

## Дослідження характеристик лінійних трактів високошвидкісних волоконно-оптичних систем передачі інформації

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розглянуто основні характеристики ВОЛТ на основі HDWDM-технології з точки зору їх граничних значень та обмежень в залежності від формату модуляції оптичного сигналу, довжини ВОЛЗ і кількості оптичних каналів.*

**Ключові слова:** волоконно-оптичний тракт, телекомунікаційна система, волоконно-оптична лінія зв'язку.

### *Abstract*

*The main characteristics of FOLP based on the HDWDM technology have been examined. The research has been fulfilled in terms of their boundary values and limitations depending on the format of optical signal modulation, the length of FOCL and the quantity of optical channels.*

**Keywords:** fiber-optics path, telecommunication system, fiber-optics communication line.

### Вступ

Високошвидкісні волоконно-оптичні системи передачі інформації (ВОСП) широко використовуються для транспортування інформаційних сигналів різного призначення на значні відстані. Основний напрямок розвитку ВОСП полягає в збільшенні пропускної здатності волоконно-оптичних лінійних трактів (ВОЛТ) та використанні когерентних оптичних приймачів. Когерентні оптичні системи характеризуються такими перевагами [1]:

- можливістю збільшення пропускної здатності ВОЛТ в обмеженому робочому діапазоні оптичних каналів систем з надщільним мультиплексуванням по довжині хвилі за рахунок використання багаторівневих форматів модуляції;
- можливістю заміни в ВОЛТ оптичних компенсаторів дисперсії на когерентний гомодинний приймач з блоком цифрового оброблення сигналів;
- можливістю збільшення пропускної здатності оптичного каналу ВОЛТ до 1 Тбіт/с за рахунок використання технології суперканалів на основі мультиплексування оптичних підносійних від загального джерела оптичних сигналів.

Таким чином, проектування високошвидкісних ВОЛТ з терабітною/пентабітною пропускною здатністю є досить складною задачею, яка вимагає також забезпечувати гнучкий розподіл інформаційних сигналів між каналами оптичних транспортних систем (ОТС), що дозволить розширювати оптичні мультисервісні транспортні мережі різного масштабу, які є основою для розгортання широкосмугових телекомунікаційних послуг та сервісів.

Метою роботи є підвищення швидкості передачі інформації у ВОЛТ.

### Основна частина

При проектуванні оптичних мереж на основі HDWDM-технології з терабітними та пентабітними пропускними здатностями можна використовувати методологію побудови багаторівневих динамічних архітектур на таких структурних рівнях:

- рівень з'єднань в ВОЛЗ: SMF, NZDSF, MCF, FMF та оптичних секцій мультиплексування та передавання;
- рівень оптичних каналів та суперканалів: fixed-grid/ flex-grid/ grid-less;
- рівень динамічного робочого діапазону, оптичні носійні та підносійні для flex-channel та sub-channel;
- клієнтський рівень: DXC/Ethernet/TP-MPLS/IP OTN; OPUk, OPUflex, OPUk-Xv, ODUk, ODUflex, ODUk-Xv, OTUk, FEC.

До важливих функціональних властивостей сучасних оптичних транспортних мереж (ОТМ) можна віднести: гнучке формування цифрових потоків в ОТС за допомогою динамічного робочого діапазону оптичних каналів; використання динамічної комутації оптичних каналів в ОТС; комутація осердь MCF-волокон та модових складових FMF-волокон; автоматизоване керування з використанням протоколів ASON на основі GMPLS, RWA, RSA та ін. [2].

Принципи проектування ОТС з фіксованими параметрами оптичних каналів, з використанням багаторівневих форматів модуляції – DPSK, QPSK, каналів з OFDM відображені в міжнародних стандартах у вигляді рекомендацій: G.680; G.692 та ін. [3]. При цьому, проектування полягає у визначенні параметрів ВОЛТ при швидкості передавання в оптичному каналі до 40 Гбіт/с, а саме: довжини ділянок оптичного підсилення; діаграми рівнів передавання в оптичному каналі та оптичного відношення сигнал/шум (OSNR); врахування FEC-параметрів транспондерів; визначення значення дисперсії та ін. [4].

Визначимо допустимі значення довжини ВОЛТ на основі оптичних каналів з пропускною здатністю понад 500 Гбіт/с з форматами QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM та PM-OFDM з урахуванням бітової швидкості на кожній підносійній [5]. Для цього використаємо аналітичні співвідношення, які враховують допустиме значення коефіцієнта помилок, значення бітової швидкості, формат кодування та спектральну ефективність для PM-OFDM транспондерів:

$$\text{QPSK : } L = -630,68 \ln(BR) + 4911,7 \text{ [км] ;}$$

$$16 \text{ QAM : } L = -366,02 \ln(BR) + 3028,2 \text{ [км] ;}$$

$$32 \text{ QAM : } L = -193,63 \ln(BR) + 1736,5 \text{ [км] ;}$$

$$64 \text{ QAM : } L = -152,19 \ln(BR) + 1248,6 \text{ [км] .}$$

Результати теоретичних розрахунків відображено на рисунку 1, експериментальних досліджень – на рисунку 2.

