



Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем управління та автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки



МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЦИФРОВА ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ

Спеціальність 8.05100402 – «Лазерна і оптоелектронна техніка»

Виконав: студент гр. ЛОТ-14м Мінцзянь Хуан

Керівник: доцент, к.т.н. Тужанський С.Є.

ВІННИЦЯ – 2015

Актуальність теми. Зростання обсягів інформації, що передається у комп'ютерних мережах потребує розвитку волоконно-оптичних систем, які є основою сучасних магістралей (Internet та ін.). Цифрові волоконно-оптичні технології є найбільш перспективними для систем передачі, оскільки забезпечують максимальну пропускну здатність і дальність зв'язку. Виконання сучасних стандартів передачі для волоконних мереж накладає нові обмеження на енергетичний баланс (зменшує максимальну дальність зв'язку). Розвиток інформаційних технологій потребує удосконалення засобів організації волоконно-оптичного цифрового зв'язку з урахуванням нових стандартів і обладнання, яке здатне працювати на великих швидкостях передачі даних. Існує значна кількість факторів і фізичних явищ, які обмежують пропускну здатність таких ВОСП (дисперсія, загасання, втрати на з'єднаннях). Мінімізація їх впливу дозволить розробити системи із оптимальною дальністю і швидкістю передачі з урахуванням можливої кількості вузлів і архітектури мережі. Таким чином, розробка цифрових волоконно-оптичних системи передачі (ВОСП) із підвищеною пропускну здатністю є актуальною науково-технічною задачею сьогодення.

Мета роботи. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення пропускну здатності цифрової волоконно-оптичної системи передачі, моделювання і аналіз характеристик вдосконаленої системи передачі.

Основні завдання дослідження:

- провести аналіз існуючих засобів, елементної бази і технологій цифрових волоконно-оптичних мереж передачі даних;
- проаналізувати основні фактори, що впливають на пропускну здатність і дальність зв'язку цифрових волоконно-оптичних систем;
- розрахувати енергетичний баланс системи та умови його забезпечення на вказаній відстані з урахуванням топології і кількості кінцевих користувачів;
- спроектувати і проаналізувати роботу лінійного оптичного тракту ВОСП та його основних компонентів;
- розробити структурну схему цифрової ВОСП з оптимальним набором компонентів для забезпечення 4-кратного запасу пропускну здатності мережі у майбутньому;
- удосконалити схеми основних активних елементів лінійного оптичного тракту ВОСП на основі сучасної елементної бази;
- здійснити комп'ютерне моделювання теоретичної границі пропускну здатності ВОСП.

Об'єкт дослідження – процеси передачі інформації у цифрових волоконно-оптичних системах.

Предмет дослідження – методи, моделі і засоби організації зв'язку у цифрових волоконно-оптичних системах передачі.

Наукова новизна. Дістав подальшого розвитку метод організації волоконно-оптичного зв'язку для вузлів ВОСП із синхронною цифровою ієрархією, який базується на аналізі енергетичного балансу системи із урахуванням ресурсу інформаційної ємності (чинників фундаментальних обмежень волокна, лазерів і фотоприймачів), що дозволило підвищити ефективність використання активного мережевого обладнання і ресурсів оптичного кабелю (за рахунок мінімізації потрібної кількості оптичних волокон) з урахуванням запасу для потенційного збільшення пропускної здатності спроектованої ВОСП.

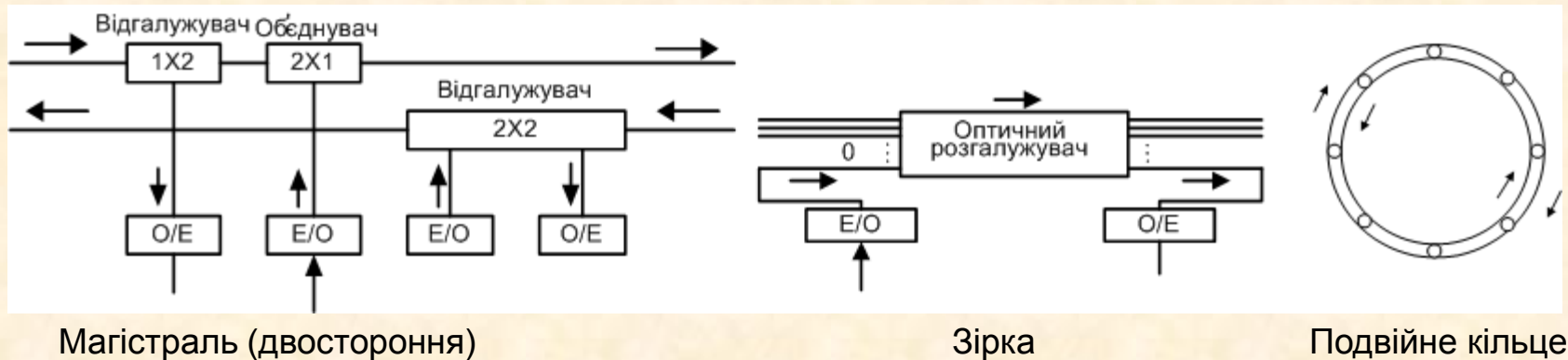
Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень розроблено структурну організацію і вдосконалено роботу цифрової ВОСП, зокрема:

