

# РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.391

**Максимюк Т.А.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Красько О.В.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Думич С.С.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Яремко О.М.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Варенко А.М.**

Національний університет «Львівська політехніка»

## МЕТОД МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ У ПАСИВНІЙ ОПТИЧНІЙ МЕРЕЖІ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ФІКСОВАНОГО ТА МОБІЛЬНОГО ДОСТУПУ

*У статті запропоновано новий метод мультиплексування інформаційних потоків у пасивних оптичних мережах з інтеграцією фіксованого та мобільного доступу. Запропонований метод використовує технологію спектрального ущільнення каналів із синхронізованими часовими інтервалами для підвищення ефективності розподілу мережних ресурсів. На основі запропонованого методу розроблено модель конвергенції фіксованих та мобільних сегментів доступу, яка дозволяє більш ефективно розподіляти інформаційні потоки між окремими сегментами мережі доступу. Результати моделювання конвергентної мережі доступу показують, що запропонований метод мультиплексування інформаційних потоків дає змогу підвищити ефективність використання каналних ресурсів на 7%. Крім того, новий підхід до розподілу каналних ресурсів в оптичних мережах доступу дозволить більш ефективно планувати пропускну здатність мереж мобільного зв'язку четвертого та п'ятого покоління.*

**Ключові слова:** пасивні оптичні мережі, мультиплексування інформаційних потоків, конвергентні мережі доступу, розподіл каналних ресурсів, OWTDMA, 5G.

**Постановка проблеми.** Розвиток сучасних інформаційних технологій стимулює появу нових мультимедійних послуг, зростання якості контенту, розвиток концепції хмарних обчислень, а також стрімке розширення систем Інтернету речей, які з кожним днем генерують все більше інформаційного трафіку. Тому створення інфраструктури широкосмугового доступу до Інтернету на всій території України віднесено до основних пріоритетів державної стратегії розвитку інформаційного суспільства. Причому останнім часом

спостерігається тенденція до зростання частки трафіку мобільних користувачів у мережі Інтернет, що зумовлено стрімким розвитком мереж 4G та 5G. Зокрема, мережі мобільного зв'язку 5G очікувано будуть мати в 1 000 разів вищу сумарну пропускну здатність порівняно з наявними мережами 4G, що приведе до суттєвого зростання трафіку в оптичних мережах доступу [1]. Тому багато сучасних досліджень спрямовані на розроблення нових конвергентних архітектур та методів передавання даних для оптичних мереж доступу, які

б дозволили забезпечити необхідну пропускну здатність залежно від поточних вимог користувачького навантаження [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найефективнішим методом підвищення пропускну здатності оптичних мереж доступу є використання технології спектрального ущільнення каналів. Проте в умовах флюктуаційного характеру трафіку сучасних мереж із пакетною комутацією постає проблема низької ефективності використання пропускну здатності каналів [3]. Ця проблема пов'язана з високою мобільністю абонентів мобільного зв'язку і, як наслідок, частими змінами навантаження у фіксованих мережах доступу [4]. Тому сучасні конвергентні оптичні мережі доступу передбачають появу нових методів передавання пакетного трафіку в оптичних транспортних мережах, які б враховували динаміку зміни вимог до пропускну здатності каналів та часові статистичні залежності інтенсивності навантаження в мобільному та фіксованому сегментах доступу [5].

У пасивних оптичних мережах зі спектральним ущільненням каналів OLT (Optical Line Terminal) розподіляє каналні інтервали незалежно для кожної довжини хвилі, що часто призводить до неефективного використання пропускну здатності [6]. Після проходження IP-пакетів до термінального вузла OLT виникає необхідність швидкого їх розділення між вузлами призначення. Однією з наявних проблем, яка виникає в термінальному вузлі мережі, є затримка під час перетворення агрегованого трафіку в абонентський трафік [7]. Така затримка зумовлена тим, що вхідні пакети надходять на вхід послідовно. Термінальний вузол обробляє заголовок кожного пакету, аналізує його адресу призначення та пріоритет [8; 9]. За послідовного розподілу пакетів виникає затримка, зумовлена часом очікування окремих пакетів у буфері. Зменшення часу затримки можна досягти двома шляхами: підвищенням швидкості передавання в одному хвильовому каналі або збільшенням кількості хвильових каналів. Перший варіант обмежується нелінійними ефектами та дисперсією. Другий варіант більш ефективний з погляду нарощування пропускну здатності каналу, але спричиняє неефективне використання ресурсів мережі.

