнати під час передавання через мережу. Відповідно тривалість перебування одного пакета в обслуговуючому пристрої обмежена. Що вищий пріоритет трафіку (голос, відео), то менша тривалість очікування пакета має бути забезпечена в кожному обслуговуючому пристрої. Пакети з цих буферів формують свій окремий блок клієнтського навантаження. Відповідно до розробленої моделі класифікації трафіку, критичний час перебування пакетів для конкретного класу трафіку на одному вузлі визначається як:

$$t_{кр.вузла} = \frac{(T_{кр.шляху} - t_{передачі} \cdot (N-1))}{N}, \quad (1)$$

де  $t_{кр.вузла}$  – максимальний час перебування пакета в одному вузлі мережі;  $t_{передачі}$  – тривалість передавання пакета між двома вузлами мережі;  $T_{кр.шляху}$  – критична тривалість передавання пакета конкретного класу вздовж усього шляху;  $N$  – кількість мережевих пристроїв на шляху передавання. Для визначених класів трафіку повинна виконуватися рівність:

$$T_{кр.шляху}^1 < T_{кр.шляху}^2 < T_{кр.шляху}^3. \quad (2)$$

Для кожного блока визначено критичний час існування, причому справедлива нерівність  $T_{кр1} < T_{кр2} < T_{кр3}$ . Прийемо, що для першого класу трафіку критичний час затримки пакетів становить 2 мс, для другого – 4 мс, для третього – 10 мс. Якщо критичний час існування блока добігає кінця і блок не заповнений, то він автоматично дописується стафінговими бітами і відправляється.

### Розроблення методу агрегації мультисервісного трафіку в крайовому маршрутизаторі мережі

Удосконалена модель крайового маршрутизатора пришвидшує процес формування транспортних модулів з гарантуванням необхідної якості обслуговування, а також ефективніше використовує надані їй ресурси: пропускну здатність кожної із довжин хвиль. Зважаючи на описані вище особливості роботи крайових маршрутизаторів, пропонується метод підвищення ефективності формування транспортних модулів з гарантуванням необхідної якості обслуговування. Для реалізації цього методу вдосконалено процес роботи кожного маршрутизатора IP/MPLS згідно з алгоритмом, представленим на рис. 4.

Принцип роботи запропонованого алгоритму такий:

1. На маршрутизатор надходить трафік від мереж доступу, де IP пакети розподіляються відповідно до мереж призначення FEC<sub>1</sub> до FEC<sub>N</sub> де N – кількість мереж призначення.

2. В межах одного FEC розподілений IP трафік класифікується за параметрами якості обслуговування (QoS) на  $j = [1;3]$ ,  $j \in N$  класи, кожен з яких має свій критичний час формування блока  $T_{крj}$ .

3. Після класифікації IP трафіку згідно з параметрами QoS відбувається запуск таймера; ( $j$  – визначає конкретний клас трафіку).

4. Таймер <sub>$j$</sub>  має свій визначений критичний час формування блока для кожного із класів. Поки значення Таймера <sub>$j$</sub>  декрементується, відбувається запис IP пакетів у блок корисного навантаження OPU.

5. Якщо поточний час формування блоку  $T_{блоку}$  менший за критичний час формування  $T_{крj}$ , IP пакети записуються у блок OPU та відбувається перевірка його заповнення. Коли блок OPU є недовантаженим, відбувається перехід до кроку 4, в іншому випадку – за повного завантаження блоку OPU відбувається перехід до кроку 8.

6. Якщо час формування блоку  $T_{блокуj}$  досяг свого критичного значення  $T_{крj}$ , тоді відбувається перевірка заповнення блоку OPU. Якщо OPU заповнений, то відбувається перехід до кроку 8. У випадку, коли блок OPU не заповнений, відбувається перехід до кроку 7, де здійснюється перевірка на достатню кількість IP пакетів від інших двох класів трафіку, які потрібні для завершення процесу формування цього OPU.