- Розроблено структурну схему організації цифрової волоконно-оптичної мережі із оптимальним вибором елементів, яка враховує попередній теоретичний аналіз інформаційної ємності оптичного кабелю та перспективи підвищення пропускної здатності в майбутньому;

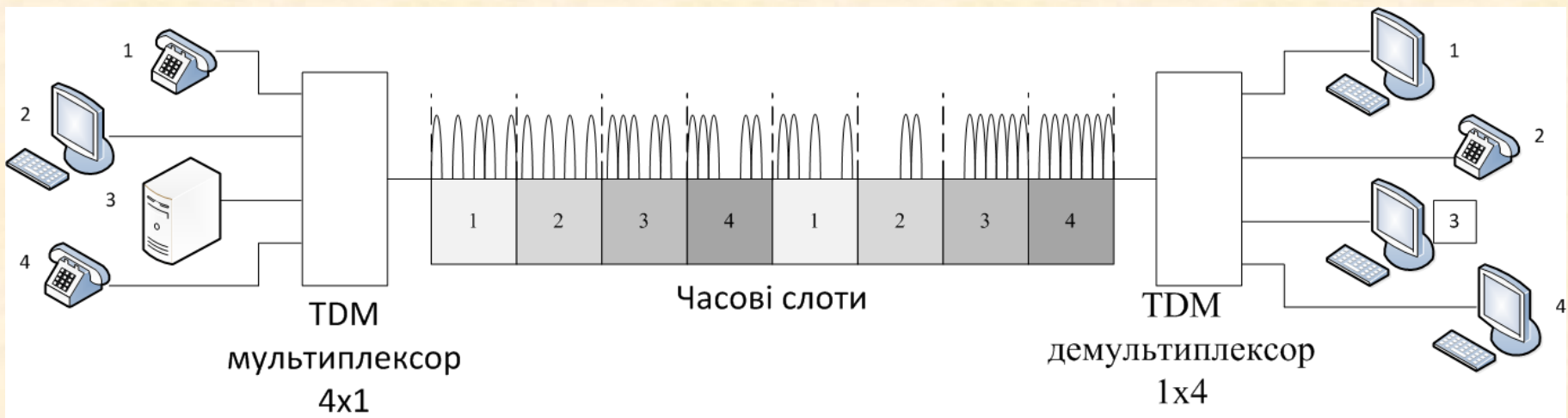
- Удосконалено комп'ютерну модель для оцінювання спектральної ефективності хвильового ущільнення для цифрових систем волоконно-оптичного зв'язку, що дозволяє оптимізувати вибір кількості каналів WDM (або DWDM) для ефективного використання ресурсу смуги пропускання оптичного кабелю з урахуванням особливостей конкретної цифрової ВОСП.

