

УДК 621.391

М.М. Климаш¹, О.В. Корецький²¹ Національний університет "Львівська політехніка", Львів² Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса

МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ЙМОВІРНОСТІ БЛОКУВАННЯ В ОПТИЧНИХ МЕРЕЖАХ ЗІ СПЕКТРАЛЬНИМ УЩІЛЬНЕННЯМ

Запропоновані моделі, які дозволяють визначити оптимальні набори хвильових каналів в оптичній мережі, враховуючи розміри мережі та поточний стан її завантаженості, забезпечуючи при цьому необхідні вимоги до ефективності, а також підвищити ефективність оптичних транспортних систем зі спектральним ущільненням, за рахунок максимізації співвідношення "сигнал/шум" для окремого хвильового каналу, при забезпеченні заданого рівня ймовірності блокування. Підтверджено, що використання конвертерів довжин хвиль забезпечує збільшення коефіцієнту використання каналу, при рівних ймовірностях блокування. Зокрема для 40 довжин хвиль, коефіцієнт використання становить від 70% до 80% в залежності від розміру мережі.

Ключові слова: ймовірність блокування, спектральне ущільнення, коефіцієнт використання каналу, співвідношення "сигнал/шум".

Вступ

В останні роки розвиток оптоволоконних систем настільки стрімкий, що навіть в мережах доступу впроваджуються рішення, які донедавна використовувались лише в транспортних мережах. Одним з перспективних напрямків, який розвивається в даний час в мережах доступу, є сімейство технологій FTTx, яке включає в себе різноманітні види архітектур [1]:

- FTTN (Fiber to the Node) – волокно до мережевого вузла;
- FTTC (Fiber to the Curb) – волокно до мікрорайону;
- FTTB (Fiber to the Building) – волокно до будівлі;
- FTTN (Fiber to the Home) – волокно в дім.

Основне завдання даної технології – забезпечувати доставку пакетів різноманітних послуг та сервісів. Для прикладу можна назвати популярний набір, що отримав назву (Triple Play) – доступ до мережі Інтернет, телефонія, телебачення і доставка потокового відео. Стрімке зростання попиту на ці види послуг дозволяє вже зараз говорити про незмінність тенденції, відповідно до якої обсяги впровадження мереж FTTx будуть зростати протягом багатьох років.

Можна прогнозувати, що впровадження оптичних мереж на рівні доступу призведе до стрімкого зростання обсягів трафіку, який буде передаватись через транспортну мережу. Для забезпечення передавання великих обсягів трафіку є кілька варіантів реалізації транспортної магістралі, зокрема рішення на основі технологій IPoDWDM та OBS [2]. Однак, впровадження в експлуатацію даних технологій вимагає великих капітальних затрат. Тому актуальним напрямком залишається розвиток існуючих

транспортних мереж SDH/SONET в напрямку передавання пакетного трафіку. Розробки в даному напрямку призвели до виникнення нової концепції – NGSDH. Ця концепція полягає в передаванні трафіку від IP-мереж, використовуючи каналні ресурси транспортної SDH – магістралі. Одним з ключових елементів концепції NGSDH є технологія VCAT [3], яка полягає у віртуальній конкатенації контейнерів VC-4, що дозволяє виділяти необхідну пропускну спроможність для передавання пакетного трафіку. Крім того, сучасні системи зі спектральним ущільненням дозволяють необмежено нарощувати ширину транспортного "коридору". Однак зростання кількості хвильових каналів у оптичному волокні суттєво погіршує величину співвідношення "сигнал/шум" на одному з них, що негативно впливає на якість передавання даних та зменшує довжину регенераційної ділянки [4]. Тому актуальним завданням є мінімізація кількості довжин хвиль в DWDM системі з урахуванням співвідношення "сигнал/шум" та ймовірності блокування в мережі.

Модель розрахунку ймовірності блокування в оптичних мережах

Ймовірність блокування віртуального каналу мережі з конвертерами довжин хвиль, це ймовірність події при якій принаймні в одному прольоті всі довжини хвиль будуть одночасно використовуватись діючими віртуальними каналами [5]:

$$P_b = 1 - (1 - p^n)^k, \quad (1)$$

де k – кількість прольотів у віртуальному каналі; n – кількість довжин хвиль, які використовуються в мережі; p – ймовірність використання довжини хвилі в проміжній лінії, яка прямо пропорційно залежить від завантаженості мережі.

