

Тарбаєв С.І., к.т.н.; Печніков К.А.

## НАСТУПНІ ПОКОЛІННЯ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ - NG-PON TA NG-EPON

**Tarbaiev S.I., Pechnikov K. A. Next Generations of Optical Access Networks - NG-PON and NG-EPON.**

The work is devoted to an overview of the development of standards for telecommunication access networks based on new generation passive optical network (PON) technologies. PON systems are the # 1 cable broadband solution. International bodies are actively standardizing new options for PON technologies. PON technologies are standardized by two international organizations: ITU and IEEE. New standards of these organizations allow to significantly increase network bandwidth and expand the application area of PON technologies. Considered the latest ITU standardized technology, NG-PON2. The progress of work carried out by the IEEE on the standardization of new technologies, namely, 25G-EPON, 50G-EPON and Super-PON, is considered. The main difficulty in the implementation of new generation systems is noted.

**Key words:** access network, passive optical network PON, EPON.

**Тарбаєв С.І., Печніков К.А. Наступні покоління оптичних мереж доступу - NG-PON та NG-EPON.**

Робота присвячена огляду розвитку стандартів телекомунікаційних мереж доступу на базі технологій пасивних оптичних мереж (PON) нового покоління. Системи PON виходять на перше місце серед засобів широкопалосного доступу по кабелю. Міжнародними органами активно ведеться стандартизація нових варіантів технологій PON. Технології PON стандартизуються двома міжнародними організаціями: ITU та IEEE. Нові стандарти цих організацій дозволяють значно збільшити пропускну спроможність мереж та розширити сферу використання PON. Розглянуто останню стандартизовану організацією ITU технологію NG-PON2. Розглянутий хід робіт, що виконуються IEEE по стандартизації нових технологій, а саме технологій 25G-EPON, 50G-EPON та Super-PON. Зазначена головна трудність при реалізації систем нового покоління.

**Ключові слова:** мережа доступу, пасивна оптична мережа, PON, EPON.

**Тарбаєв С.І., Печніков К.А. Следующие поколения оптических сетей доступа - NG-PON и NG-EPON.**

Работа посвящена обзору развития стандартов телекоммуникационных сетей доступа на базе технологий пассивных оптических сетей (PON) нового поколения. Системы PON выходят на первое место среди средств широкополосного доступа по кабелю. Международными органами активно ведётся стандартизация новых вариантов технологий PON. Технологии PON стандартизуются двумя международными организациями: ITU и IEEE. Новые стандарты этих организаций позволяют значительно увеличить пропускную способность сетей и расширить сферу применения PON. Рассмотрена последняя, стандартизованная ITU технология, NG-PON2. Рассмотрен ход работ, которые выполняются IEEE по стандартизации новых технологий, а именно 25G-EPON, 50G-EPON и Super-PON. Отмечена главная трудность при реализации систем нового поколения.

**Ключевые слова:** сеть доступа, пассивная оптическая сеть PON, EPON.

### Вступ

Серед множини технологій побудови широкопалосних мереж доступу на базі кабелів зв'язку найбільш швидко розвиваються та використовуються технології пасивних оптичних мереж (PON). На теперішній час широко впроваджуються системи PON зі швидкістю передавання 10 Гбіт/с. Ці системи працюють за двома варіантами стандартів, які розроблені двома організаціями, що займаються стандартизацією технологій широкопалосного доступу, а саме ITU та IEEE. Це стандартизована організацією ITU в серії рекомендацій G.987 технологія XG-PON (10 Гбіт/с вниз та 2.48 Гбіт/с вверх) і її симетричний варіант XGS-PON (10 Гбіт/с вниз та вверх). Організація IEEE стандартизувала технологію 10G-EPON (стандарт 802.3av). Вказані пропускі спроможності є спільними (сумарними) для усіх абонентів, підключених до станційного порта системи. З урахуванням того, що є та планується значна потреба використання систем PON не тільки для підключення індивідуальних абонентів, а і

для підключення організацій, вузлів мереж телекомунікаційних операторів, а саме станцій мобільного зв'язку поколінь 4G та 5G, величина пропускної спроможності 10 Гбіт/с стає недостатньою. Є потреба розробки більш швидкісних систем PON, так званих систем наступного покоління.