Аналіз технологій волоконно-оптичних мереж

Основні топології ВОСП: кільцева, лінійна (магістральна), зіркоподібна

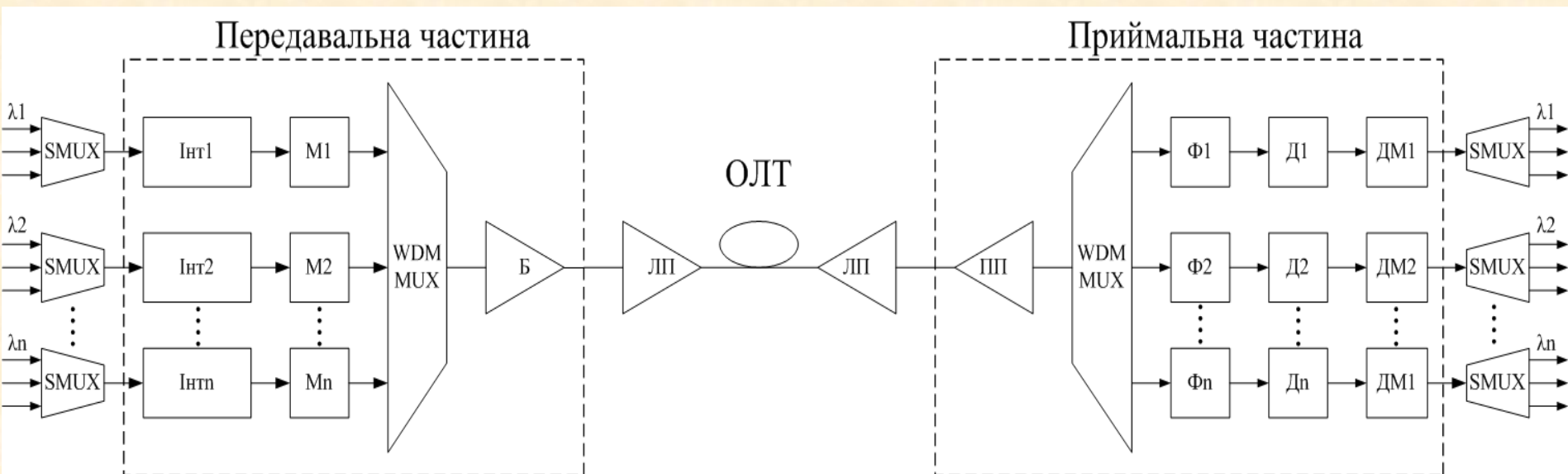


Волоконно-оптична мережа передачі даних із часовим мультиплексуванням



Технологія хвильового мультиплексування (WDM)

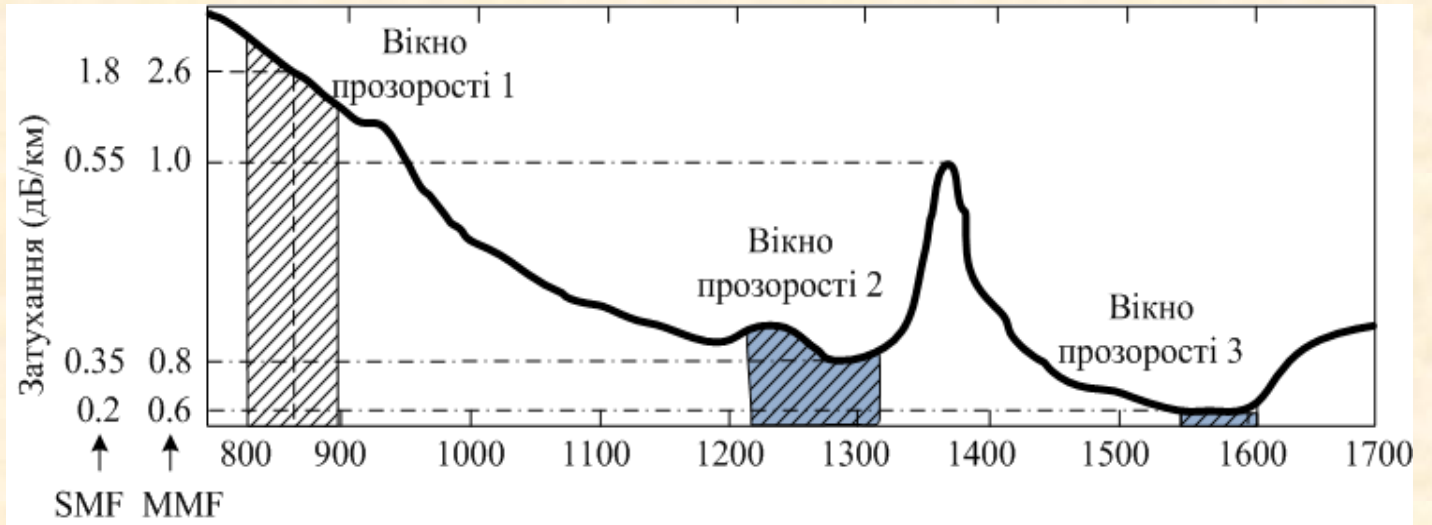
Волоконно-оптична система цифрової передачі даних із хвильовим мультиплексуванням



