
ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ (INTERNET, INTRANET ТОЩО) ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖАХ

УДК 681.7.068

В.П. КОЖЕМ'ЯКО, В.І. МАЛІНОВСЬКИЙ

ВИСОКОШВИДКІСНІ ПАРАЛЕЛЬНІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ІНТЕРФЕЙСИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, м.Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, Україна,
Тел.: (0432)598-492, E-mail: tirexlink@mail.ru*

Анотація. В роботі приведено обґрунтування перспективності використання, метод побудови і структурна організація високошвидкісних паралельних волоконно-оптичних інтерфейсів (ВПВОІ) передачі даних з високою пропускною здатністю, які можуть використовуватись в задачах передачі інформації та зображень, які потребують дуже високою швидкодії.

Аннотация. В работе приведено обоснование перспективности использования, метод построения и структурная организация высокоскоростных паралельных волоконно-оптических интерфейсов (ВПВОИ) передачи данных с высокой пропускной способностью, которые могут использоваться в задачах передачи информации и изображений, которые требуют очень высокого быстродействия.

Abstract. In work the substantiation of perspectivity of use, a method of construction and the structural organization of high-speed parallel fiber-optical interfaces (HSPFOI) of data transmission with high throughput, which can be used in tasks of information and images transfer with very high bit-rate is resulted.

Ключові слова: волоконно-оптичний, масив VCSEL-лазерів, масив р-і-п – фотоприймачів, ВПВОІ, смуга пропускання, дисперсія, оптичні втрати, оптичний канал.

ВСТУП

Сучасні високопродуктивні обчислювальні і комп'ютерні системи мають достатньо високі параметри швидкодії обчислень ($t \sim 10^{-12}$ с), що забезпечується шляхом застосування паралельних [1, 5], розподілених (GRID-системи [3, 4]), кластерних [5, 8] та оптико-електронних [2, 6-10] методів і засобів. Однак, існує проблема ефективної і високошвидкісної передачі інформації між окремими компонентами комп'ютерних систем, де час затримки інформації при передаванні є співмірним з часом виконання одиничних операцій її оброблення, тобто $t_{comput} \sim k \cdot t_{transmit}$, k – коефіцієнт пропорційності. Тому в техніці суперкомп'ютерів та високопродуктивних обчислювачів необхідним є використання високошвидкісних систем паралельного передавання даних з високою пропускною здатністю, що в сукупності з ефективністю оброблення значно впливає на загальну продуктивність обчислювальних систем. Ця проблема дуже гостро стоїть у ланках взаємодії таких елементів як: процесор–пам'ять, процесор–контролери введення/виведення, процесор–процесор, процесор–комутатор, процесор–периферійне обладнання та інших. Це потребує розроблення нових підходів до створення високошвидкісних інтерфейсів і ліній зв'язку для передачі даних у локальних місцях з невеликою дальністю і з високою швидкістю.

Шляхом до вирішення цієї проблеми є використання паралельних волоконно-оптичних ліній, завдяки їх «безінерційності» (відсутності спотворень сигналу середовищем передачі) по відношенню до інформаційних сигналів та відсутності паразитних електричних параметрів ліній на відміну від електричних ліній зв'язку, у яких ємності та індуктивності провідників значно обмежують смугу пропускання, а отже й швидкість передачі даних та зменшують співвідношення сигнал-завада. Напрямок волоконно-оптичних інтерфейсів передачі інформації досить стрімко розвивається в наш час та є перспективним для галузі високопродуктивних обчислювальних систем і розглядається у роботах [11-14, 23, 30] вітчизняних та закордонних науковців.

СУЧАСНІ ПАРАЛЕЛЬНІ ІНТЕРФЕЙСИ ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ТЕХНІЦІ ШВИДКОДІЮЧИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Для передачі даних в обчислювальних комплексах і системах та для організації внутрішніх зв'язків обчислювальних систем і побудови локальних мереж на їх основі сьогодні використовують ряд стандартизованих паралельних високошвидкісних інтерфейсів, до числа яких належать [15-18]: FibreChannel (FC), Optical Ethernet (OE), Fiber Distributed Data Interface (FDDI), SCI, Optobus, SCSI, ESCON, High Performance Parallel Interface (HIPPI), та його модифікацію SuperHiPPI (HiPPI-6400). Розглянемо основні особливості кожного з них.