При розробці нових технологій PON необхідно враховувати, що в багатьох випадках в наявній кабельній інфраструктурі відсутні вільні волокна. Тому є актуальною задача забезпечення можливості розвитку оптоволоконних систем доступу в існуючих волокнах зі збереженням роботи вже збудованих систем PON.

### Система NG-PON2

ITU спільно з організацією FSAN (Full Service Access Network, [www.fsan.org](http://www.fsan.org)) в 2010 р. почала і в 2015 г. завершила роботу по стандартизації технології PON наступного покоління NG-PON2 і прийняла відповідні стандарти [1-4]. Рис. 1 ілюструє розвиток стандартів ITU.

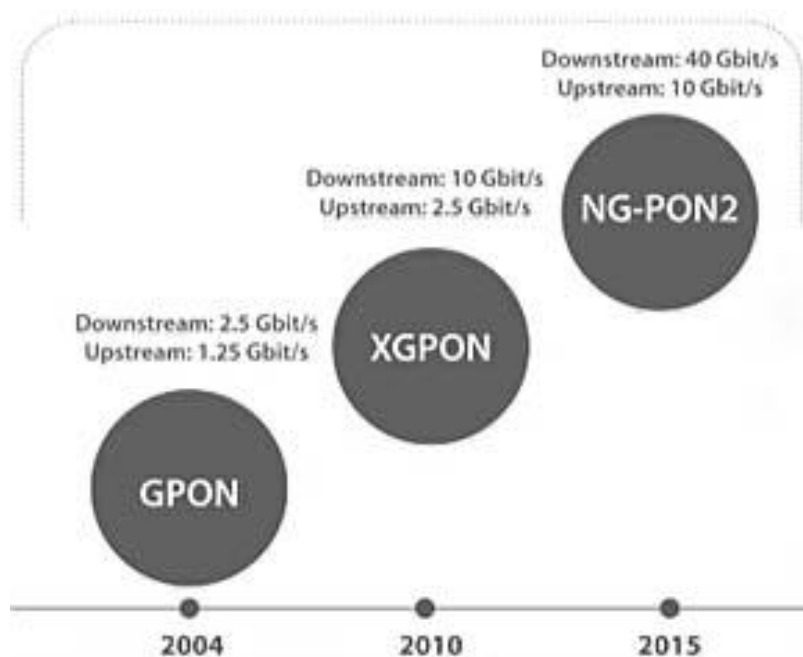


Рис. 1. Розвиток стандартів PON організацією ITU

Перед розробкою стандартів NG-PON2 були поставлені такі головні задачі:

- збільшити сумарну пропускну спроможність на лінійний станційний порт до або більше 40 Гбіт/с;
- пропускну спроможність абонентського закінчення 1 Гбіт/с вниз та 0,5 Гбіт/с вверх;
- сумісність з існуючою інфраструктурою PON, у т.ч. можливість міграції на базі заміни окремих абонентських терміналів.

А також:

- підтримка не менш 64 абонентів на станційний порт;
- дальність зв'язку 40 км (без повторювачів);
- можливість автоматичного резервування (станційного обладнання);
- вбудовані засоби тестування і діагностики.

Для досягнення поставленої мети були розглянуті різні варіанти технологій. В результаті зупинилися на гібридній техніці - TWDM-PON. TWDM-PON це спільне використання розділення каналів по довжині хвилі та часового розділення у кожному хвильовому каналі. Стандартизовано використання 4-х хвильових канали зі швидкістю передавання в кожному 10 Гбіт/с вниз і 2,5 Гбіт/с вверх. Тобто загальна пропускну здатність системи складає 40 Гбіт/с. У кожному хвильовому каналі використовується багатостанційний доступ з часовим поділом. Абонентський термінал (ONU) приймає тільки одну хвилю, відповідно, його

максимальна пропускна здатність складає 10 Гбіт/с. Така технологія не є оптимальною з точки зору досягнення максимальної пропускної здатності, але вона забезпечила гнучкість та сумісність з існуючою інфраструктурою PON. Архітектуру системи і головні типи споживачів системи ілюструє рис. 2.