Для мінімізації перехресних завад в системі та підвищення рівня OSNR в окремому каналі пропонується методика визначення мінімальної можливої кількості хвильових каналів, при забезпеченні вимог до ймовірності блокування каналу. Ми пропонуємо побудову просторових залежностей ймовірності блокування віртуального каналу від кількості довжин хвиль в мережі для різної кількості прольотів. При цьому будемо враховувати, що завантаженість мережі протягом доби може змінюватись, тобто ймовірність використання довільної довжини хвилі у тій чи іншій проміжній лінії буде коливатись в межах від 0 до 1.

На рис. 1 представлені просторові залежності ймовірності блокування для випадків: $c=0.7$ та $c=0.9$.

Отримані результати показують, що мережа з конвертерами довжин хвиль може працювати оптимально навіть при невеликій кількості хвильових каналів у волокні, що дозволяє суттєво покращити OSNR в системі.

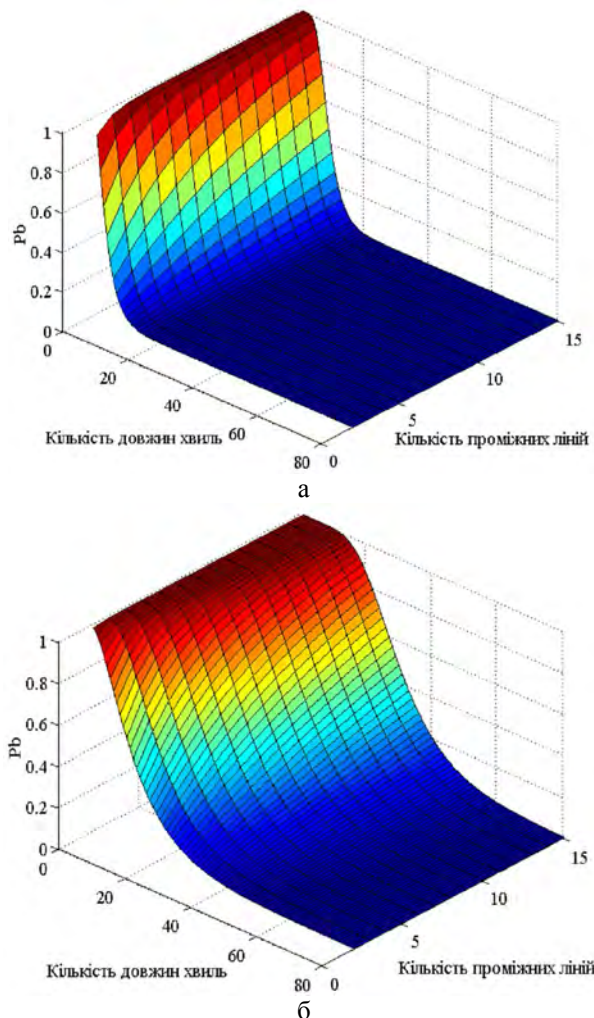


Рис. 1. Залежність ймовірності блокування від кількості довжин хвиль в мережі для різної кількості прольотів при а – $c=0.7$, б – $c=0.9$

При завантаженості мережі, яка відповідає $c=0.9$, ймовірність блокування близька до нуля, вже

при 40 довжинах хвиль, що відповідає стандарту ITU-T (ДФ=100ГГц, Дл=0.8 нм). Ймовірність блокування віртуального каналу в мережі без конвертерів довжин хвиль – це ймовірність події при якій в один момент часу на шляху віртуального каналу потрібна довжина хвилі буде зайнята в усіх фізичних каналах, тобто:

$$P_b = [1 - (1 - \rho)^k]^n \quad (2)$$

На рис. 2 представлені просторові залежності ймовірності блокування для випадків:

$$c=0.3 \text{ та } c=0.5.$$

Отримані результати показують, що мережа без конвертерів довжин хвиль працює оптимально лише при невеликому завантаженні.

При $c>0.5$ ймовірність блокування віртуального каналу в мережі стрімко зростає до одиниці.

При завантаженні мережі, яке відповідає $c=0.2$, ймовірність блокування близька до нуля при 40 довжин хвиль.

Однак при $c>0.3$ для забезпечення низького значення P_b вже потрібно 80 довжин хвиль, що відповідає стандарту ITU-T (ДФ=50ГГц, Дл=0.4 нм).