**Постановка проблеми.** Розвиток сучасних інформаційних технологій стимулює появу нових мультимедійних послуг, зростання якості контенту, розвиток концепції хмарних обчислень, а також стрімке розширення систем Інтернету

речей, які з кожним днем генерують все більше інформаційного трафіку. Тому створення інфраструктури широкопasmового доступу до Інтернету на всій території України віднесено до основних пріоритетів державної стратегії розвитку інформаційного суспільства. Причому останнім часом спостерігається тенденція до зростання частки трафіку мобільних користувачів у мережі Інтернет, що зумовлено стрімким розвитком мереж 4G та 5G. Зокрема, мережі мобільного зв'язку 5G очікувано будуть мати в 1 000 разів вищу сумарну пропускну здатність порівняно з наявними мережами 4G, що приведе до суттєвого зростання трафіку в оптичних мережах доступу [1]. Тому багато сучасних досліджень спрямовані на розроблення нових конвергентних архітектур та методів передавання даних для оптичних мереж доступу, які б дозволили забезпечити необхідну пропускну здатність залежно від поточних вимог користувачького навантаження [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найефективнішим методом підвищення пропускну здатності оптичних мереж доступу є використання технології спектрального ущільнення каналів. Проте в умовах флюктуаційного характеру трафіку сучасних мереж із пакетною комутацією постає проблема низької ефективності використання пропускну здатності каналів [3]. Ця проблема пов'язана з високою мобільністю абонентів мобільного зв'язку і, як наслідок, частими змінами навантаження у фіксованих мережах доступу [4]. Тому сучасні конвергентні оптичні мережі доступу передбачають появу нових методів передавання пакетного трафіку в оптичних транспортних мережах, які б враховували динаміку зміни вимог до пропускну здатності каналів та часові статистичні залежності інтенсивності навантаження в мобільному та фіксованому сегментах доступу [5].

У пасивних оптичних мережах зі спектральним ущільненням каналів OLT (Optical Line Terminal) розподіляє каналні інтервали незалежно для кожної довжини хвилі, що часто призводить до неефективного використання пропускну здатності [6]. Після проходження IP-пакетів до термінального вузла OLT виникає необхідність швидкого їх розділення між вузлами призначення. Однією з наявних проблем, яка виникає в термінальному вузлі мережі, є затримка під час перетворення агрегованого трафіку в абонентський трафік [7]. Така затримка зумовлена тим, що вхідні пакети надходять на вхід послідовно. Термінальний вузол обробляє заголовок кожного пакету, аналі-

зує його адресу призначення та пріоритет [8; 9]. За послідовного розподілу пакетів виникає затримка, зумовлена часом очікування окремих пакетів у буфері. Зменшення часу затримки можна досягти двома шляхами: підвищенням швидкості передавання в одному хвильовому каналі або збільшенням кількості хвильових каналів. Перший варіант обмежується нелінійними ефектами та дисперсією. Другий варіант більш ефективний з погляду нарощування пропускної здатності каналу, але спричиняє неефективне використання ресурсів мережі.

**Постановка завдання. Мета статті** – розробити новий метод мультиплексування інформаційних потоків у пасивних оптичних мережах з інтеграцією фіксованого та мобільного доступу.

**Виклад основного матеріалу дослідження. Метод спектрально-часового мультиплексування інформаційних потоків у пасивних оптичних мережах.** Для підвищення ефективності використання пропускної здатності в пасивних оптичних мережах доступу зі спектральним ущільненням каналів запропоновано вдосконалений метод розподілу каналних ресурсів. На відміну від вищерозглянутих моделей, запропонований метод розподілу полягає у формуванні спектрально-часових ресурсних блоків для обох напрямків передавання (рис. 1).

