

---

УДК 681.586.5

О.В. Лисенко, С.В. Щербінін

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## МЕТОДИ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ ПОТОКІВ ДАНИХ

*У статті розглянуті методи мультиплексування потоків даних, а також принципи створення DWDM-систем передачі інформації на основі розробки різних активних і пасивних квантових та оптичних елементів і пристроїв.*

**Ключові слова:** волоконно-оптичний перетворювач, вимірювальний канал, мультиплексування.

### Вступ

**Постановка завдання.** Потреба передачі великої кількості інформації по каналах зв'язку вимагає удосконалення як фізичних каналів передачі даних, так і ущільнення інформації, що передається. Тому удосконалення методів мультиплексування потоків даних є доволі актуальним завданням.

**Аналіз літературних джерел.** В монографії [1] розглядаються базові принципи та технології синхронних цифрових мереж SDH, зокрема питання мультиплексування даних при проведенні розрахунку і проектування оптоволоконних вимірювальних приладів і систем. В рекомендаціях ITU-T Rec. G.707 [2] розглянуті питання мультиплексування для волоконно-оптичних ліній зв'язку, а в джерелах [3, 4] –

засоби збільшення пропускної здатності волоконно-оптичних ліній. Але в цих джерелах не висвітлюються питання щодо особливостей мультиплексування потоків даних.

**Мета статті:** провести аналіз особливостей мультиплексування потоків даних, а також принципи створення технології ущільнення оптичних каналів – DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), тобто щільного спектрального мультиплексування.

## Основний матеріал

Є кілька способів збільшення обсягів інформації, що передається, незмінними каналами зв'язку. Більшість з них зводяться до реалізації одного з методів ущільнення компонент інформаційних потоків до однієї групи, котра передається по каналах зв'язку. Розглянемо методи ущільнення, що широко використовуються в сучасних телекомунікаційних системах.

### 1. Метод часового мультиплексування (TDM)

Поточний метод часового ущільнення інформаційних потоків (Time Division Multiplexing) є найбільш поширеним. Він використовується при передачі інформації у цифровій формі. Суть її полягає в наступному. Процес передачі поділяється на декілька часових циклів, кожен з яких у свою чергу поділяється на  $N$  субциклів, де  $N$  – кількість ущільнених потоків (або каналів). Кожен субцикл поділений на часові позиції, тобто проміжки часу, протягом котрих передається інформація з одного з мультиплексуємих потоків. Крім того, ряд позицій відводиться для ідентифікаційних синхроімпульсів, вставок і цифрового потоку службового зв'язку. Метод часового ущільнення поділяється на два типи – асинхронний (з часовим мультиплексуванням, наприклад, PDH, ATM) та синхронний з часовим мультиплексуванням, наприклад, SDH. Сучасні технології дозволяють забезпечити швидкість передавання групового сигналу до десяти Гбіт/с (STM-64). Декілька років тому це вважалося обмеженням для електронних приладів мультиплексування. Однак, завдяки розвитку нових електронних технологій (напівпровідникових структур на базі арсенід-галію мікровакуумних елементів) уже створені електронні лабораторні зразки для мультиплексування з швидкістю 40 Гбіт/с і більше (STM-256), що підготовлені для серійного промислового виробництва [3]. Дослідження в цій області тривають з метою подальшого збільшення швидкості передачі даних.

### 2. Метод частотного ущільнення (FDM)

За частотним методом мультиплексування (FDM, Frequency Division Multiplexing) кожний потік даних передається по фізичних каналах за відповідною частотою піднесучої  $f_{\text{пн}}$ . Якщо фізичний канал використовується як канал оптичного випро-

мінювання (оптична несуча), то несуча модулюється за інтенсивністю групової інформації сигналу, спектр якого складається за кількістю піднесучих частот, котра дорівнює кількості компонентів інформаційних потоків. Піднесуча частота кожного каналу обирається за умови:

$$f_{\text{пн}} \geq 10 f_{\text{вчп}}, \quad (1)$$

де  $f_{\text{вчп}}$  – верхній частотний спектр інформаційних потоків.

Частотний діапазон між піднесучими  $\Delta f_{\text{пн}}$  вибирається за умови:

$$\Delta f_{\text{пн}} \geq f_{\text{вчп}}. \quad (2)$$

На приймаючому боці оптична несуча потрапляє до фотоприймача, навантаження якого виробляє електричний груповий потік. Цей потік після підсилення у ширококутовому підсилювачі надходить до входів вузькосмугового фільтру, центральна частота пропускної здатності якого дорівнює одній з піднесучих частот [3]. Як компонентні потоки можуть використовуватися цифрові та аналогові сигнали. Зараз у кабельних системах передачі даних частотне ущільнення застосовується у багатооканальному кабельному телебаченні, де на ці потреби виділені частоти в діапазоні 47 – 860 МГц, тобто як метровий, так і дециметровий телевізійні діапазони.

### 3. Ущільнення за поляризацією (PDM)

Ущільнення інформаційних потоків за допомогою оптичних несучих, що мають лінійну поляризацію, називається ущільненням за поляризацією (PDM, Polarization Division Multiplexing). При цьому площина поляризації кожної несучої повинна знаходитися під своїм кутом. Мультиплексування виконується за допомогою спеціальних оптичних призми, наприклад призми Рошона. Поляризаційне мультиплексування є можливим лише тоді, коли у передавальному навколишньому середовищі немає оптичної анізотропії, тобто волокно не повинно мати локальних неоднорідностей та вигонів. Це одна з причин дуже обмеженого використання цього методу. Зокрема, він використовується у оптичних ізоляторах, а також у оптичних волоконних підсилювачах пристроїв накачування ербієвого волокна для підсумовування випромінювання накачування двох лазерів, випромінювання яких відображається у вигляді поляризації поздовженого еліпса [3].