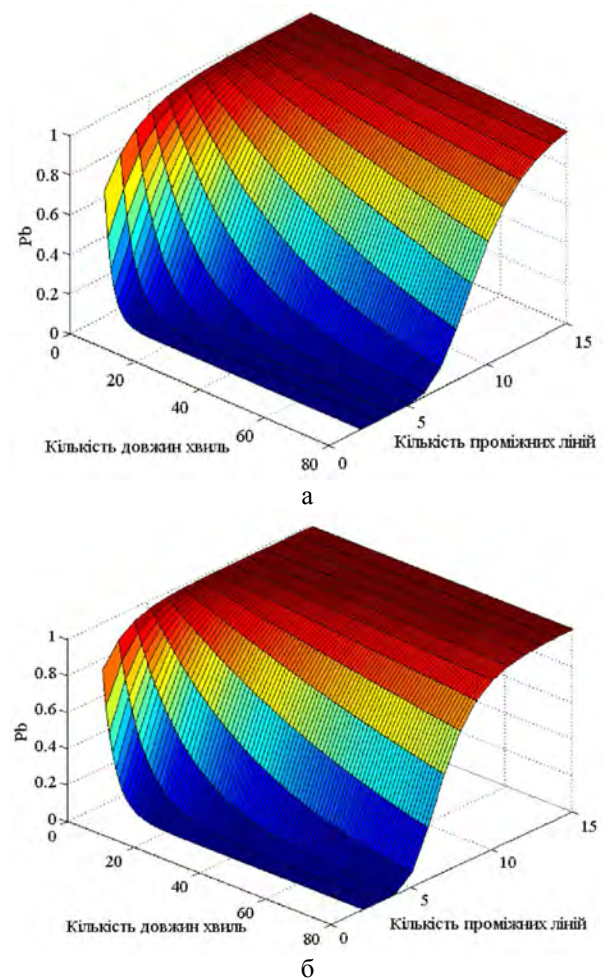


Рис. 2. Залежність ймовірності блокування від кількості довжин хвиль в мережі для різної кількості прольотів при а – $c=0.3$, б – $c=0.5$

Моделювання коефіцієнту використання каналу в мережах з конвертерами та без конвертерів довжин хвиль

Важливим показником ефективності функціонування системи зі спектральним ущільненням є характеристика коефіцієнта використання каналу. Проведемо аналітичне моделювання коефіцієнту використання каналу в мережах з конвертерами довжин хвиль та без конвертерів довжин хвиль при заданій ймовірності блокування. Коефіцієнт використання каналу в мережі з конвертерами довжин хвиль визначається за наступною залежністю:

$$q = \left[1 - (1 - P_b)^{1/k} \right]^{1/n}, \quad (3)$$

де P_b – заданий рівень ймовірності блокування.

Моделювання проводилось для різної кількості прольотів у віртуальному каналі: 5, 10, 15. Значення ймовірності блокування: $P_b = 10^{-3}$. Аналітичні залежності коефіцієнта використання каналу, як функції від кількості довжин хвиль представлені на рис. 3.

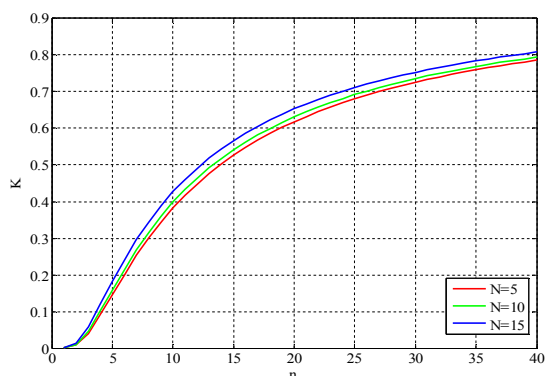


Рис. 3. Залежність коефіцієнта використання DWDM каналу від кількості довжин хвиль

З рис. 2 легко побачити, що вплив кількості переходів на коефіцієнт використання каналу є невеликим. Варто відзначити, що коефіцієнт використання швидко наближається до 1 при зростанні кількості довжин хвиль.

Отримані результати показують, що мережі з конвертерами довжин хвиль мають значний запас по ефективності, тому дозволяють використовувати механізми мінімізації кількості хвильових каналів на одне оптичне волокно, покращуючи тим самим значення OSNR для хвильового каналу.

Коефіцієнт використання каналу в мережі без конвертерів довжин хвиль розраховується за формулою:

$$q = 1 - \left(1 - P_b^{1/n} \right)^{1/k}. \quad (4)$$

Аналітичні залежності коефіцієнта використання каналу, як функції від кількості довжин хвиль представлені на рис. 4. Вхідні дані вибрані аналогічно до попереднього варіанту.

Рис. 4 показує суттєву залежність коефіцієнту використання від кількості прольотів. При чому варто відзначити, що на відміну від попереднього випадку, коефіцієнт використання зменшується при зростанні кількості стрибків. Це можна пояснити тим, що при збільшенні кількості прольотів збільшується ймовірність недоступності необхідної довжини хвилі.

Отримані результати дозволяють припустити, що діаметр мережі, без л-конвертерів, повинен бути невеликим, для того щоб забезпечити оптимальний коефіцієнт використання DWDM каналу.