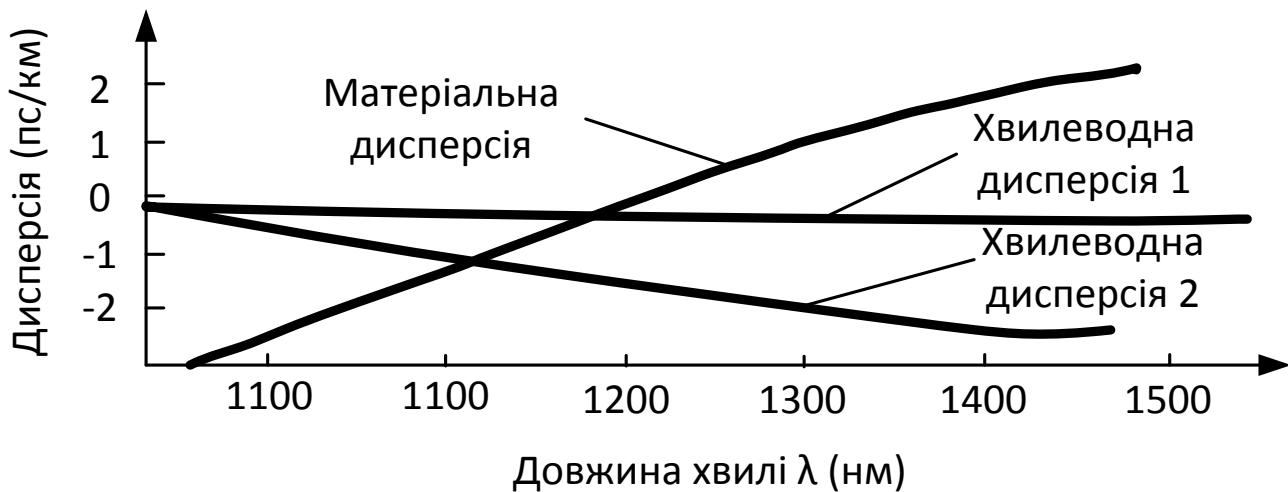
SMUX – оптичний мультиплексор ведення/виведення, М – мультиплексори, ДМ – демультимплексори, Ф – фільтри, ЛП – лінійний підсилювач, ПП – попередній підсилювач, ОЛТ – оптичний лінійний тракт

Аналіз характеристик оптичних волокон для ВОЛЗ

Власні втрати ОВ



Дисперсія ОВ



Розробка і аналіз роботи ВОСП

Вибір елементів трансівера

Характеристики	Тип лазера для SFP-модуля		
	JDSU 54TM-3XYZ	CyOptics D2500	Nel NLK3C8CAKB
Діапазон робочих довжин хвиль, нм	1500-1580	1530-1570	1530-1565
Потужність, дБм	-1.5...2	1	-1...2
Пороговий струм накачки, мА	20...50	12...50	15...30
Рівень подавлення бічних мод, дБ	30	30	35
Час наростання/ спаду, пс	150	130	125
Максимальна швидкість передачі, Гбіт/с	2.5	2.5	10

Трансівер (SFP- модуль) - FoxGate X2d-DWDM-2SM

Розрахунок характеристик і вибір оптичного кабеля

Чисельна апертура ОВ

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0.1074$$

Втрати (поперечний зсув 0,5 мкм)

$$L_x = 2.17 \cdot \left[\frac{x_2 \cdot J_0(x_1)}{J_1(x_1)} \right]^2 \cdot \left(\frac{x}{a} \right)^2 = 0,0352 \text{ дБ}$$

Втрати (кутовий зсув 0,3°)

$$L_\theta = 3,31 \cdot 10^{-4} \left(\frac{W_0 \cdot V}{r} \right)^2 \left(\frac{n_2}{n_1 - n_2} \right) \cdot \theta^2 = 0,0507 \text{ дБ}$$

Коефіцієнт втрат (загасання ОВ)

$$\alpha_L = K_{rel} \lambda^{-4} + \delta_{OH}(\lambda) + C e^{-k/\lambda} = 0,21 \text{ дБ/км}$$

Хроматична дисперсія ОВ

$$\tau_{cr} = D \cdot L \cdot \Delta\lambda = 2,65 \text{ нс}$$

Поляризаційна модова дисперсія ОВ

$$\tau_{PMD} = PMD \cdot L \cdot \Delta\lambda = 1,069 \text{ нс}$$

Смуга пропускання ОВ

$$B = \frac{0,44}{\tau_\Sigma} = 15,398 \text{ ГГц}$$

Оптичний кабель (4 жили) - SNR-FOCA-UT4-04-C

Оптоволокно – Corning Truwave SMF-28



Розрахунок енергетичного балансу ВОСП

$$E = \alpha_{\kappa} \cdot L_{\partial p} + \alpha_{pз} \cdot n_{pз} + \alpha_{нз} \cdot n_{нз} + \alpha_{мз} + \alpha_{зз}$$

E – енергетичний запас; α_{κ} – кілометричний коефіцієнт загасання ОВ (0,21 дБ/км);
 $\alpha_{pз}$ – коефіцієнт загасання роз'ємних з'єднань (0,3дБ); $n_{pз}$ – кількість роз'ємних з'єднань, по одному на вході і виході ОВ; $\alpha_{нз}$ – коефіцієнт загасання нероз'ємних з'єднань, місця зварки світловодів (0,1 дБ); $n_{нз}$ – кількість нероз'ємних з'єднань;
 $\alpha_{мз}$ – коефіцієнт загасання через макровигини(0,3дБ);
 $\alpha_{зз}$ – запас по загасанню (3...5дБ); $L_{\partial p}$ – ділянка регенерації