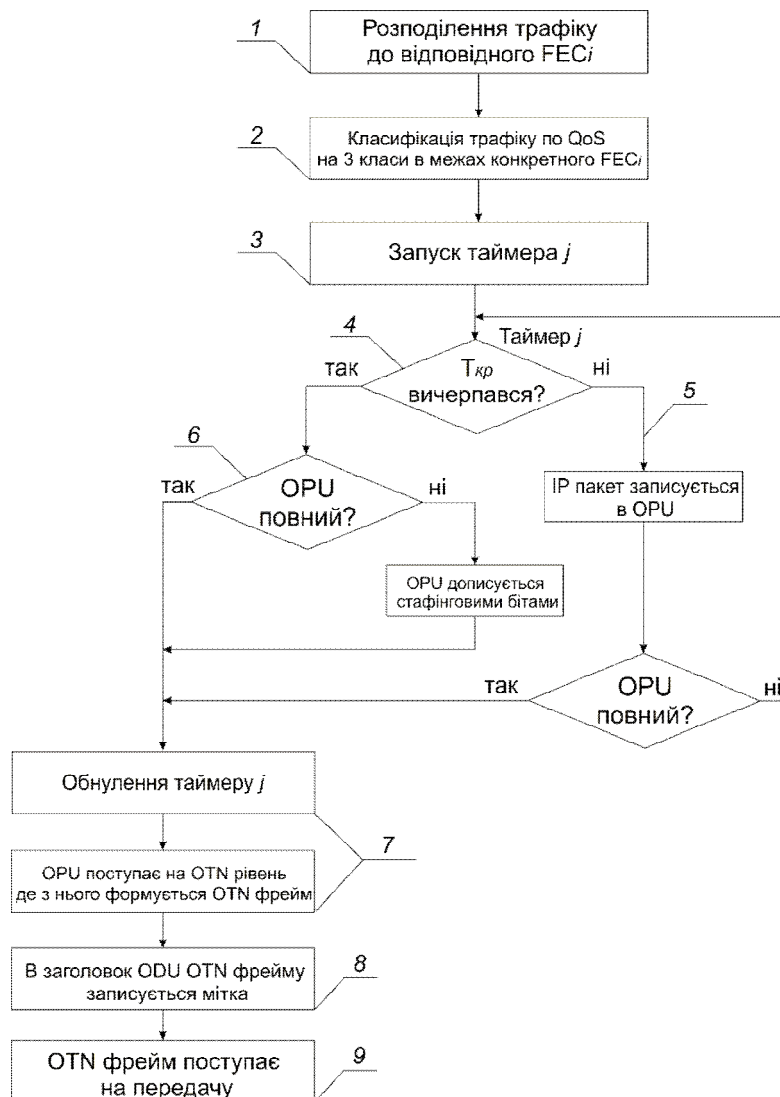


Рис. 4. Алгоритм агрегації вхідного трафіку від мереж доступу

7. У випадку, коли кількість пакетів достатня, проводиться їх запис в блок OPU і відбувається перехід до кроку 8. Якщо ж кількість таких пакетів від інших класів трафіку недостатня, то цей OPU автоматично доповнюється стафінговими бітами.

8. Здійснюється скидання *Таймера<sub>j</sub>* та надходження блоку корисного навантаження на OTN рівень, де з нього формується OTN фрейм.

9. В заголовок ODU цього OTN фрейму записується модифікована мітка.

10. OTN фрейм надходить на передачу.

### Дослідження ефективності запропонованих рішень з використанням засобів імітаційного моделювання

На основі запропонованого алгоритму агрегації вхідного трафіку побудовано імітаційну модель, яка дає змогу оцінити ефективність його роботи. Імітаційна модель розроблена з використанням мови програмування C++ та середовища програмування Qt5.4. Вихідні параметри моделювання подано в табл. 1.

