

МАКСИМАЛЬНЕ НАБЛИЖЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ ПЕРЕДАЧІ ВОСП ХМ ДО ГРАНИЧНИХ МЕЖ

Буханець О.С., Бердников О.М.

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: sanya05091997@gmail.com

Maximum approximation of transmission speed of ВОСП ХМ to limit limits

Maximum throughput of ВОСП ХМ is analyzed. The graphs and diagrams of the comparison of the laser instability of the DWDM and NWDM technologies are presented.

Останні десятиліття характеризуються явно вираженим процесом інтеграції інформаційних систем та телекомунікаційних технологій, що останнім часом пов'язане з діджиталізацією суспільства, в тому числі і в Україні. Цей процес об'єктивно визначає неминучість подальшого розвитку інформаційного суспільства, що характеризується широким упровадженням додаткових мультимедійних послуг, високим зростанням обсягу інформаційного обміну у всесвітній мережі Internet, масовим впровадженням технологій високошвидкісної передачі цифрових сигналів із комутацією пакетів. Такі вимоги зажадають підвищення пропускної спроможності та гнучкості інформаційних мереж, надійності та безпеки систем зв'язку.

Реалізація цих процесів вимагає неухильного збільшення пропускної спроможності Національної телекомунікаційної мережі України (НТМУ), підвищення її гнучкості, забезпечення ефективної маршрутизації при передачі текстової та мовної інформації, рухомих і нерухомих зображень, інших мультимедійних послуг. Серед основних компонентів НТМУ, що напряду відповідають за пропускну спроможність мережі, є оптична транспортна платформа (ОТП), яка сформована телекомунікаційними транспортними системами (ТТС). Інтегральною оцінкою таких систем, як раз є пропускну спроможність, що визначається швидкістю (V , Гбіт/с) та дальністю передачі (L , км) лінійного сигналу. В якості ТТС на телекомунікаційних транспортних мережах і мережах доступу ще з кінця минулого століття використовуються волоконно-оптичні системи передачі (ВОСП) [1, 3].

За цей період з ними сталася помітна трансформація в бік збільшення швидкостей передачі сигналів в оптичних лінійних трактах (ОЛТ) систем передачі. Якщо при використанні ТТС плезіохронної цифрової ієрархії вона становила десятки і сотні мегабіт в секунду, при переході до ТТС синхронної цифрової ієрархії (СЦІ) – 10 і 40 Гбіт/с, то сьогодні швидкості передачі в ОЛТ, що використовують технологію хвильового мультиплексування (ХМ – *Wavelength Division Multiplexing / WDM*) тільки для C -діапазону довжин хвиль (найбільш використовуваний в Україні) складають терабіти в секунду [2].

Визначимо максимальне наближення до можливих швидкостей передачі ВОСП ХМ для C -діапазону (1530...1565 нм), які застосовують обробку сигналів в ОЛТ з використанням модуляції випромінювання лазера за

інтенсивністю (МІ), або бінарна амплітудна маніпуляція. Прийнемо для такого аналізу, що оптичний спектр випромінювання лазера обмежений трьома основними складовими, а нестабільність його випромінювання варіюється в межах 0,005...0,05 нм. Приклад обліку зазначених умов пояснює табл. 1.

Таблиця 1. Приклад розрахунку полоси частот модульованого оптичного сигналу.

Робоча довжина хвилі лазера (з нестабільністю): $\lambda_0 \pm \Delta\lambda/2$	1558,97 \pm 0,05 нм
Межі зміни довжини хвилі лазера внаслідок нестабільності його випромінювання: $\lambda_0 - \Delta\lambda/2 \dots \lambda_0 + \Delta\lambda/2$	1558,92 ... 1559,02 нм
Межі зміни частоти лазера внаслідок нестабільності:	От 192 295 до 192 307 ГГц
Діапазон зміни частоти лазера внаслідок нестабільності:	12 ГГц
Нестабільність роботи лазера по частоті: $\pm \Delta f/2$	\pm 6 ГГц
Необхідна смуга частот для передачі спектра модульованого сигналу по ОВ, з урахуванням нестабільності роботи лазера: $(f_0 + F_M + \Delta f/2) - (f_0 - F_M - \Delta f/2)$	(192300 + 40 + 6) = 192346 – (192300 – 40 – 6) = 192254 92 ГГц