Розмір ресурсного блоку дорівнює  $n \times m$ , де  $n$  відповідає кількості часових інтервалів, а  $m$  – кількості довжин хвиль, що використовуються. Кожен ресурсний елемент має часовий інтервал у 15 мкс і частотну смугу у 200 ГГц. Максимальна кількість корисного навантаження, яке може передаватися одним ресурсним елементом –  $S_{RE} = 19\,440$  байтів, що відповідає бітовій швидкості передавання даних у 9,95 328 Гбіт/с. Отже, сумарна тривалість ресурсного блока становить 120 мкс, що забезпечує його зворотну сумісність зі стандартним розміром часового кадру пасивної оптичної мережі  $T_{GPON} = 125$  мкс [10].

Розподіл пропускної здатності між користувачами здійснюється шляхом виділення ресурсних елементів для кожного вузла ONU. Кожен вузол ONU отримує інформацію про виділені для нього ресурсні елементи службовими каналами, розташування яких у ресурсному блоці є фіксованим.

Запропонована ресурсна сітка представляється в матричній формі так:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & \dots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{m1} & \dots & S_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $S_{ij}$  – кількість байт, які можна передати одним ресурсним елементом (19 440 байтів у стандарті GPON).

Для розподілу ресурсів вузла OLT між вузлами ONU кожному ONU присвоюється бінарна матриця розподілу, яка визначає, які саме ресурсні елементи будуть використовуватися для обслуговування даного вузла. Бінарний елемент матриці  $b_{ij}$  визначає асоціацію ресурсного елемента  $i$ -ї довжини хвилі та  $j$  – часового інтервалу з необхідним вузлом ONU:

$$b_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо елемент не використовується для ONU} \\ 1, & \text{якщо елемент використовується для ONU} \end{cases}. \quad (2)$$

Матриця розподілу записується так:

$$\mathbf{B}_{\forall \text{ ONU}} = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Кожному вузлу ONU присвоюється унікальна матриця розподілу, причому окремі елементи даних матриць можуть збігатися між собою. Це забезпечує гнучкість у керуванні пропускною здатністю каналу та покращує масштабованість мережі доступу завдяки одночасному розподілу всіх каналних ресурсів оптичної мережі й усуненню необхідності багатократного передавання однакових блоків даних до різних вузлів ONU.

Інформаційний потік між вузлом OLT та кількома вузлами ONU розраховується так:

$$\mathbf{S}_{\text{ONU}} = \mathbf{S} \circ \mathbf{B}_{\text{ONU}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij} b_{ij}, \quad \forall i, j. \quad (4)$$

Запропонований метод не ускладнює фізичний процес передавання даних, оскільки характеристики такої системи на фізичному рівні аналогічні характеристикам звичайних систем зі спектральним ущільненням каналів.

Отже, пропускна здатність каналу зв'язку між OLT та ONU буде розраховуватися так:

$$C_{\text{ONU}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij} \circ b_{ij}}{T_{\text{GPON}}}, [\text{Гбіт/с}]. \quad (5)$$

Мінімальна межа пропускної здатності, яка може бути виділена для одного вузла ONU, становить:

$$C_{\text{ONU min}} = \frac{8S_{RE}}{T_{\text{GPON}}}, [\text{Гбіт/с}], \quad (6)$$

де  $S_{RE}$  – інформаційна ємність одного ресурсного елемента,  $T_{\text{GPON}}$  – тривалість часового кадру пасивної оптичної мережі.

Максимальна межа пропускної здатності одного ресурсного блока становить:

$$C_{\text{RB}} = \frac{8S_{RE} \cdot n \cdot m}{T_{\text{GPON}}}, [\text{Гбіт/с}]. \quad (7)$$