Для передавання в верхній виділений хвилевий діапазон 1524 – 1544 нм, вниз - діапазон 1596 – 1602 нм (див. рис. 3). Діапазони не пересікаються з діапазонами роботи попередніх технологій GPON і XGS-PON (на рисунку різними кольорами показані хвилеві діапазони для різних систем PON). Це забезпечує сумісність з попередніми технологіями. Таким чином, існуюча оптоволоконна кабельна структура може бути модернізована за допомогою NG-PON2 зі збереженням дії існуючих систем PON.

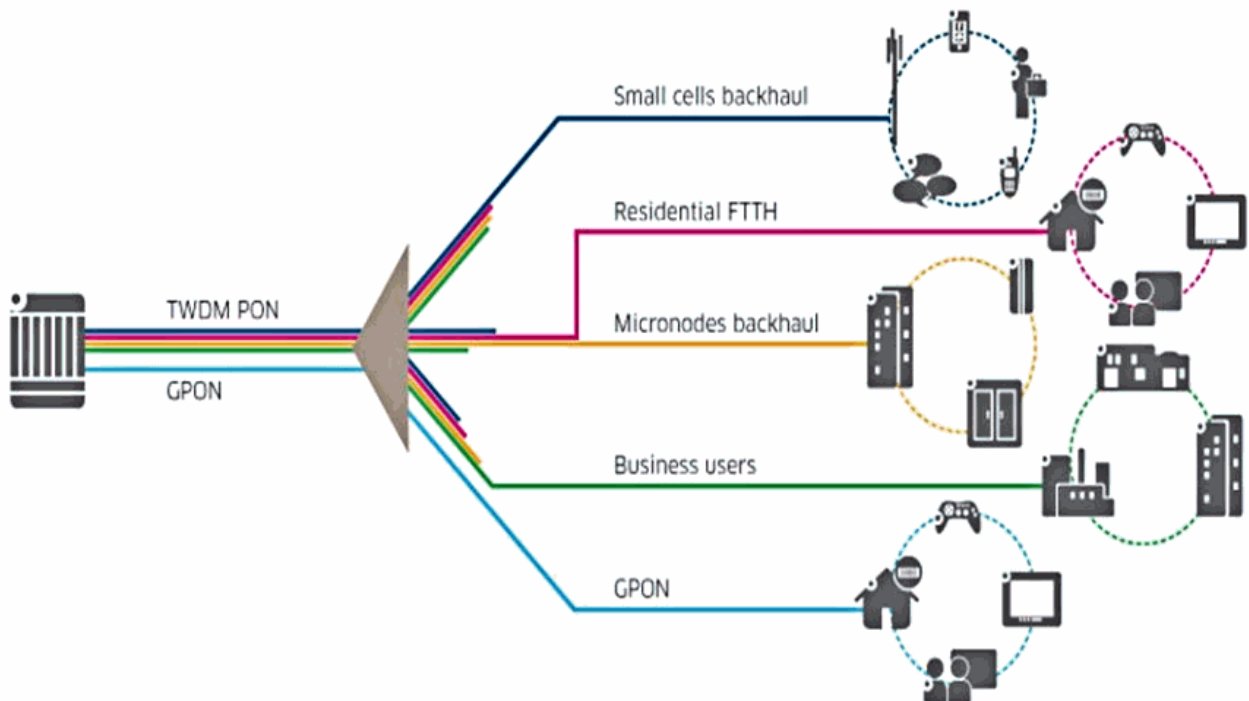


Рис. 2. Архітектура і головні типи споживачів системи NG-PON2

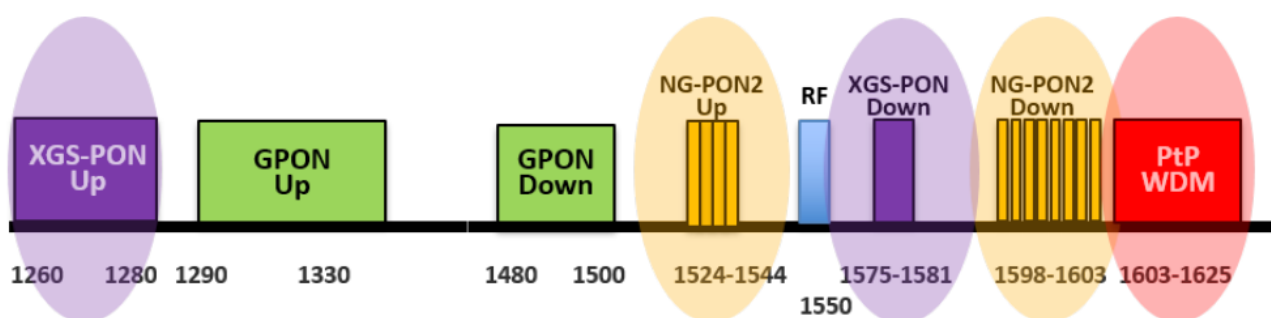


Рис. 3. Хвилеві діапазони (у нм) систем PON лінії стандартів ITU

Для використання в абонентському терміналі стандартизовано використання оптичного прийомопередавача, який може перелаштовуватися на роботу на різних довжинах хвиль під дією керуючого сигналу. ONU має в прийомній частині електрично перенастроюваний смуговий фільтр і в передавальній частині - перенастроюваний лазер. Таким чином, пристрій може працювати на будь-якому з 4-х хвилевих каналів. Такий підхід спрощує побудову та обслуговування мережі.

Як варіант, стандарт передбачає можливість організації в одному волокну, в різних хвильових каналах к багатоточкових систем (PON), так и систем точка – точка. Для систем точка – точка можуть бути використані додатково 4 хвильових канали.

Головною технічною трудностю при реалізації системи NG-PON2 на момент прийняття стандарту (в 2015 р.) було створення перенастроюваного на 4 довжини хвилі оптичного прийомопередавача для ONU. На теперішній час такі пристрої виробляються серійно [6]. Але поки що перенастроювані оптичні прийомопередавачі мають суттєво більш велика вартість, ніж для систем XG-PON. Це стримує впровадження NG-PON2.