Таблиця 1

**Вихідні параметри моделювання**

Параметр	Значення
Кількість вузлів	6
Кількість волокон між двома сусідніми вузлами	2
Кількість довжин хвиль в одному волокні	10
Максимальна швидкість передавання на одній довжині хвилі	10 Гбіт/с
Максимальна продуктивність мережевого вузла	200 Гбіт/с
Характеристики транспортного потоку (відповідно до стандарту G.709)	OPU2 – 10 Гбіт/с; розмір фрейму OTU - 121856 біт (сталій); тривалість фрейму – змінна

У мережі в ручному режимі створено набір тунелів, які комутуються за мітками. Параметри цих тунелів подано у табл. 2.

Таблиця 2

**Параметри тунелів**

LSP	Колір	Вузли	Пріоритет	Режим	Середня інтенсивність навантаження, Гбіт/с	Зарезервована пропускна здатність, Гбіт/с
1	Червоний	1-2-3-4	1	Стандартний/Наскрізний	4,3	6
2	Синій	1-2-3	2	Стандартний	3,6	5
3	Зелений	1-2-5	3	Стандартний	5,4	8
4	Жовтий	1-2-6	1	Стандартний	2,3	4

Основне вікно програми для налаштування конфігурації мережі та контролю над процесом моделювання відображено на рис. 5.

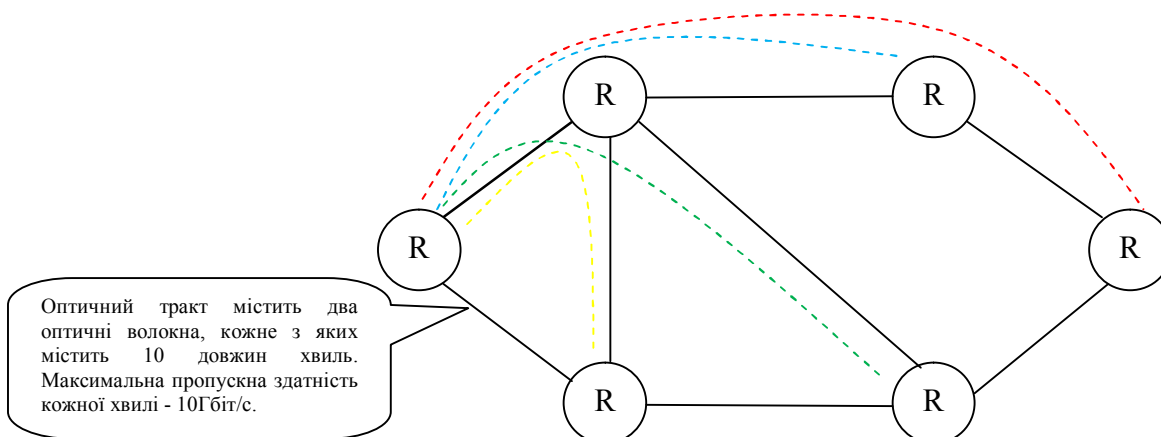


Рис. 5. Схема створеної моделі транспортної оптичної мережі

Використовуючи наведені в табл. 1 та 2 параметри та на основі графового представлення мережі (рис. 5) формуємо матрицю суміжності. Для створення зв'язку між вузлами необхідно на



перехресті відповідного номера рядка та стовпця задати з використанням розділового знака “/” такі параметри: кількість волокон, кількість довжин хвиль чи пропускну здатність довжини хвилі.

Моделювання проводилося у два етапи, без застосування запропонованих рішень та з їх застосуванням. На рис. 6 відображено ефективність використання ресурсів мережевого вузла. У момент переходу з першого етапу на другий, що чітко відображено на рис. 7, спостерігається зниження завантаженості апаратних ресурсів. Ввімкнення алгоритму агрегації (рис. 6) в імітаційній моделі приводить до ефективнішого використання пропускну здатності хвилі на 10–25 % (рис. 7).