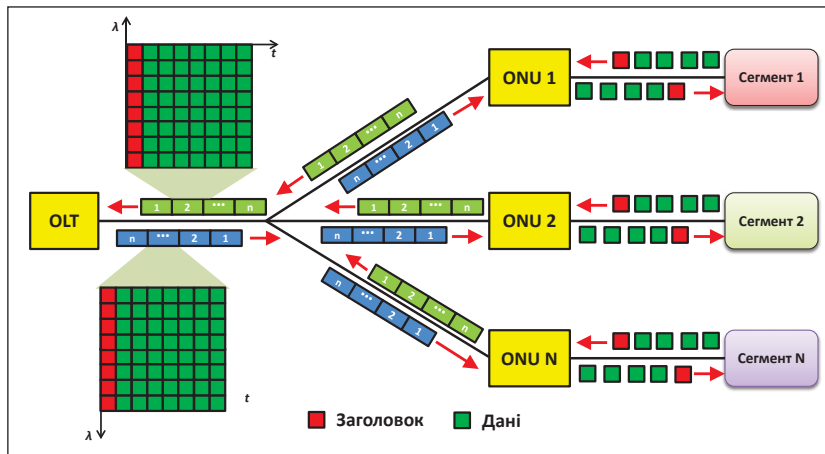


Рис. 1. Принцип спектрально-часового методу розподілу каналних ресурсів між вузлами у висхідному та низхідному напрямках передавання інформаційних потоків

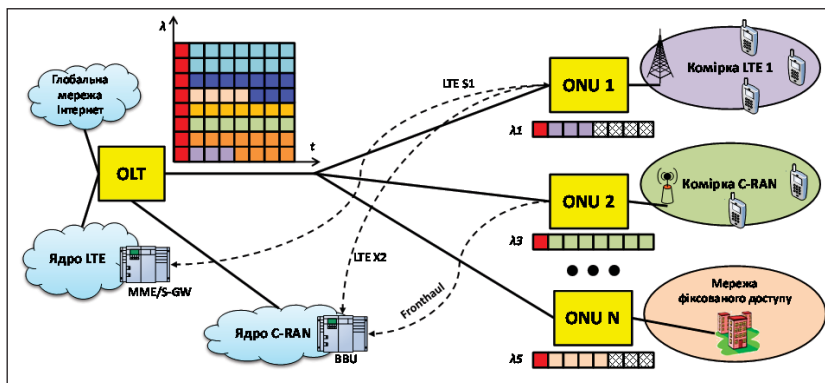


Рис. 2. Принцип мультиплексування інформаційних потоків у запропонованій моделі конвергенції оптичної мережі доступу

Під час розподілу корисної та службової інформації відповідно до поточних стандартів мінімальна та максимальна пропускна здатність становить:

$$C_{ONU \min} = \frac{19440 \cdot 8}{125 \cdot 10^{-6}} = 1.24416 \text{ Гбіт/с}; \quad (8)$$

$$C_{RB} = \frac{19440 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 8}{125 \cdot 10^{-6}} = 79.62624 \text{ Гбіт/с}. \quad (9)$$

Запропонована архітектура IPoDWDM для транспортного рівня мережі дозволяє знизити вимоги до рівня агрегації з погляду сумісності форматів представлення інформаційних потоків. Під час використання IPoDWDM на транспортному рівні зникає необхідність виведення окремих каналів із транспортних модулів STM-n на рівні доступу, або потреба у виділенні окремих довжин хвиль. Це, з одного боку, знижує вимоги до синхронізації, а з іншого – підвищує коефіцієнт використання пропускної здатності системи завдяки введенню комбінованого методу спектрально-часового мультиплексування.

**Модель конвергенції фіксованих та мобільних сегментів мережі доступу.** На відміну від

мереж GSM, у сучасних мережах LTE та перспективних мережах 5G основна частка трафіку припадає на передавання пакетних даних, що призводить до значного розкиду значень пропускної здатності абонентів. У роботі пропонується нова модель конвергенції опорної транспортної мережі гетерогенних мереж мобільного зв'язку з наявною пасивною оптичною мережею. Запропонована модель враховує нестационарність трафіку в комірках мережі мобільного зв'язку та його періодичні статистичні характеристики, що дає змогу підвищити ефективність розподілу пропускної здатності. Враховуючи 15 різних значень спектральної ефективності радіоканалів LTE, сумарний обсяг трафіку в комірці може змінюватися в значному діапазоні залежно від поточного розташування абонентів. Крім того, частка службової інформації в радіоінтерфейсі LTE зростає пропорційно кількості абонентів. Якщо взяти до уваги те, що в LTE абонент може використовувати всю доступну пропускну здатність комірки, то очевидно, що необхідна пропускна здатність опорної мережі обернено пропорційно залежить від кількості абонентів у комірці. Додатковим чинником, який враховується в запропонованій моделі, є процес хендоверу, який генерує до 10% від загального обсягу трафіку в опорній транспортній системі. Крім того, модель також враховує додатковий службовий трафік для тунелювання пакетів на транспортному рівні зі збереженням IP-адреси абонента, частка якого становить приблизно 15% [11].