### Подальший розвиток PON

Стандарти PON розробляють паралельно дві організації: ITU та IEEE. У назвах стандартів ITU використовується скорочення PON, стандартів IEEE - скорочення EPON, тобто Ethernet PON. Термін Ethernet PON підкреслює, при передаванні по оптичному волокну на MAC рівні використовуються Ethernet кадри (але дещо модифіковані для забезпечення роботи у режимі «точка - багатоточка»). У стандартах ITU на каналному рівні використовується більш складне кодування.

ITU стандарти PON розробляються Дослідницькою комісією 15 у рамках питання 2/15. Вимоги до подальших технологій PON ITU виклала у рекомендації G.9804.1 [7]. Розроблювані відповідно до цих вимог група стандартів має умовну позначку G.hsp (higher speed PON). Планується розробити стандарти на систему «точка - багатоточка» з одним хвильовим каналом, багатоканальну систему «точка - багатоточка» та високошвидкісну систему «точка - точка» [8].

В організації IEEE на теперішній час над розробкою стандартів PON наступного покоління працюють дві робочі групи: P802.3ca та P802.3cs.

P802.3ca розробляє стандарт 50G-EPON. Була поставлена задача розробки двох нових архітектур 25G-EPON та 50G-EPON з виконанням таких умов [9]:

- 25 Гбіт/с вниз та 10 Гбіт/с або 25 Гбіт/с вверх (25G-EPON);
- 50 Гбіт/с вниз та 10 Гбіт/с, 25 Гбіт/с або 50 Гбіт/с вверх (50G-EPON);
- спектральна сумісність і можливість паралельної роботи з 10G-EPON, XG-PON та XGS-PON;
- спектральна сумісність і можливість паралельної роботи 25G-EPON з GEPON.

Стандарт IEEE 802.3ca-2020 розроблений робочою групою P802.3ca 50G-EPON та прийнятий 4 червня 2020 року [9].