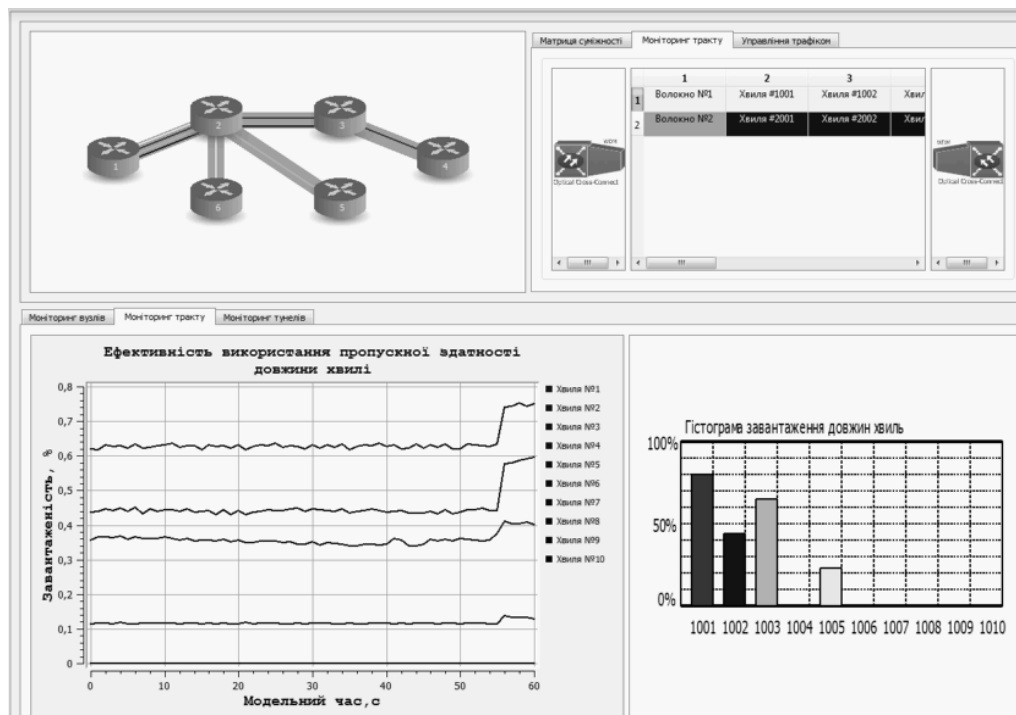


Рис. 6. Робота імітаційної моделі після ввімкнення алгоритму агрегації

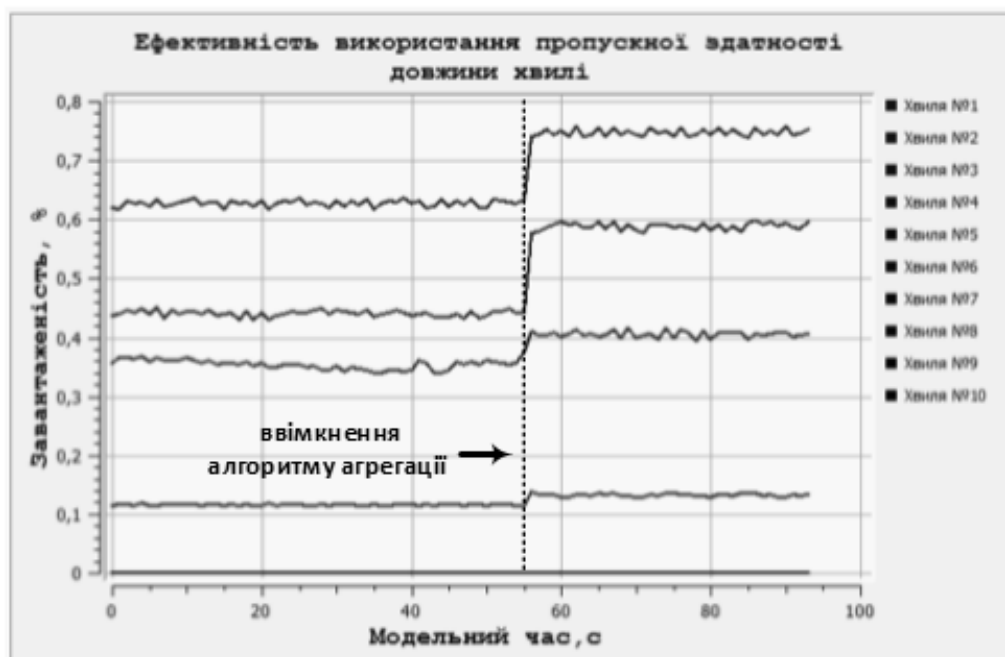


Рис. 7. Графік завантаження хвиль до і після ввімкнення алгоритму агрегації

## Висновки

У роботі запропоновано архітектуру IP over OTN over DWDM мережі, особливістю якої є OTN рівень, який розділяє логічну та фізичну топології мережі IP/MPLS і DWDM. Маршрутизатори IP/MPLS забезпечують логічне з'єднання, тоді як OTN/DWDM забезпечує з'єднання, що базуються на фізичній топології. Впровадження цієї архітектури дає змогу підвищити продуктивність транспортної інфраструктури та спростити процеси її експлуатації.

Удосконалено модель крайового IP/MPLS маршрутизатора/комутатора на основі розробленого алгоритму агрегації мультисервісного трафіку, який дає змогу ефективніше завантажувати транспортні фрейми технології OTN і доступні оптичні ресурси та забезпечити високу якість обслуговування потоків реального часу. Згідно з цією моделлю крайовий вузол транспортної мережі здійснює агрегацію інформаційних потоків від мереж доступу та формує з цих потоків транспортні модулі.

Результати моделювання показують, що ефективність використання ресурсів мережевого вузла збільшилася на 25 %, що призводить до зниження завантаженості апаратних ресурсів та енергоспоживання. В результаті роботи імітаційної моделі підтверджено ефективність запропонованих методів та технічних рішень на основі інтегрованої архітектури IP over OTN over DWDM.