Для спрощення моделі прийемо, що частотні ресурси комірки рівномірно розподілені між усіма активними абонентами. У такому разі сумарна пропускна здатність комірки розраховується так [12]:

$$C_{ком} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \cdot W \cdot Seff_i, \quad (10)$$

де  $N$  – кількість абонентів у комірці,  $W$  – сумарна частотна смуга, доступна для комірки,  $Seff_i$  – спектральна ефективність  $i$ -го абонента. Для спрощення прийемо, що пропускна здатність комірки в низхідному та висхідному каналах є однаковою. Тоді мінімальне необхідне значення пропускної здатності для опорної мережі комірки

в низхідному каналі розраховується відповідно до виразів (8)–(10) так:

$$C_{on\ DL} = \left[ \frac{k_{X2} \cdot k_t \cdot C_{КОМ}}{C_{ONU\ min}} \right] \cdot C_{ONU\ min} \quad (11)$$

де  $k_{X2}$  – коефіцієнт даних хендверу, який становить від 1,05 до 1,2 залежно від мобільності

абонентів,  $k_t$  – коефіцієнт надлишковості тунелювання пакетів на транспортному рівні, який становить 1,1. Аналогічно, для висхідного каналу пропускна здатність опорної транспортної мережі становить:

$$C_{on\ UL} = \left[ \frac{k_{X2} \cdot C_{КОМ}}{C_{ONU\ min}} \right] \cdot C_{ONU\ min} \quad (12)$$

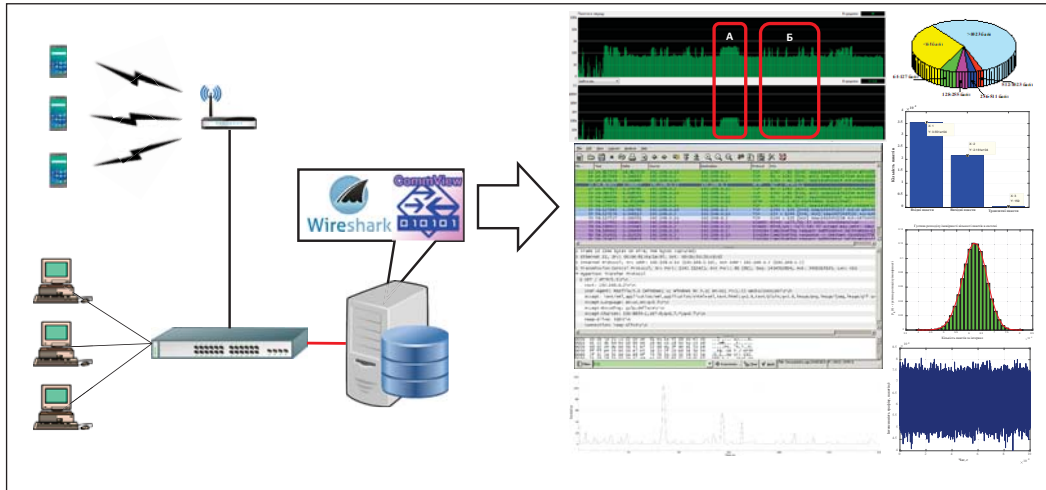


Рис. 3. Структурна схема експериментальної мережі для дослідження статистичних характеристик трафіку

