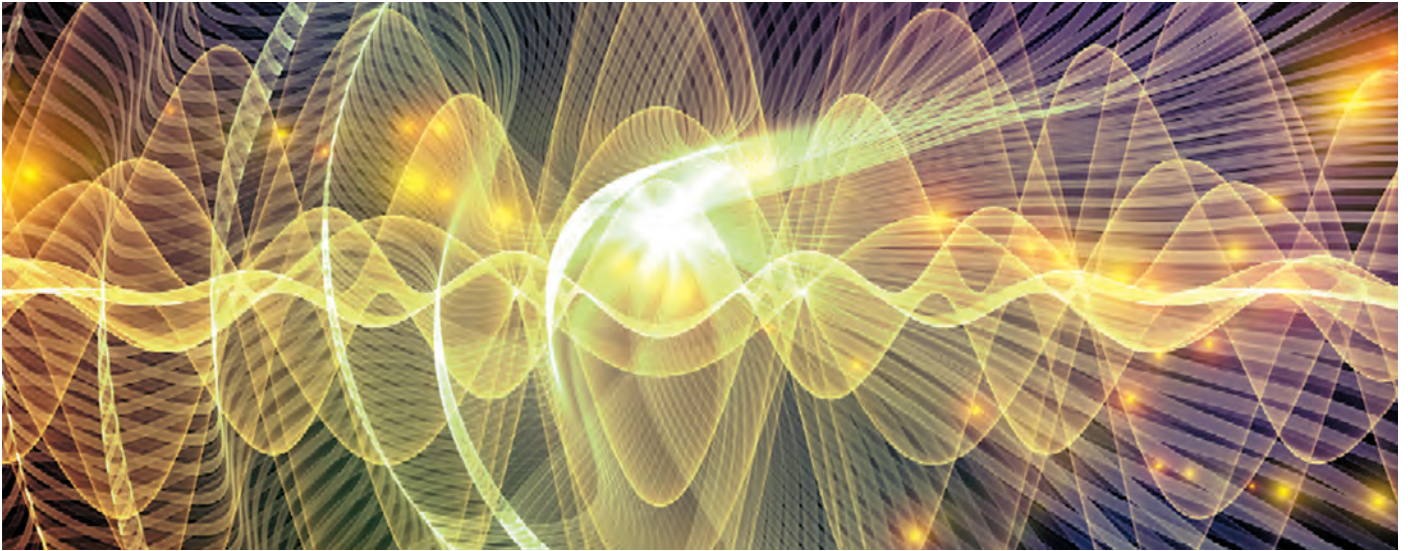


Когерентна епоха: DWDM в Україні та у світі



Українські оператори поки здебільшого мають інтерфейси до 100 Гбіт/с на «лямбду». Між тим на світовому ринку вже з'явилися терабітні пропозиції.

Великі українські телеком-оператори володіють власними розгалуженими транспортними мережами, також через нашу країну проходять міжнародні оптичні магістралі. Ця інфраструктура продовжує розвиватися і модернізуватися: вводяться нові ділянки, відкриваються додаткові пункти переходу через кордон.

Основною технологією побудови транспортних мереж залишається DWDM, вона використовується як на магістральних лініях, так і на міських мережах або для з'єднання центрів обробки даних між собою. І сама технологія розвивається теж: якщо в Україні використовується переважно обладнання з портами 100G, то в світі вже тестують рішення, що забезпечують швидкість 800 Гбіт/с на довжину хвилі.

«СІБ» з'ясував, як розширювалися магістральні транспортні мережі України протягом останніх декількох років, хто володіє найбільшими мережами на основі DWDM, а також про технологічні прориви у світі.

Українські телеком-оператори

Компанії, що володіють в Україні DWDM-мережами, можна розділити на три групи. Перша — це оператори телекомунікацій, які займають велику частку на масовому ринку і використовують оптичну інфраструктуру насамперед для транспортування власного трафіка. Це мобільні оператори **«Київстар»** і **«Vodafone Україна»**, а також **«Укртелеком»**. До цієї ж групи тепер, після придбання компанії «Воля», можна віднести **«Датагруп»**.

Довжина DWDM-мережі **«Укртелекому»** наразі становить 29 004 км, що на кілька сотень більше, ніж три роки тому. Водночас кількість вузлів мережі значно зросла: зі 166 до 224. Лінії мають пропускну здатність до 40 каналів по 2,5, 10, 40 та 100 Гбіт/с. Власне, канали 100G на діючій мережі було впроваджено останнім часом (організовано 10 таких каналів). Послугами «Укртелекому» користуються й інші оператори зв'язку.