Швидкість передачі ВОСП ХМ ($V_{СП}$), в першу чергу, залежить від кількості ($N_{ОТр}$) оптичних трактів / каналів (ОТр), що утворені системою, і максимально можливою швидкістю передачі трафіку по утворених ОТр ($V_{ОТр}$), тобто $V_{СП} = N_{ОТр} \times V_{ОТр}$. Кількість ОТр ВОСП ХМ залежить від використовуваної технології ХМ і діапазону роботи ВОСП (табл. 2). Швидкість передачі по ОТр визначається смугою частот або діапазоном довжин хвиль, що займані ОТр. Відомо, що швидкість передачі цифрового сигналу чисельно дорівнює тактовій частоті. Якщо по ОТр передавати трафік зі швидкістю передачі $V_{ОТр} = 40$ Гбіт/с, то тактова частота складає $F_M = 40$ ГГц, а з урахуванням випромінювання лазера на трьох складових f_0 , $(f_0 + F_M)$ і $(f_0 - F_M)$, мінімально необхідна смуга частот ОТр (Δf_{min}) буде не менше 80 ГГц. Якщо по ОТр передавати трафік зі швидкістю передачі $V_{ОТр} = 10$ Гбіт/с, то при тих же умовах Δf_{min} – не менше 20 ГГц. Тому, при передачі по ОТр потоків технології СЦ, однакові швидкості передачі в ОЛТ ХМ в С-діапазоні забезпечують ВОСП DWDM і ВОСП NWDM (табл. 2).

Таблиця 2. Порівняння характеристик ВОСП ХМ С-діапазону довжин хвиль / частот.

Технології		WDM – просте ХМ	DWDM – щільне ХМ	HDWDM – високощільне ХМ	NWDM – вужькополосне ХМ
Смуга ОТр	$\Delta\lambda_{ОТр}$, нм	1,61	0,8	0,4	0,2
	$\Delta f_{ОТр}$, ГГц	200	100	50	25
$N_{ОТр}$		20	40	80	160
$V_{ОТр}$, Гбіт/с		40	40	10	10
$V_{СП}$, Тбіт/с		0,8	1,6	0,8	1,6

Залишається питання про показник переваги зазначених технологій. Таким показником можна якісно і кількісно визначити переваги між ВОСП за технологіями DWDM і NWDM спираючись на вимоги до нестабільності випромінювання лазерів оптичних передавачів, які можуть значно збільшити Δf_{min} . Якісно це означає що, чим більша нестабільність випромінювання лазерів ($\Delta\lambda/2$) допускається при передачі сигналу, тим доцільніше використовувати ту чи іншу з систем ХМ і навпаки. Отримані в результаті розрахунків залежності рис. 1 і 2 дозволяють зробити перший висновок, що по

нестабільності випромінювання лазерів ($\Delta\lambda/2$) доцільніше звернутися до ВОСП *DWDM*. У таких системах допускається робота при $\Delta\lambda/2 = \pm 0,05$ нм (рис. 1), а в ВОСП *NWDM* тільки при $\Delta\lambda/2 \approx \pm 0,02$ нм (рис. 2).

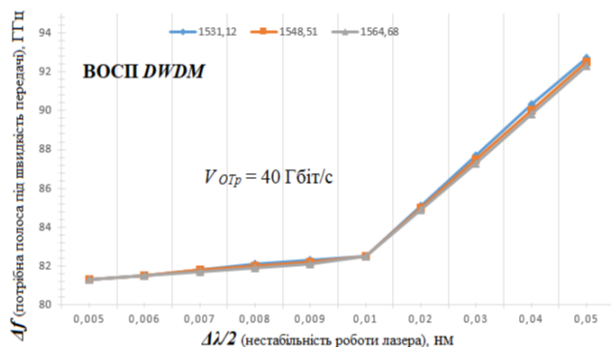


Рисунок 1.