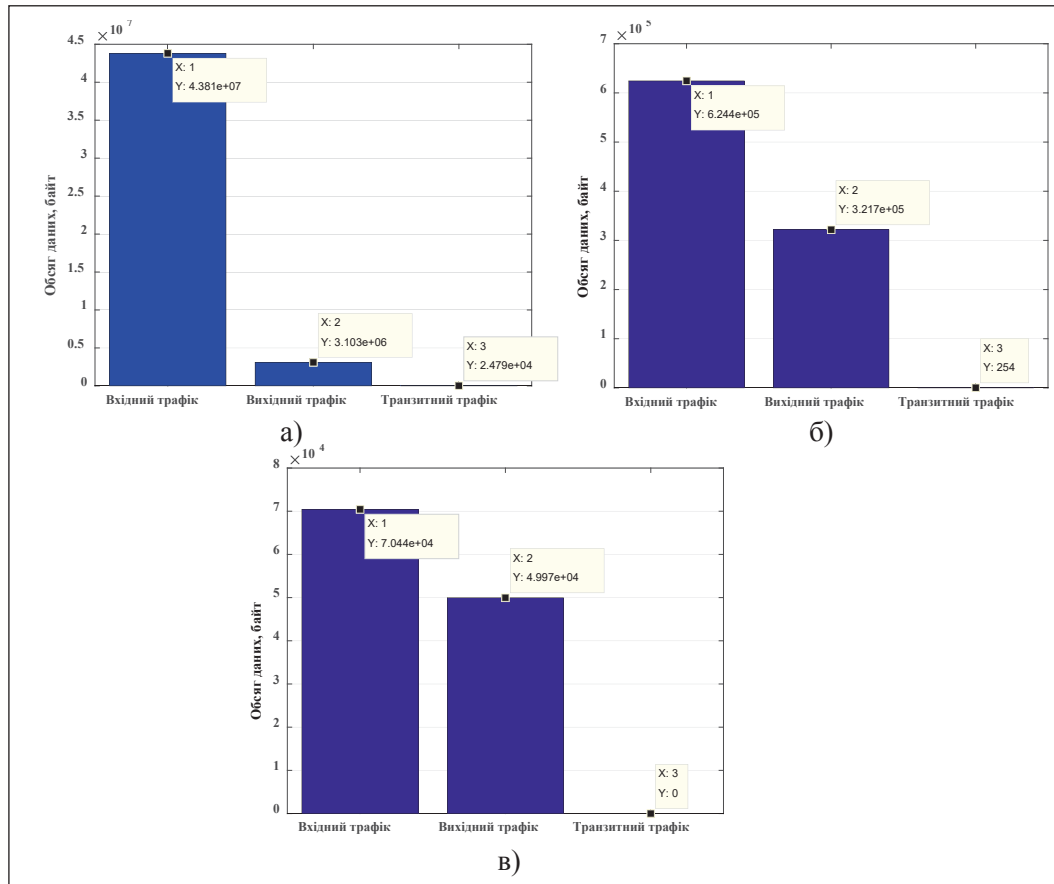


Рис. 4. Співвідношення трафіку за призначенням для веб-сервісів – а), потокового відео – б) та IP-телефонії – в)

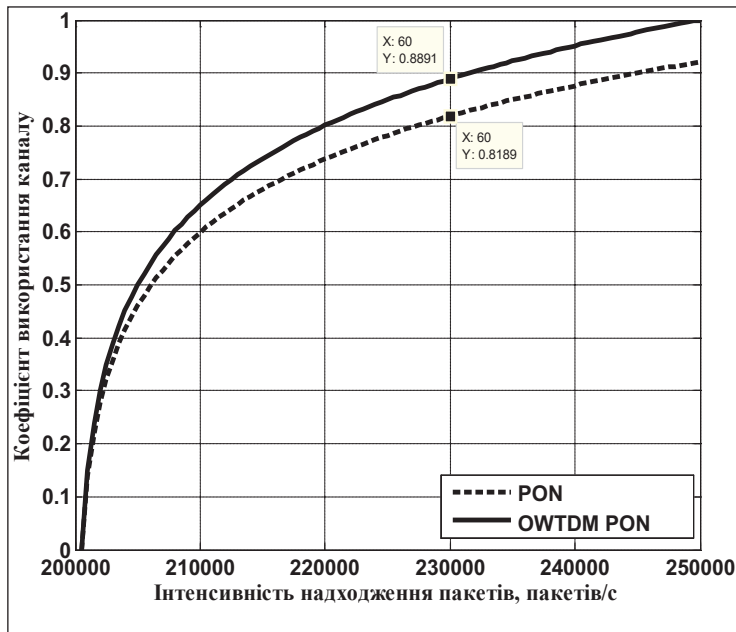


Рис. 5. Порівняльні залежності ефективності використання каналних ресурсів від інтенсивності трафіку за умови використання запропонованого методу

Запропонована модель підтримує тунелювання сигналів від вузлів оброблення (BBU) до віддалених радіомодулів у мережах Cloud-RAN [13]. Транспортування здійснюється поверх оптичної мережі в межах спектрально-часових ресурсних блоків і може співіснувати паралельно із трафіком мереж LTE та фіксованих сегментів доступу. Запропонована модель підтримує підключення мікрокомірок безпосередньо до вузла BBU для централізованого оброблення, використовуючи конвергентну оптичну інфраструктуру. На рис. 2 представлено принцип мультиплексування інформаційних потоків у запропонованій моделі конвергенції опорної транспортної мережі гетерогенних мереж мобільного зв'язку з наявною пасивною оптичною мережею.