Fibre Channel (FC) (волоконний канал) – високошвидкісний волоконно-оптичний інтерфейс передачі даних, що призначений для організації інформаційних зв'язків між потужними комп'ютерними станціями, серверами і системами зберігання за типом підключення – точка-точка (Point-to-Point). Інтерфейс Fibre Channel використовує один волоконний канал та підтримує передавання інформації по оптичному середовищу із швидкістю від 133 Мбіт/с до 10 Гбіт/с на відстані до 50 км. Перевагами інтерфейсу FC є порівняно висока швидкість і дальність передачі даних, а також економія ресурсів при використанні одного волоконно-оптичного каналу.

Enterprise Systems Connection (ESCON) – волоконно-оптичний каналний інтерфейс, який забезпечує обмін інформацією між серверами та периферійними пристроями (або іншими серверами). ESCON вперше був аносований компанією IBM у 1990 році. Цей інтерфейс реалізує напівдуплексний режим передачі з використанням протоколів типу "запит-відповідь" за схемою типу "точка-точка". Фізично канал інтерфейсу ESCON складається з двох волоконно-оптичних ліній, кожна з яких призначена для передачі інформації в одну сторону. Швидкість передачі інформації для ESCON складає 10-17 Мбайт/с, а максимально можлива дальність організації передачі даних знаходиться на рівні 43 км, що є основною його перевагою при використанні.

Основні параметри вищезазначених паралельних інтерфейсів передачі даних приведено у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри сучасних комп'ютерні інтерфейсів передавання даних

ІНТЕРФЕЙС	КІЛЬКІСТЬ КАНАЛІВ	МАКСИМАЛЬНА ШВИДКІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ, МБІТ/С	МАКСИМАЛЬНА ДАЛЬНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, М
Fibre Channel	2	133 – 10 000	50 000
FDDI	2	100 – 1000	40 000

Оптимальними рішенням при використанні інтерфейсів для передавання даних у обчислювальних системах є Fibre Channel, FDDI та HiPPI-6400 оскільки вони мають високі показники швидкості передачі інформації та дальності організації зв'язку. Але навіть з такими високими показниками швидкодії, виникають проблеми при застосуванні цих інтерфейсів у високопродуктивних обчислювальних системах, суперкомп'ютерах та серверних кластерах з продуктивністю оброблення даних в межах 100-300 TFlops (100-300·10¹² оп/с) [5], оскільки там необхідним є передавання надзвичайно великих обсягів інформації за дуже малий час.

МЕТОД ПОБУДОВИ ТА СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ

Основним і традиційним принципом підвищення швидкодії процесів обчислення та передачі є забезпечення природного паралелізму [1, 19], в якому незалежні один від одного і однорідні процеси розвиваються в часі збільшуючи загальну масштабованість і швидкодію операцій оброблення або передавання інформації. У поєднанні з оптичними та оптико-електронними швидкодіючими методами [6-8], принцип природного паралелізму каналів (рис.1) дає подвійний вииграш в техніці оброблення та передавання даних і повинен розглядатись як базовий при розробленні методу побудови волоконно-оптичних інтерфейсів.

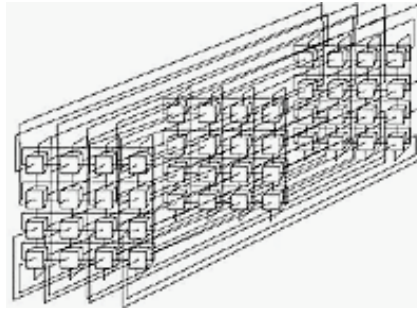


Рис.1. Принцип паралелізму каналів процесів передавання та оброблення інформації

На фізичному рівні організації до складу волоконно-оптичних інтерфейсів передачі інформації входять такі основні блоки:

- джерела випромінювання на основі напівпровідникових лазерних діодів (світлодіодів), з довжинами хвиль у основних вікнах прозорості оптичного волокна ($\lambda_1=0.85\mu\text{м}$, $\lambda_2=1.31\mu\text{м}$, $\lambda_3=1.55\mu\text{м}$);
- фотоприймачі на основі лавинних (APD) або р-і-n фотодіодів, з аналогічними довжинами хвиль;
- волоконно-оптичне середовище (оптичне волокно): одномодове SMF (Single Mode Fiber) або багатомодове MMF(Multi Mode Fiber);
- оптика введення-виведення випромінювання, що виходить від джерел або з оптичного волокна у фотоприймачі;
- електронні драйвери та кодерний контроллер введення (використовується на передавальному кінці для забезпечення модуляції оптичного випромінювання у відповідність із формою сигналів даних);
- електронні операційні підсилюючі схеми, демодулятори та контролер декодування (застосовується на приймальному кінці інтерфейсу для підсилення електричного сигналу від фотоприймачів та декодування).