Робоча група P802.3cs розробляє стандарт PON «Increased-reach Ethernet optical subscriber access (Super-PON)» (Оптичний абонентський Ethernet доступ підвищеної дальності). Перед розробкою Super-PON поставлені такі задачі [10]:

- зберегти формат Ethernet MAC кадру;
- підтримка оптичної розподільчої мережі «точка — багатоточка» з дальністю 50 км та коефіцієнтом розподілу 1:64 на пару оптичних хвиль;
- підтримка 16 пар оптичних хвиль;
- підтримка швидкості 10 Гбіт/с вниз та 2,5 Гбіт/с угору;
- підтримка перестроюваних оптичних прийомопередавачів.

IEEE планує затвердити стандарт у вересні 2021 року.

### Висновки

Серед систем широкопasmового доступу по кабелю все більш поширення набувають системи, що працюють за технологіями пасивних оптичних мереж. На теперішній час широко використовуються технології, що забезпечують швидкість передавання 1 та 10 Гбіт/с. Ці технології використовуються не тільки для підключення індивідуальних абонентів, а і для підключення організацій та елементів мереж телекомунікаційних операторів. Тому актуальною є задача значного підвищення швидкостей передавання. Дві організації ITU та IEEE паралельно активно працюють над розробкою нових стандартів, так званих PON

наступного покоління. ITU вже розробила стандарт NG-PON2, який забезпечує швидкість передавання 40 Гбіт/с. IEEE завершує роботу над стандартами 25G-EPON, 50G-EPON та Super-PON. Для впровадження систем PON наступного покоління важливою технічною задачею є виробництво перенастроюваних оптичних прийомопередавачів з вартістю близькою до вартості оптичних прийомопередавачів попереднього покоління.

#### Список використаної літератури

1. ITU-T. 40-Gigabit-capable passive optical network (NG-PON2): Definitions, abbreviations and acronyms // ITU-T Rec. G.989. -2015.
2. ITU-T. 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements // ITU-T Rec. G.989.1 -2015.
3. ITU-T. 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification // ITU-T Rec. G.989.2 -2019.
4. ITU-T. 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Transmission Convergence Layer Specification // ITU-T Rec. G.989.3 -2015.
5. Nettet D. NG-PON2 Technology and Standards / Derek Nettet // IEEE. Journal of Lightwave Technology, Vol.33, Issue 5, pp. 1136 – 1143. March 2015. DOI: 10.1109/JLT.2015.2389115.
6. NG-PON2 ONU Optical Transceiver XFP Module [Електронний ресурс] / Проспект фірми Accelink Technology // URL: [www.accelink.com/d/file/content/2017/06/59561ffc63da8.pdf](http://www.accelink.com/d/file/content/2017/06/59561ffc63da8.pdf) (дата звернення 29.10.2020).
7. ITU-T. Higher speed passive optical networks –Requirements // ITU-T Rec. G.9804.1 -2019.
8. Study Group 15 Liaison Statement SG15-LS95 [Електронний ресурс] / ITU-T // URL:[https://www.ieee802.org/3/minutes/mar18/incoming/ITU\\_SG15-LS-95\\_to\\_IEEE\\_802d3.pdf](https://www.ieee802.org/3/minutes/mar18/incoming/ITU_SG15-LS-95_to_IEEE_802d3.pdf) (дата звернення 31.10.2020).
9. IEEE Std 802.3ca-2020: 25 Gb/s and 50 Gb/s Ethernet Passive Optical Networks [Електронний ресурс] / Siemon Standards Informant // URL: <https://blog.siemon.com/standards/ieee-p802-3ca-25-gb-s-and-50-gb-s-ethernet-passive-optical-networks> (дата звернення: 30.10.2020)
10. IEEE P802.3cs Increased-reach Ethernet optical subscriber access (Super-PON) Task Force. Objectives [Електронний ресурс] / IEEE // URL: [http://www.ieee802.org/3/cs/Super-PON\\_Objectives.pdf](http://www.ieee802.org/3/cs/Super-PON_Objectives.pdf) (дата звернення: 30.10.2020).

#### Автори статті

**Тарбасв Сергій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент Кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Печніков Костянтин Андрійович** – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

#### Authors of the article

**Tarbaiev Sergii Ivanovych** - candidate of science (technic), associate professor, associate professor of the Department of telecommunication system and networks, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Pechnikov Kostiantyn Andriiovych** - student, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 28.06.2020 р.

Рецензент: д.т.н., доцент О.М. Ткаченко