**Моделювання конвергентної мережі доступу.** Для визначення впливу типу сервісів у фіксованих та мобільних мережах на характеристики трафіку необхідно провести дослідження процесу передавання інформаційних потоків за допомогою мережних аналізаторів. Для даної роботи використано програмне забезпечення CommView та Wireshark, що дозволяє перехоплювати інформаційні потоки, які проходять через мережний інтерфейс. Програмне забезпечення CommView застосовувалося для аналізу співвідношення пакетів за розміром, а також

за протоколами мережного, транспортного та прикладного рівнів. Програма Wireshark дозволяє зібрати статистику інтенсивності мережного трафіку та представити її у вигляді графічної залежності. Структурна схема експериментальної мережі для дослідження статистичних характеристик трафіку представлена на рис. 3.

Розроблена тестова модель мережі дозволяє фільтрувати трафік за такими критеріями: протоколи прикладного, транспортного та мережного рівнів, номери портів, призначення пакетів тощо. Для дослідження впливу різних сервісів отримано статистичні залежності трафіку під час використання трьох основних типів послуг, які переважають у мережах мобільного зв'язку четвертого покоління: веб-сервіси, потокове відео та IP-телефонія, частки яких становлять 30%, 55% та 15% відповідно. Гістограми розподілу пакетів для різних типів сервісів представлено на рис. 4.

Для порівняння ефективності запропонованого методу OWTDM (Orthogonal Wavelength-Time Division Multiplexing) з наявними було проведено порівняння коефіцієнта використання каналів за варіації інтенсивності навантаження (рис. 5). За рахунок спектрально-часового мультиплексування покращується гнучкість використання ресурсів та усувається явище недовантаження каналу. Перевага запропонованого методу з погляду коефіцієнта використання каналу становить приблизно 7%.

**Висновки.** Запропоновано новий метод розподілу каналних ресурсів у пасивній оптичній мережі доступу зі спектральним ущільненням каналів шляхом групування спектрально-часових ресурсних блоків для користувацької та службової інформації. На основі вдосконаленого методу ресурсного розподілу розроблено модель конвергенції фіксованих та мобільних мереж доступу, яка дає змогу підвищити ефективність розподілу каналних ресурсів в оптичній мережі доступу. Результати моделювання показують, що запропоновані рішення дозволяють підвищити ефективність використання пропускної здатності каналів на 7%. Отримані результати дають змогу підвищити ефективність розгортання мереж мобільного зв'язку четвертого та п'ятого поколінь на основі спільної опорної транспортної інфраструктури.

**Список літератури:**

1. Maksymyuk T., Brych M., Strykhalyuk I., Jo M. Fractal modeling for multi-tier heterogeneous networks with ultra-high capacity demands. Smart Computing Review. 2015. Vol. 5. № 4. P. 346–355.