Коефіцієнт втрат a , потужність на виході каналу P_{out} , та вхідна потужність P_{in} є визначальними параметрами довжини передачі L . Враховуючи (11) та (12), максимальна дальність передачі інформації по одиничному волоконно-оптичному каналу ВПВОІ визначається як [25]:

$$L_{\max} = -\frac{1}{2a} \ln \frac{P_{out}}{P_{in}}. \quad (13)$$

Відношення оптичної вихідної потужності до вхідної $D = \frac{P_{out}}{P_{in}}$ характеризує загасання оптичного сигналу або ефективність передачі оптичної енергії по волоконно-оптичному середовищі і є визначальним при виборі типу оптичного волокна для забезпечення максимальної дальності передавання. Слід зазначити, що при використанні у ВПВОІ в більшості однорідних оптичних волокон це відношення буде приблизно сталим для кожного каналу і дальність передавання для кожного з елементів масиву каналів на ВОЛІ приблизно однаковою. Але для забезпечення високої надійності процесу передачі інформації по ВПВОІ необхідно використовувати деякий запас по дальності інформаційного зв'язку. Тобто, враховувати мінімальне можливе співвідношення D_{\min} для будь-якого i -го елемента з масиву ВПВОІ. Тоді запас по дальності можна записати:

$$L_{\max} \leq -\frac{1}{2a} \ln D_{i \min}. \quad (14)$$

Оптичне загасання в волоконно-оптичних системах dB [дБ] прийнято описувати враховуючи відношення D за логарифмічним законом [24]:

$$dB = -10 \lg \frac{P_{out}}{P_{in}} = -10 \lg D. \quad (15)$$

Коефіцієнт втрат α [дБ/км], що характеризує оптичне загасання на одиницю відстані визначається як: $\alpha = \alpha / L = -[10 \lg D] / L$ та описує характер дальності передачі від втрат.

Повне загасання оптичного сигналу у волоконно-оптичних системах залежить від комплексних складових оптичних втрат волоконно-оптичного середовища. Втрати у оптичних волокнах визначаються: втратами на поглинання, розсіювання, кабельними втратами за формулою [24, 26]:

$$\alpha = \alpha_{\text{int}} + \alpha_{\text{rad}} = \alpha_{\text{abs}} + \alpha_{\text{sct}} + \alpha_{\text{rad}}, \quad (17)$$

де α_{int} – власні втрати оптичного волокна, які складаються із суми втрат на поглинання α_{abs} та втрат на

розсіювання α_{sct} , тобто $\alpha_{int} = \alpha_{abs} + \alpha_{sct}$; α_{rad} – кабельні (внесені) втрати, що виникають внаслідок згинів, з'єднань та не точного позиціонування сердцевин оптичних волокон.

Втрати на поглинаннях α_{abs} складаються як з власних втрат в кварцовому склі, так і втрат, пов'язаних з поглинанням світла на домішках. Власні втрати оптоволоконна на поглинаннях зростають ближче до ультрафіолетової та інфрачервоної спектральних областей. При довжині хвилі випромінювання вище 1,6 мкм кварцове скло, як основний матеріал волоконних світловодів стає непрозорим за рахунок втрат, пов'язаних з інфрачервоним поглинанням. Детально оптичні втрати у волоконно-оптичних середовищах розглянуті в роботах [12, 14, 24, 26].

Довжина хвилі, на якій досягається мінімальне значення оптичних втрат власного згасання чистого кварцового волокна складає 1550 нм і обумовлена оптимальним вибором між втратами Релеєвського розсіювання та інфрачервоного поглинання. На рис. 5 наводиться загальний вигляд спектральної залежності власних втрат для сучасних одномодових та багатомодових волокон.