1. Michael S. Borella et al. *Optical components for wdm lightwave networks. Proceedings of the IEEE*, Vol. 85, No. 8, pages 1274-1307. 2. Steinar Bjørnstad. *Terabit kapasitets nettverk ved bruk av optikk. Telenor FoU- Fornebu/NTNU - Trondheim/UNIK – Kjeller*. 3. Zouganeli E. *Optical networks: From point-to-point transmission to full networking capabilities. Teletronikk, February 2005*. 4. International Telecommunication Union. *ITU-T G.709, interfaces for the optical transport network. Recommendation, 2009*. 5. International Telecommunication Union. *Optical transport network tutorial, 2005*. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/2005-2008/com15/otn/OTNtutorial.pdf>. 6. Jan A. Audestad. *Technologies and systems for access and transport networks. Artech House, 2008*. 7. Kevin Thompson K. Claffy, Greg Miller. *The nature of the beast: Recent traffic measurements from an internet backbone, 1998*. URL: <http://www.caida.org/publications/papers/1998/Inet98/Inet98.pdf>. 8. Manohar Naidu Ellanti Lakshmi G. Raman et al. *Next Generation Transport Networks - Data, Management and Control Planes. Springer, 2005*. 9. 2006. URL: <http://www.eusar.de/NR/rdonlyres/6633CE02-7567-4143-A62A-99FC2E083C03/14356/ITGPosipapOTN1.pdf>. 10. P. Wette, H. Karl *On the quality of selfish virtual topology reconfiguration in IP-over-WDM Networks. 19th IEEE Workshop on Local & Metropolitan Area Networks (LANMAN) (10-12 April 2013)*. - P.1-6.