Довжина регенераційної ділянки

$$L_{p\partial} = \frac{E - \alpha_{pз} \cdot n_{pз} - \alpha_{нз} - \alpha_{мз} - \alpha_{зз}}{\alpha_{\kappa} + \alpha_{нз} / L_{\text{б\text{уд}}}} = 53,45 \text{ км}$$

Довжина регенераційної ділянки
(з дисперсією, стандарт 10GBASE-LR)

$$L_{p\partial} = 40 \text{ км}$$

Границя інформаційної ємності ВОСП

Границя інформаційної ємності (критерій Хартлі-Шеннона)

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = WC'$$

$\frac{S}{N}$ – відношення сигнал-шум, W – спектральна ширина каналу,
 C' – спектральна ефективність системи.

Границя чутливості фотоприймача p-i-n ФД

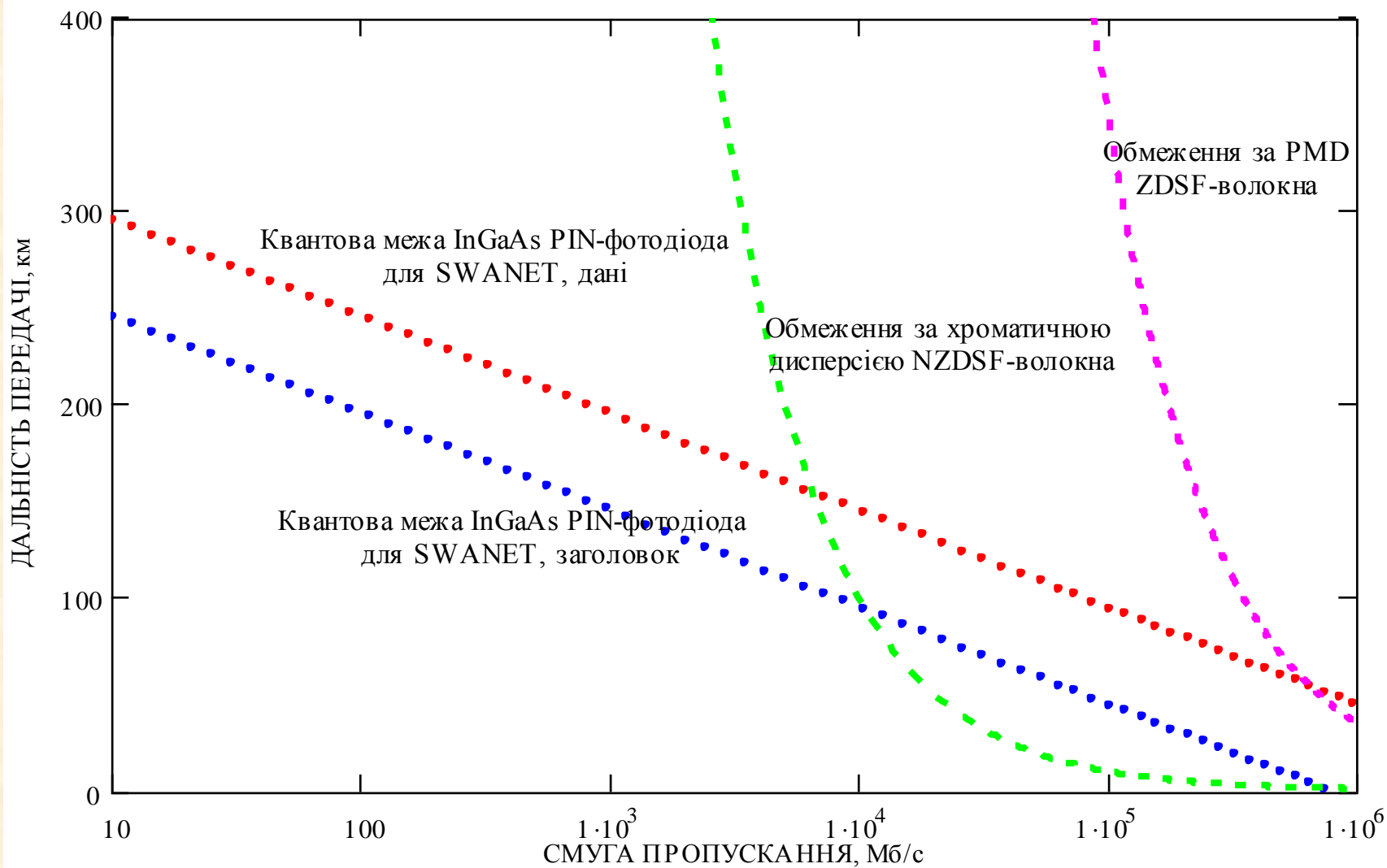
$$P_r(n) = \bar{N}^n \frac{e^{-\bar{N}}}{n!} \quad \bar{N}_{pin} = 11 \ln 10 = 25,3 \approx 25$$