### 4. Багатохвильове мультиплексування оптичних несучих (WDM)

Завдання подальшого зростання пропускної здатності ВОСП за рахунок збільшення швидкості передачі даних на основі TDM обмежується не тільки технологічними труднощами при електронному тимчасовому ущільненні, а також й обмеженнями за рахунок часової (хроматичної) дисперсії оптичних імпульсів, що виникає у оптичному волокні. Це можна спостерігати на прикладі припустимих значень

дисперсії для систем передачі STM-16, STM-64, відповідно 10500 пс/нм і 1600 пс/нм; поляризаційна мода дисперсія — 40 пс і 10 пс.

Ця задача була успішно розв'язана за допомогою оптичного мультиплексування з розділенням за довжинами хвиль WDM (Wavelength Division Multiplexing). Цей метод полягає в тому, що  $m$  інформаційних цифрових потоків, що передаються за своєю оптичною несучою на довжині хвилі  $\lambda$  і відокремлюються у просторі, за допомогою спеціальних пристроїв – оптичних мультиплексорів (ОМ), об'єднуються в єдиний оптичний потік  $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ , після чого надходять в оптичне волокно. На прийомному боці проводиться зворотний операція.

Варіант структурної схеми системи з WDM наданий на рис. 1.

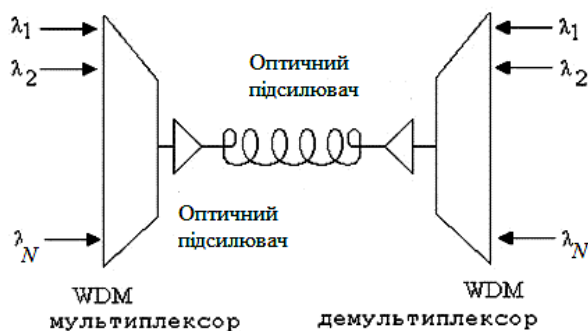


Рис. 1. Структурна схема WDM системи передачі

Оптичні параметри системи WDM регулюються рекомендаціями, у яких визначені довжини хвиль і оптичних частот для кожного каналу. Судячи з цих рекомендацій багатохвильові системи можуть працювати на довжині хвиль у діапазоні 1530 – 1565 нм. Для цього встановлені стандартні довжини хвиль, що є сіткою оптичних частот, в яких значення оптичних частот регламентуються у діапазонах 192,1 – 196,1 ТГц з інтервалом довжини хвилі 100 ГГц та 1528,77-1560,61 нм з інтервалом 0,8 нм.

Нещодавно запропоновано зменшити частотний інтервал між спектрами каналів до 50 ГГц і навіть до 25 ГГц, що дає змогу ущільнити спектральні канали у діапазоні 1530 – 1565 нм. Таке ущільнення здійснюється системою DWDM, котра створена через бажання збільшити кількість каналів. Відзначи-

мо також, що в даний час аббревіатура DWDM використовується і для систем з багатохвильовим ущільненням, у яких частотний діапазон між каналами становить 100 ГГц.

Обладнання комунікаційних систем з DWDM дозволяє використовувати тільки 32 канали. Тому ряд компаній застосовує для передачі даних довжину хвилі 1510 нм, а деякі і 1625 нм. Але зі збільшенням числа каналів до 128 і більше існує необхідність використання більш довгохвильового оптичного спектру, наразі L-діапазон (або 4-те вікно прозорості) буде містити хвилі довжиною 1625 нм. Створення DWDM систем передачі потребує розробки різноманітних активних і пасивних квантових та оптичних елементів і пристроїв з високостабільними параметрами. До них відносяться напівпровідникові лазери з вузькою спектральною шириною випромінювання (менше 0,05 нм) та стабільністю до  $\pm 0,04$  нм. Волоконно-оптичні підсилювачі повинні мати стабільний коефіцієнт підсилення, малу нерівномірність коефіцієнта підсилення ( $< \pm 0,5$  db).

## Висновки

1. Проведено аналіз та надано характеристику методів мультиплексування потоків даних.
2. Запропоновані рекомендації щодо використання багатохвильових каналів оптоволоконного зв'язку, що сприяють ущільненню компонент інформаційних потоків

## Список літератури

1. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH / Н.Н. Слепов. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997. – 150 с.
2. Интерфейс сетевого узла синхронной цифровой иерархии SDH. Рекомендации ITU-T Rec. G.707. – М.: Коннект, 2000. – 144 с.
3. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А.Б. Иванов. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 663 с.
4. Фриман Р.Л. Волоконно-оптические системы связи / Р.Л. Фриман. Пер. с англ. под ред. Н. Н. Слепова. – М.: Техносфера, 2003. – 590 с.

Надійшла до редколегії 11.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОДЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ДАННЫХ

Е.В. Лысенко, С.В. Щербинин

*В статье рассмотрены методы мультиплексирования потоков данных, а также принципы создания DWDM-систем передачи информации на основе разработки разных активных и пассивных квантовых, оптических элементов и устройств.*

**Ключевые слова:** волоконно-оптический преобразователь, измерительный канал, мультиплексирование.

## DATA STREAMS MULTIPLEXING METHOD

E.V. Lysenko, S.V. Scherbinin

*The article describes methods of multiplexing, as well as principles of DWDM-systems transmit information on the basis of the development of different quantum active and passive optical components and devices.*

**Keywords:** optical fiber transducer, a measuring channel multiplexing.