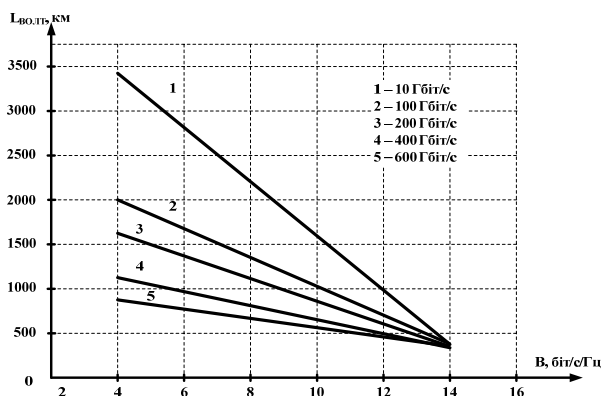


Рисунок 1 – Залежність довжини ВОЛТ від спектральної ефективності формату модуляції оптичного сигналу при різних значеннях пропускної здатності оптичного каналу

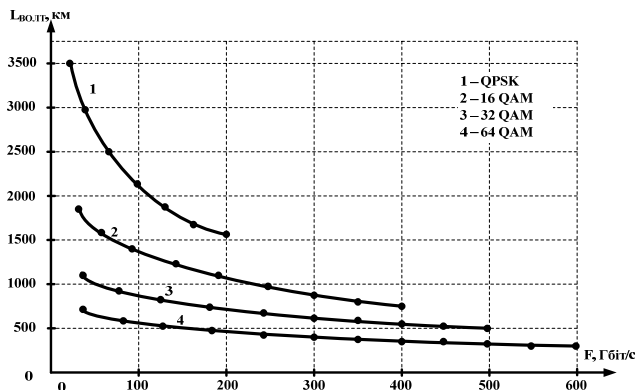


Рисунок 2 – Залежність довжини ВОЛТ від спектральної ефективності формату модуляції оптичного сигналу при різних значеннях пропускної здатності оптичного каналу

Використання проектних рішень flex grid (G.694.1) забезпечує можливість гнучкого розподілу ресурсів секції оптичного мультиплексування та смуг пропускання оптичних каналів з широкою зміною швидкості передавання (10 Гбіт/с – 1 Тбіт/с) [6].

Дослідження параметрів передавання ВОЛТ на основі ВОЛЗ типу MCF та FMF показали можливість забезпечення швидкості передавання інформаційного сигналу понад 1 Пбіт/с при довжині лінійного тракту від 50 до 1500 км.

### Висновки

Доведено, що розв'язання задачі побудови високошвидкісних ВОЛТ базується на використанні таких підходів: використання оптичних суперканалів (понад 1 Тбіт/с); використання (ОВ) типів MCF, FMF; використання оптичних мультиплексорів з гнучким доступом до осердь (ОВ), груп та окремих спектральних каналів і оптичних комутаторів. Керування оптичними суперканалами зручно здійснювати за допомогою технології flex grid з функціями гнучкої маршрутизації робочих хвиль.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бортник Г.Г. Системи передавання в електрозв'язку. Г.Г. Бортник, О.А. Семенюк, О.В. Стальченко - Навчальний посібник-Вінниця: ВНТУ, 2006.- 138 с.
2. Фокин В.Г. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи: учебное пособие / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики. Новосибирск, 2016. – 162 с.
3. Бортник Г.Г. Цифровий метод спектрального оцінювання випадкових сигналів. Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.В. Стальченко - Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2014, -№ 2, С. 108-114.
4. Бортник Г.Г. Методи та засоби оцінювання параметрів абонентських ліній зв'язку. Г.Г. Бортник, В.М. Кичак, В.Ф. Яблонський - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006.- 139с.
5. Бортник Г.Г. Метод оцінювання основних параметрів фазового дрижання в системах передавання даних. Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.В. Стальченко - Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2010, № 6. – С. 97-101.
6. Бортник Г.Г. Мережі абонентського доступу. Г.Г. Бортник, В.М. Кичак, О.В. Стальченко, Яблонський В.Ф.- Навчальний посібник з грифом МОНУ. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 201 с

**Бортник Геннадій Григорович** – канд. техн. наук, професор кафедри телекомунікаційних систем і телебачення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bgen88@gmail.com;

**Васильківський Микола Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем і телебачення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com.

**Bortnyk Gennadiy Grygorovych** – Ph.D., Professor of the Chair of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bgen88@gmail.com

**Vasylkivskiy Mikola Volodymyrovych** – Ph.D., Senior lecturer of the Chair of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com.