Спектральна ефективність (з шумами оптичних підсилювачів)

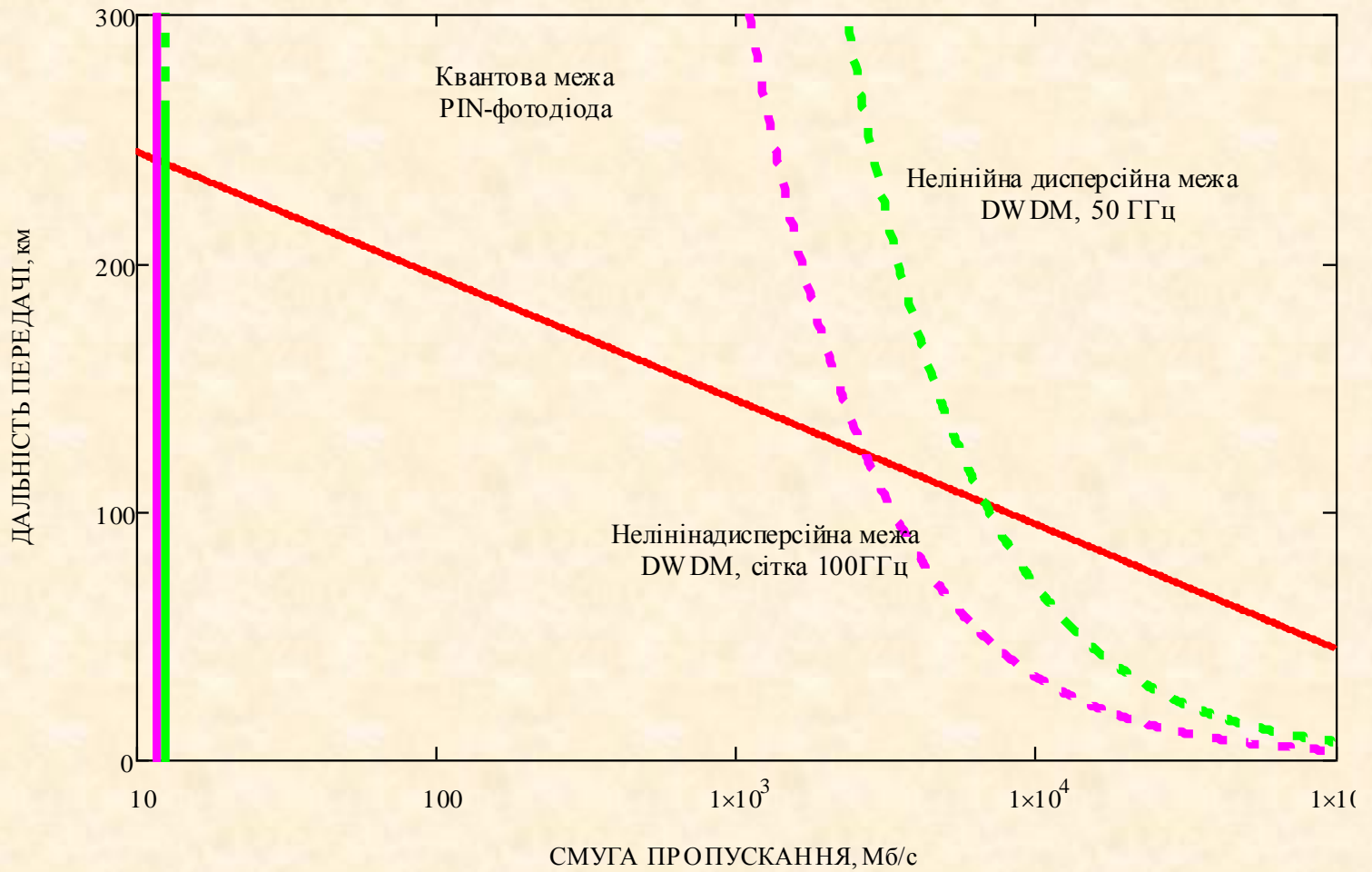
$$C'_o = \log_2 \left(1 + \frac{I}{I_n} \right) = \log_2 \left(1 + \frac{I}{n_s a G h \nu B} \right)$$