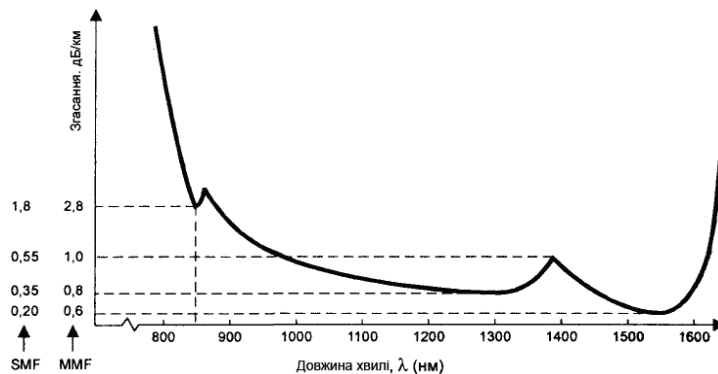


Рис.8. Спектральна залежність власних втрат для сучасних одномодових та багатомодових волокон [26]

Згідно з рис. 5 найменші втрати виникають в околі довжини хвилі $\lambda=1550$ нм для одномодового оптичного волокна, яке найбільш придатне для ВПВОІ. Тому основний робочий діапазон випромінювання систем високошвидкісних паралельних волоконно-оптичних інтерфейсів, в тому числі з використанням DWDM-ущільнення повинен обиратись навколо центральної довжини хвилі $\lambda=1550$ нм.

ВПЛИВ СУСІДНІХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАНАЛІВ В МАСИВІ ВПВОІ

Оскільки оптичні волокна в масиві ВПВОІ щільно розташовані поряд у вигляді волоконно-оптичного джгуту, то відбувається обмін потужностями між поверхневими модами оболонки оптоволокон джгута. При цьому може відбуватися обмін оптичними потужностями між сусідніми волоконно-оптичними каналами в масиві ВПВОІ в процес передачі сигналів. Цей процес добре описується за допомогою теорії зв'язаних хвиль у волоконних світловодах [27, 28].

Обмін потужностями між модами одного каналу можна визначити, якщо позначити через I_1 – початкову інтенсивність, яка існує в каналі 1 (впливаючий канал), а через I_2 інтенсивність, яка виникає в каналі 2 (канал на який впливає інший канал), яку можна визначити за формулою [27, 28]:

$$I_2 = f \left(1 + \left(\frac{\delta}{\chi^2} \right)^2 \right), \quad (18)$$

де $\delta = \frac{\beta_1 - \beta_2}{2} = \frac{\Delta\beta}{2}$ – параметр фазового розлаштування каналу 1 та 2; L – довжина відрізка взаємодії; β – параметр розповсюдження; χ – коефіцієнт зв'язку каналів в масиві ВПВОІ.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВВЕДЕННЯ ТА ВИВЕДЕННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ВОЛОКОННІ КАНАЛИ ВПВОІ

Важливою умовою при побудові паралельних волоконно-оптичних інтерфейсів є висока ефективність введення потужності випромінювання в оптичне волокно, що показують формули (6), (8) та (12)-(15). Чим більше оптичної корисної оптичної потужності інформаційного сигналу введено у в оптоволоконно, тим вищі параметри швидкості передавання інформації, дальності та якості процесу передачі даних. Структуру оптичної системи введення випромінювання представлено на рис. 7.

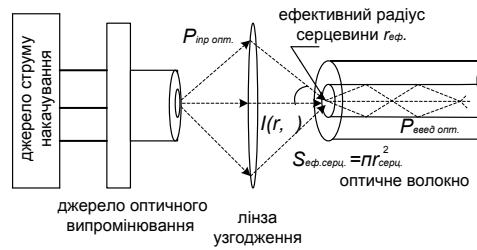


Рис.7. Структура оптичної системи введення випромінювання у оптичне волокно

При введенні оптичного потоку у волокно, не вся частина вхідної потужності ефективно фокусується лінзою в сердцевині, а лише її частка, що відповідає значенню $P_{in} = k_{\eta} \cdot P_{LD}$, де k_{η} – коефіцієнт введення випромінювання; P_{LD} – оптична потужність джерела.

Повна ефективність введення випромінювання від VCSEL-лазерних джерел масиву ВПВОІ у масив оптичних волокон можна визначити, перетворивши (26) з врахуванням останніх тверджень:

$$\eta_{input} = \frac{S_{core} \cdot \sin^2 \varphi}{\sin^2 \varphi_{vupr}} = \frac{P_{VCSEL}}{P_{in}} \quad (27)$$

При $\eta_{input} = 0,5$ досягається втрати 3дБ оптичної потужності, що рівне половині від введеної. Тому ефективність введення повинна знаходитись в межах $0,5 < \eta_{input} < 0,95$.