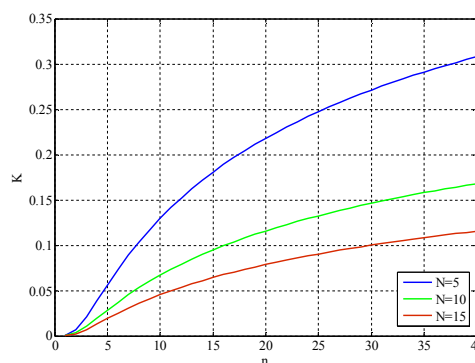


Рис. 4. Залежність коефіцієнта використання DWDM каналу від кількості використовуваних довжин хвиль

Висновок

Запропоновано моделі розрахунку ймовірності блокування віртуального каналу в оптичних транспортних мережах зі спектральним ущільненням. Отримані результати показують суттєву перевагу мереж з конвертерами, на основі чого можна зробити припущення, що такі мережі мають запас по ефективності. Результати моделювання показали, що в мережах без конвертерів коефіцієнт використання каналу зрідка перевищує 30%. А при кількості прольотів більше 10, коефіцієнт використання каналу падає до 10%.

Тому мінімізація кількості довжин хвиль в DWDM каналі в таких випадках є доцільною лише для малих мереж. Використання конвертерів довжин хвиль забезпечує збільшення коефіцієнту використання каналу, при рівних ймовірностях блокування. Зокрема для 40 довжин хвиль коефіцієнт використання становить від 70% до 80% в залежності від розміру мережі.

Запропоновані в даній статті моделі дозволяють визначити оптимальні набори хвильових каналів в оптичній мережі, враховуючи розміри мережі та поточний стан її завантаженості, забезпечуючи при цьому необхідні вимоги до ефективності, а також підвищити ефективність оптичних транспортних систем зі спектральним ущільненням, за рахунок максимізації співвідношення "сигнал/шум" для окремого хвильового каналу, при забезпеченні заданого рівня ймовірності блокування.

Список літератури

1. Saleh A.M. Architectural principles of optical regional and metropolitan access networks / A.M. Saleh, J.M. Simmons // *J. Lightwave Technol.* – Dec. 1999. – Vol. 17. – P. 2431-2448.

2. Гольшико А.В. Оптическая коммутация блоков / А.В. Гольшико, Н.А. Лескова // *Сети и системы связи.* – 2001. – № 8.

3. Хмелев К. Основы фотонного транспорта / К. Хмелев. – К: Техніка, 2008. – 680 с.

4. Lucent Technologies, "Web ProForum tutorial: DWDM", Oct 1999.

5. Математическая модель виртуального канала полностью оптической сети / Б.М. Стрихалюк, С.С. Думич, Н.В. Кайдан др., // *Вестник СПГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.* – С.-Пб, 2013.

Надійшла до редколегії 4.04.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.С. Андрушак, Національний університет "Львівська політехніка", Львів.

МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ЙМОВІРНОСТІ БЛОКУВАННЯ В ОПТИЧНИХ МЕРЕЖАХ ЗІ СПЕКТРАЛЬНИМ УЩІЛЬНЕННЯМ

М.Н. Клымаш, А.В. Корецький

Предложены модели, позволяющие определить оптимальные наборы волновых каналов в оптической сети, учитывая размеры сети и текущем состоянии ее загруженности, обеспечивая при этом необходимые требования к эффективности, а также повысить эффективность оптических транспортных систем со спектральным уплотнением, за счет максимизации соотношения "сигнал / шум" для отдельного волнового канала, при обеспечении заданного уровня вероятности блокировки. Подтверждено, что использование конвертеров длин волн обеспечивает увеличение коэффициента использования канала, при равных вероятностях блокировки. В частности, для 40 длин волн, коэффициент использования составляет от 70% до 80% в зависимости от размера сети.

Ключевые слова: вероятность блокировки, спектральное уплотнение, коэффициент использования канала, соотношение "сигнал / шум".

MODELS OF BLOCKING PROBABILITY IN OPTICAL NETWORKS WITH WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING

M.M. Klymash, O.V. Koretsky

The models of the optimal set of wave channels determining in an optical network proposed in this paper. Proposed models taking into account the size of the network and the current status of its utilization, while providing the necessary requirements for efficiency, and improve the efficiency of optical transport systems with wavelength-division, by maximizing signal/noise ratio for a single wave channel, providing the specified probability level locking. Simulations confirmed that the use of wavelength converters provides an increase in the coefficient of channel use, with same blocking probability. In particular, for 40 wavelengths utilization rate from 70% to 80%, depending on the network size.

Keywords: blocking probability, wavelength division multiplexing, channel utilization, signal noise ratio.