де n_s – кількість волоконних прольотів, a – стала, G – коефіцієнт підсилення оптичного підсилювача, h – стала Планка, ν – робоча частота, B – смуга пропускання оптичного волокна

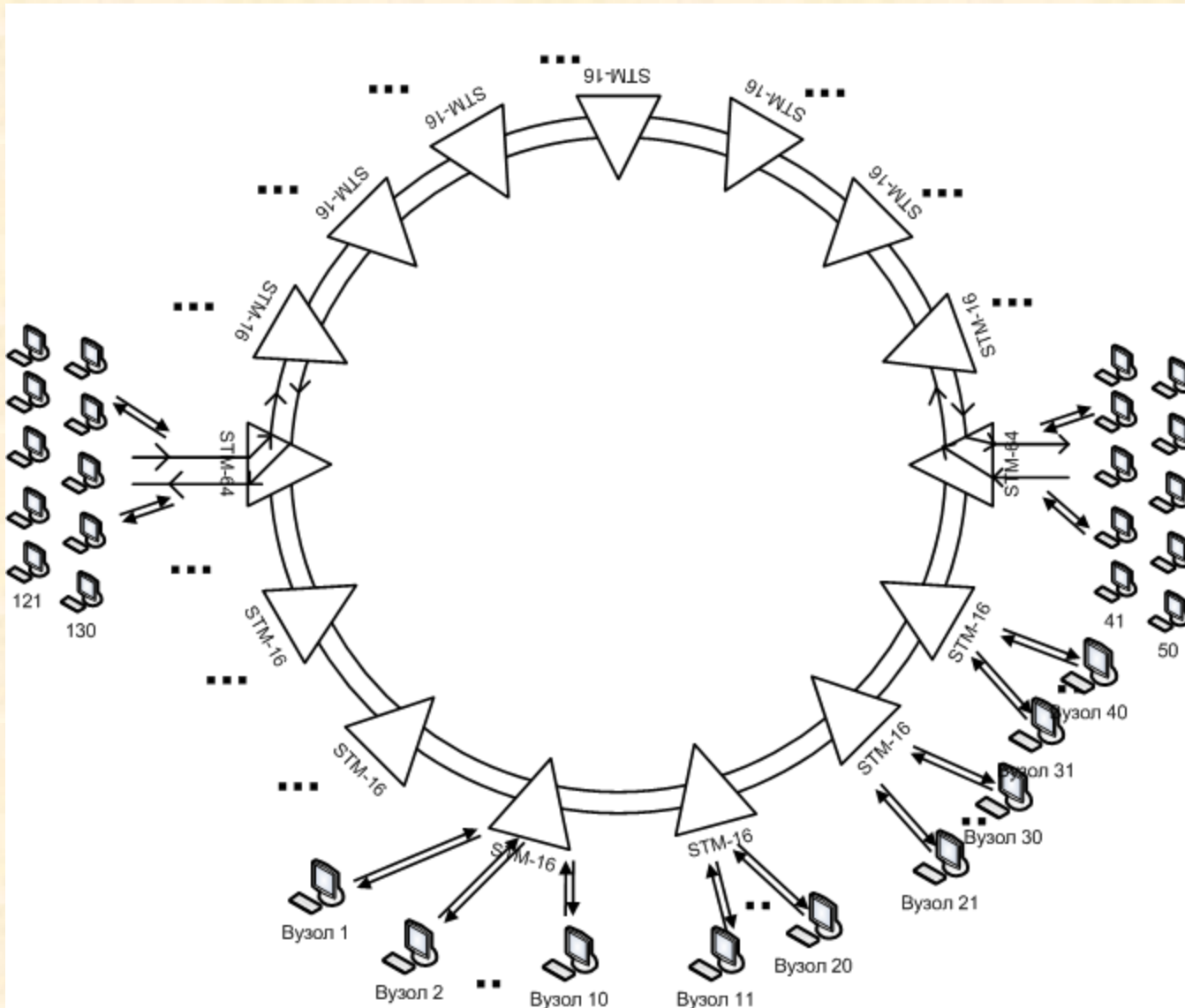
Фундаментальні обмеження пропускної здатності