При безпосередньому узгодженні волоконно-оптичних структур ВПВОІ, зокрема джерел оптичного випромінювання і фотоприймачів з самим оптичним волокном можуть виникати достатньо великі оптичні втрати, які обумовлені різними лінійними розмірами активних світловипромінюючих або світлопоглинаючих площадок лазерів та фотоприймачів. Якщо у випадках короткого оптичного зв'язку це допустимо, то у системах високошвидкісного зв'язку на базі ВПВОІ такі умови призводять до недопустимих втрат сигналів і порушення цілісності інформації, яка передається. Тому, як вже зазначалося, необхідним є використання високоефективних узгоджуючих елементів, на основі мікролінз Френеля (збиральні плоскі лінзи), або технології плавних волоконних переходів [27]. Крім того до таких лінз пред'являються високі вимоги по забезпеченню високого світлопропускання шляхом нанесення просвітлюючих покриттів [29], які зменшують втрати на розсіювання випромінювання.

Відомо, що при перетворенні гаусових пучків, якими є пучки лазерних джерел і приймачів випромінювання можна здійснити за допомогою лінзи з фокусною відстанню f , розміщеної на відповідних відстанях перетяжки вхідного та вихідного світлових пучків.

ВИСНОВКИ

В роботі розроблено метод організації та структури високошвидкісних паралельних волоконно-оптичних інтерфейсів (ВПВОІ) передачі інформації. Розроблено математичні співвідношення, які можуть бути корисними для розрахунку основних характеристик ВПВОІ. є перспективним напрямком. Високошвидкісні паралельні волоконно-оптичні інтерфейси є перспективним напрямком для розвитку засобів передачі інформації та зображень в системах високопродуктивних обчислювачів, кластерних обчислювальних системах, суперкомп'ютерах, розподілених обчислювальних системах та образних комп'ютерах, де пред'являються надзвичайно високі вимоги до швидкості передачі каналів та інтерфейсів міжстанційного і локального передавання даних.

Висока теоретично-досяжна величина швидкості передавання інформації за допомогою ВПВОІ з великою розмірністю масиву каналів робить дуже актуальним використання таких волоконно-оптичних інтерфейсів в системах швидкісного оброблення і розпізнавання образної інформації та штучного інтелекту, оскільки потенційні можливості масштабування паралельних волоконно-оптичних інтерфейсів, а також розширення їх функціональних можливостей в область систем з DWDM-мультиплексуванням дають змогу забезпечувати паралельне передавання зображень та образної інформації в кольоровому форматі без їх стиснення та розпаковування, що дає значний вииграш у часі.