2. Kani J. Enabling technologies for future scalable and flexible WDM-PON and WDM/TDM-PON systems. IEEE Journal of Selected topics in Quantum electronics. 2010. Vol. 16. № 5. P. 1290–1297.
3. Turna O., Aydin M., Atmaca T., Zaim A., Nguyen T. Traffic characterization study on EPON Upstream Channel. International Wireless Communications and Mobile Computing conference (IWCMC 2011): proceedings of international conference (Istanbul, Turkey, July 2011). Istanbul, 2011. P. 1601–1606.
4. Maksymyuk T., Brych M., Masyuk A. Fractal geometry based resource allocation for 5G heterogeneous networks. IEEE Problems of Infocommunications. Science and Technology: proceedings of international conference (Kharkiv, Ukraine, October 2015). Kharkiv, 2015. P. 69–72.
5. Nguyen T., Atmaca T., Eido T. An enhanced QoS-enabled dynamic bandwidth allocation mechanism for ethernet PON. European conference on Universal Multiservice Networks (ECUMN'2009): proceedings of international conference (Sliema, Malta, October 2009). Sliema, 2009.
6. Kanonakis K., Tomkos I. Improving the efficiency of on-line upstream scheduling and wavelength assignment in hybrid WDM/TDMA EPON networks. IEEE Journal on selected areas in communications. 2010. Vol. 28. № 6. P. 838–848.
7. Maksymyuk T., Dumych S., Krasko O., Kaidan M., Strykhalyuk B. Study and development of next-generation optical networks. Smart Computing Review. 2014. Vol. 4. № 6. P. 470–480.
8. Dumych S., Maksymyuk T., Guskov P. Simulation of burst aggregation and signalling schemes for optical burst switched networks. International conference on Computer Science & Engineering 2013: proceedings of international conference (Lviv, Ukraine, November, 2013). Lviv, 2015. P. 40–41.
9. Maksymyuk T., Dumych S., Krasko O., Jo M. Software defined optical switching for cloud computing transport systems. ACM International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ACM IMCOM 2015): proceedings of international conference (Bali, Indonesia, January 2015). Bali, 2015. Article № 42.
10. McGarry M., Reisslein M., Maier M. Ethernet passive optical network architectures and dynamic bandwidth allocation algorithms. IEEE Communications Surveys Tutorials. 2008. Vol. 10. № 3. P. 46–60.
11. Maksymyuk T., Krasko O., Kyryk M., Romanchuk V., Kolodiy R. Designing the new backhaul for 5G heterogeneous network based on converged optical infrastructure. Acta Electrotechnica et Informatica. 2017. Vol. 17. № 4. P. 9–13.
12. Maksymyuk T., Klymash M., Jo M. Deployment strategies and standardization perspectives for 5G mobile networks. IEEE Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science: proceedings of international conference (Lviv, Ukraine, February 2016). Lviv, 2016. P. 953–956.
13. Checko A. Cloud RAN for mobile networks – A technology overview. IEEE Communications Surveys Tutorials. 2015. Vol. 17. № 1. P. 405–426.

## МЕТОД МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ФИКСИРОВАННОГО И МОБИЛЬНОГО ДОСТУПА

*В статье предложен новый метод мультиплексирования информационных потоков в пассивных оптических сетях с интеграцией фиксированной и мобильного доступа. Предложенный метод использует технологию спектрального уплотнения каналов с синхронизированными временными интервалами для повышения эффективности распределения сетевых ресурсов. На основе предложенного метода разработана модель конвергенции фиксированных и мобильных сегментов доступа, позволяющая более эффективно распределять информационные потоки между отдельными сегментами сети доступа. Результаты моделирования конвергентной сети доступа показывают, что предложенный метод мультиплексирования информационных потоков позволяет повысить эффективность использования канальных ресурсов на 7%. Кроме того, новый подход к распределению канальных ресурсов в оптических сетях доступа позволит более эффективно планировать пропускную способность сетей мобильной связи четвертого и пятого поколений.*

**Ключевые слова:** пассивные оптические сети, мультиплексирование информационных потоков, конвергентные сети доступа, распределение канальных ресурсов, OWTDMA, 5G.

## METHOD OF DATA FLOWS MULTIPLEXING IN PASSIVE OPTICAL NETWORK WITH INTEGRATED FIXED AND MOBILE ACCESS SEGMENTS

*This paper presents a new method of data flows multiplexing in passive optical network, which integrates both fixed and mobile access segments. Proposed method uses the wavelength division multiplexing technology with synchronized time slots to improve the efficiency of resource allocation. Based on the proposed method, the convergence model is developed to combine fixed and mobile access networks with unified resource grid. Proposed model allows to improve the data flows management among different network segments. Simulation results show that that proposed wavelength-time multiplexing provide 7% improvement in channel utilization. Moreover, the proposed approach for resource allocation in optical access networks allows to improve the efficiency of capacity planning in 4G and 5G mobile networks.*

**Key words:** passive optical networks, data flows multiplexing, resource allocation, converged access networks, OWTDMA, 5G.