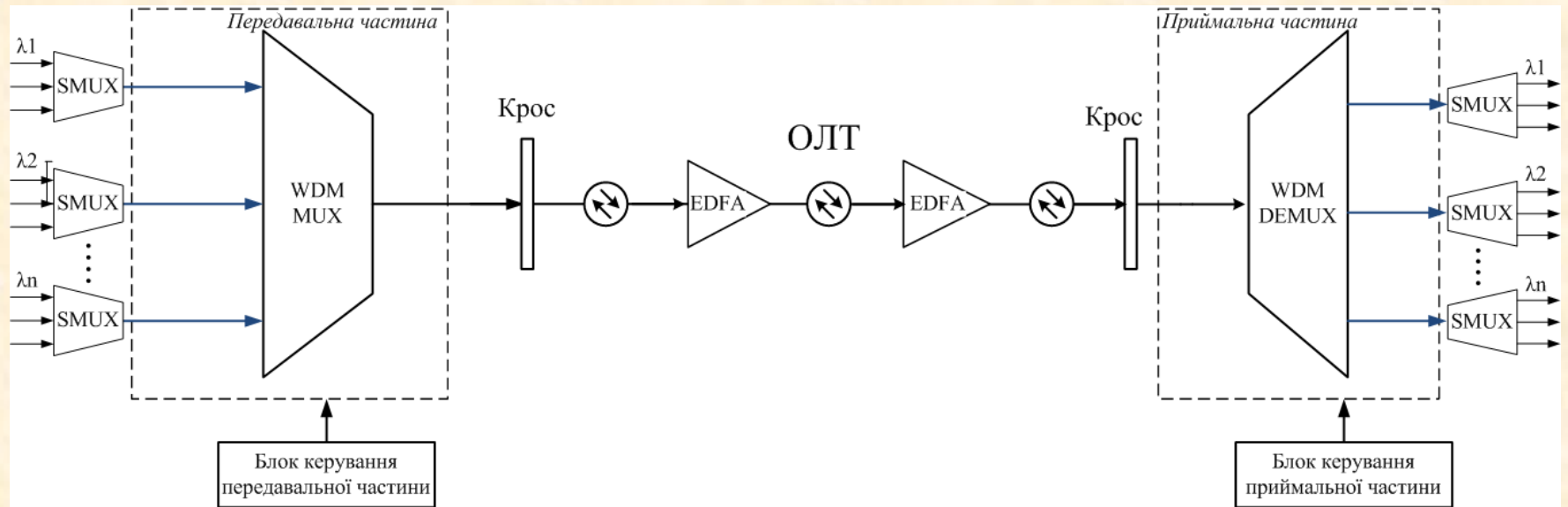
Вплив нелінійної дисперсії на пропускну здатність ВОСП



Топологія цифрової ВОСП (подвійне кільце)



Структурна схема магістралі ВОСП при використанні хвильового мультиплексування



Висновки

В МКР здійснено аналіз сучасних засобів і технологій волоконно-оптичних мереж зв'язку, методів мультиплексування сигналів, а також характеристик оптичних кабелів зв'язку та оптичних волокон для ВОСП.

Виконано розробку та проектування оптичного лінійного тракту для магістральної ділянки цифрової волоконно-оптичної системи передачі даних та його основних компонентів.

Дістав подальшого розвитку метод організації волоконно-оптичного зв'язку для вузлів ВОСП із синхронною цифровою ієрархією, який базується на аналізі енергетичного балансу системи із урахуванням ресурсу інформаційної ємності (чинників фундаментальних обмежень волокна, лазерів і фотоприймачів), що дозволило підвищити ефективність використання активного мережевого обладнання і ресурсів оптичного кабелю (за рахунок мінімізації кількості оптичних волокон) з урахуванням запасу для потенційного збільшення пропускної здатності спроектованої ВОСП.

Проведено комп'ютерне моделювання для аналізу впливу факторів, що впливають на пропускну здатність цифрової волоконно-оптичної системи. Так, визначено границі інформаційної ємності мережі з урахуванням фундаментальних обмежень, спектральної ефективності та впливу нелінійних оптичних ефектів на пропускну здатність залежно від дальності зв'язку. З урахуванням проведеного модельного аналізу обрано елементну базу для активних елементів ВОСП.

Розроблено структурну схему організації цифрової волоконно-оптичної мережі із оптимальним вибором елементів, яка враховує перспективи 4-кратного підвищення пропускної здатності в майбутньому.

Удосконалено модель для оцінювання спектральної ефективності хвильового ущільнення для цифрових систем волоконно-оптичного зв'язку, що дозволяє оптимізувати вибір кількості каналів WDM для ефективного використання ресурсу смуги пропускання оптичного кабелю з урахуванням особливостей цифрової ВОСП.

Проведено розрахунки характеристик оптичного волокна та обрано оптичний кабель на його основі. З урахуванням визначеної кількості каналів мультиплектора ($N_{\text{wdm}}=24$) розроблено структурну схему магістралі ВОСП та проаналізовано її роботу з оптичними підсилювачами EDFA.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