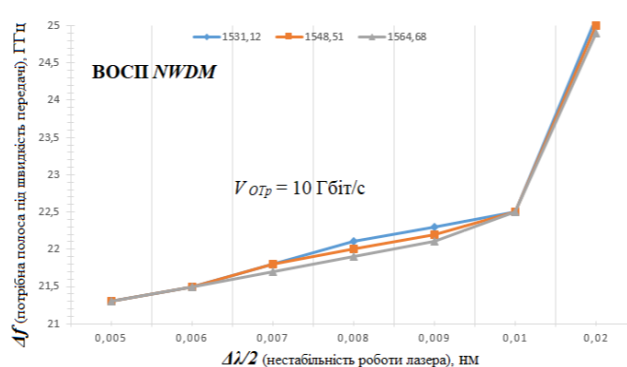


Рисунок 2.

Другим висновком є те що, критерієм кількісного порівняння ВОСП *DWDM* і *NWDM* пропонується ввести “індекс селективності”, наприклад, $\nu = \Delta f_{OTp} / \Delta f_{min}$. Такий параметр показує виграш в використанні відведеної смуги частот / довжин хвиль при передачі сигналу по OTp з урахуванням нестабільності випромінювання лазера – $\Delta\lambda / 2$. При розрахунку Δf_{min} враховувалися різні значення $\Delta\lambda / 2$, а потім узагальнювалися результати за ν -індексом.

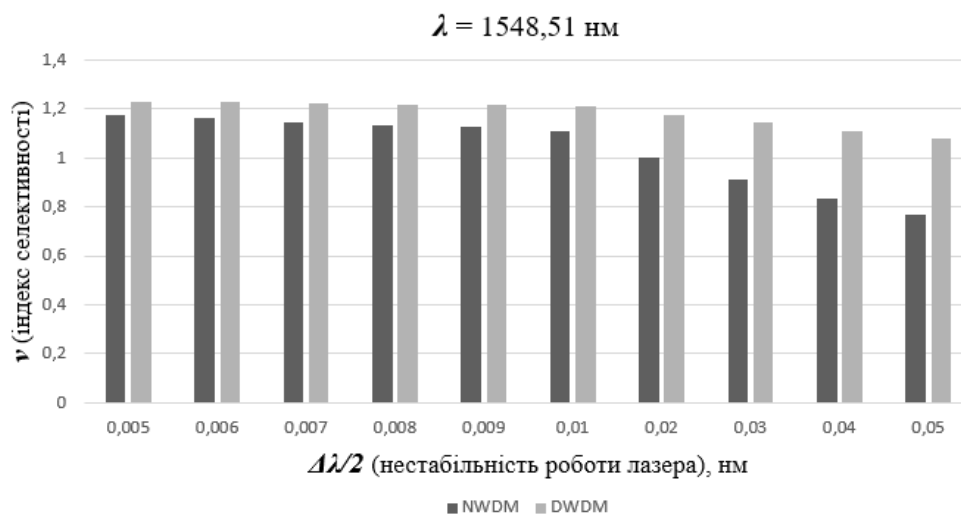


Рисунок 3.

Виграш, що отриманий, дозволяє спростити вимоги до селективних пристроїв ВОСП ХМ таких як, оптичні мультиплексори / демультимплексори, смугові фільтри, транспондери передачі і т. ін.. Доцільність застосування ВОСП *DWDM* при прийнятих умовах демонструють діаграми рис. 3, що наведені для однієї з довжин хвиль *S*-діапазону, зважаючи на повторюваність результатів на інших довжинах хвиль.

Література

1. Хмелев К.Ф. Основы фотонного транспорта. – Киев: Техніка. 2008. – 680 с.
2. Бердников О.М., Хмельов К.П. Застосування технології *WDM* на телекомунікаційних мережах / Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ “КПІ”. – 2003. – № 3. – с. 5...11.
3. Романишин В.С., Бердников О.М. Нарощування пропускної спроможності телекомунікаційних транспортних систем. XII Міжнародна науково-технічна конференція “Проблеми телекомунікацій” ПТ-2018: Збірник матеріалів конференції. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 74...76.