Крім переваг, на сьогоднішній день вагомою проблемою при побудові ВПВОІ є зростання апаратних затрат, яке пропорційне збільшенню розмірності масивів елементів системи ВПВОІ та числа волоконно-оптичних каналів. Але сучасні досить стрімкі тенденції до здешевлення волоконно-оптичних компонент дозволять широкі і ефективне використання паралельних волоконно-оптичних систем в недалекому майбутньому.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воеводин В. В.. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, В. В. Воеводин. – СПб, БХВ-Петербург, 2004. – 608с. – ISBN 5-94157-160-7.
2. Майоров С. А. Оптические методы обработки информации / С. А. Майоров, А. А. Акаев. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.
3. Палагин, А. В. Системная интеграция средств компьютерной техники / А. В. Палагин, Ю. С.Яковлев. – Винница: Універсум-Вінниця, 2005. – 680 с. – ISBN: 966-641-140-7 .
4. Куссуль Н.Н. Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии: [Монография] / Н. Н. Куссуль, А. Ю.Шелестов. – К.: Наукова думка, 2008. – 452 с.
5. Воеводин В. В.. Кластеры и суперкомпьютеры – близнецы или братья? : [Электронный ресурс] / В. Воеводин, А. Андреев, С. Жуматий. – Режим доступа:World Wide Web, <http://www.osp.ru/os/2000/05-06/178019/>.
6. Кожем'яко В. П., Лисенко Г. Л., Цирульник С. М. Архітектура логіко-часового оптоелектронного процесора обробки зображень // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2004. – №1(7). – С. 103–110. – ISSN 1681-7893.
7. Бурцев В. С., Федоров В. Б. Ассоциативная память на принципах оптической обработки информации для СУПЕР-ЭВМ нового поколения // Квантовая электроника. – 1992. – №8. – С. 795-803.
8. Вербовецкий А. А. Новые методы и средства организации оптических суперкомпьютерных комплексов // Зарубежная радиоэлектроника. – 2001. – №12. – С. 51 – 63.
9. Вербовецкий А. А. Современные методы создания оптической цифровой вычислительной техники // Зарубежная радиоэлектроника. – 1999. – №6. – С. 12 –51.
10. Вербовецкий А. А. Современные нетрадиционные методы построения цифровых многоканальных оптических логических систем // Зарубежная радиоэлектроника. – 1998. – №4. – С. 16 – 45.
11. Никульский И.Е. Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа : [Монография] / Никульский И.Е. – М.: Техносфера, 2006. – 256с. – ISBN 5-94836-087-3.
12. Убайдулаев Р. Р. Волоконно-оптические сети [Текст] / Р. Р. Убайдуллаев. – М.: Эко-Тренз, 1998. – 268 с. – ISBN 5-88405-023-2.
13. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб: Издательство “Питер”, 1999. – 672с.
14. Семенов А.Б. Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи / А. Б. Семенов. – М.: КомпьютерПресс, 1998. – 302 с.
15. Кожем'яко В.П. Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / Кожем'яко В.П., Малиновський В.І. // Вісник ВПІ.-2008.-№1-С.95-101.
16. Михаил Гук. Интерфейсы устройств хранения. ATA, SCSI и другие. Энциклопедия : [Текст] / Гук Михаил. – СПб.: Питер, 2006. – 448 с. – ISBN 5-469-01531-9.
17. Лапин А.А. Интерфейсы. Выбор и реализация : [Текст] / А.А. Лапин. – М.: : Техносфера, 2005. – 168с. – ISBN 5-94836-058-X.
18. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум ; [пер. с немецкого под ред. Г. Гроше, В. Циглера]. – СПб.: Питер, 2005. – 992с. – (4-е изд.) – ISBN 978-5-318-00492-6.
19. Барский А.Б. Параллельные процессы в вычислительных системах. Планирование и организация / А. Б. Барский. – М.: Радио и связь, 1990. – 256с.
20. Лисенко Г.Л. Аналіз і моделювання роботи оптичних комутаторів для високопродуктивних волоконно-оптичних мереж / Г.Л. Лисенко, С.С. Тужанський, Осам Ф. Абудайя // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005, №2. – с. 69-76.
21. IEEE Standard for Low-Voltage Differential Signals (LVDS) for Scalable Coherent Interface (SCI), 1596.3 SCI-LVDS Standard, IEEE Std. 1596.3-1996, 1994.
22. Electrical characteristics of low-voltage differential-signalling (LVDS) interface circuits, TIA/EIA-644, National Semiconductor Corp., ANSI/TIA/EIA, 1996.
23. Суприган В. А. Математичне моделювання процесу паралельного передавання зображень за допомогою масиву ВОЛЗ / В. А. Суприган, Абу Даія Усама Фаузі.
24. Лисенко Г. Л. Волоконна та інтегральна оптика. Ч.1. Навчальний посібник / Г. Л. Лисенко. – Вінниця: ВДГУ, 1998. – 127 с.
25. Малиновський В. І. Інформаційна мережа з об'єднаними оптичними інтерфейс-каналами: дис. канд. техн. наук: 05.13.05 / Малиновський Вадим Ігорович. – Вінниця, 2010. – 193с.

26. Цирульник С. М. Розробка принципів побудови і структурної організації динамічної пам'яті на волоконно-оптичних лініях: дис. канд. техн. наук: 05.13.05 / Цирульник Сергій Михайлович. – Вінниця, 2007. – 170с.
27. Волоконно-оптичні структури комутації та передачі інформації : [Навчальний посібник.] / В. П. Кожем'яко, С.В. Павлов, Т.Б. Мартинюк, Г.Л. Лисенко. – Вінниця:ВДТУ, 2002. – 106с.
28. Снайдер А. Теория оптических волноводов ; [пер. с англ. под ред. Е.М. Дианова, В.В. Шевченко] / А. Снайдер, Дж. Лав. – М.: Радио и связь, 1987. – 655с.
29. Дмитриев С. А. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы / С. А. Дмитриев, Н. Н. Слепов. – М.: Изд. Connect, 2005. – 360 с.
30. Никитин В. Смартлинки – умные соединения / В.Никитин, Э.Семенов, А.Ломанов, А.Гусаров. – Фотоника. – №1. – 2009. – С.32-39.

Надійшла до редакції 20.05.2010р.

КОЖЕМ'ЯКО ВОЛОДИМИР ПРОКОПОВИЧ – засл. діяч науки і техніки України, д.т.н., проф., зав. кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, *E-mail:* kvp@vstu.vinnica.ua

МАЛІНОВСЬКИЙ ВАДИМ ІГОРЕВИЧ – інженер кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, тел.: 8 (0432) 58-63-25, *E-mail:* tirexlink@mail.ru