Досі «Укртелеком» використовував платформи **Cisco** ONS15454, а також **ECI** XDM-500 і XDM-1000. В рамках модернізації з'явилося нове обладнання, яке й дозволяє створювати стогігабітні канали. А саме: Cisco NCS 2006, це платформа для metro- і крайового рівня з максимальною пропускну здатністю 1,2 Тбіт/с, а також ECI Apollo 9608 з максимальною ємністю 3,2 Тбіт/с.

Великою DWDM-мережею володіє **«Датагруп»**. Вона має загальну протяжність у 20,7 тис. км і охоплює понад 100 населених пунктів. Окрім того, компанія має власні вузли у найближчих телекомунікаційних центрах Європи та Азії, прикордонні переходи на Польщу, Словаччину, Угорщину та Росію, а також разом з партнерами бере участь у трансконтинентальній магістралі, що поєднує Франкфурт з Гонконгом.

Навесні компанія повідомила про завершення будівництва нового переходу «Дорогуськ-Ягодин» спільно з польським оператором **Hawe Telecom**.

Цей другий перехід «Датагруп» в напрямку Польщі має потенційну пропускну здатність до 16 Тбіт/с. Це має зменшити затримку при доступі до дата-центрів глобальних постачальників контенту, хмарних і OTT-сервісів, розташованих у Варшаві, а також дозволить резервувати маршрути через нові європейські траси.

Наразі «Датагруп» використовує обладнання **Ekinops** і **Cisco**. На початку нинішнього року компанія оголосила про початок масштабної модернізації мережі, інвестиції в проект складуть \$20 млн. Основним постачальником обладнання обрано Cisco. Повідомлялось, що в ході модернізації буде перебудовано топологію мережі з географічним рознесенням критичних вузлів і стопроцентним резервуванням будь-якого виду трафіка. Це, своєю чергою, має підвищити відмовостійкість, а завдяки новим системам управління трафіком і послугами в декілька разів збільшиться швидкість налаштування нових сервісів.

«Транспортники»

Друга група — це українські компанії, які не працюють в масовому сегменті, надаючи послуги іншим операторам та корпоративним клієнтам. Ці компанії також займаються будівництвом ВОЛЗ на замовлення.

Зокрема, у компанії **«Євротранстелеком»** є «повний цикл виробництва»: власний кабель і його

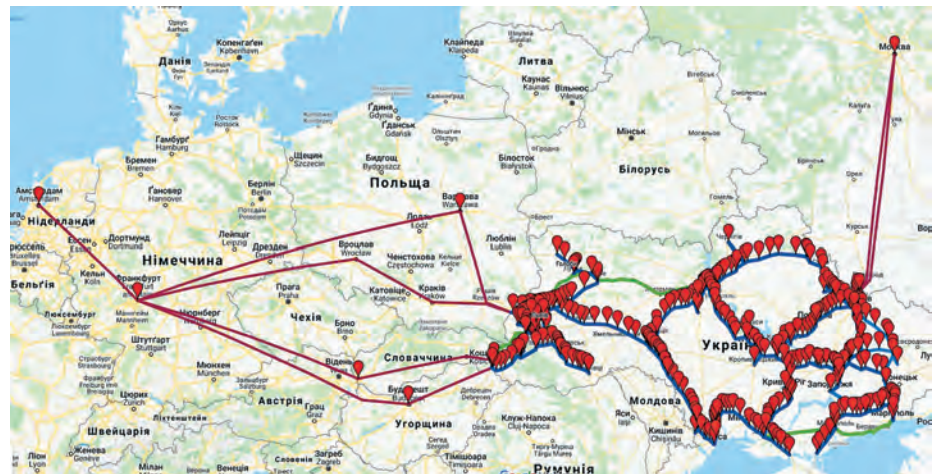


Рис. 1. Карта оптичної мережі «Євротранстелеком»

обслуговування, технологічна мережа далекого зв'язку LH-DWDM, контроль системи передавання. За повідомленням компанії, її клієнтами є майже усі українські оператори, деякі іноземні, а також корпоративний сектор.

Мережа компанії протяжністю 7 тис. км покриває всю територію країни і має стики з 4 країнами: Росією, Польщею, Словаччиною та Румунією (рис. 1). DWDM-мережа побудована на базі обладнання **Ciena** Common Photonic Layer (CPL), яке дозволяє організувати до 88 дуплексних каналів зі швидкостями 10/40/100/200 Гбіт/с залежно від типу транспондера. Нам назвали деякі характеристики мережі, зокрема: кабель з ненульовою зміщеною дисперсією відповідно до Рекомендації ITU-T G.655, удосконалене пряме виправлення помилок (FEC), використання системи

електронної корекції дисперсії для каналу (EDC), резервування оптичних маршрутів. Компанія використовує ROADM з кроком 50 ГГц на основі оптичного крос-комутатора комутатора (WSS). «Дальнобійність» зв'язку сягає 2,5 тис. км × 100 Гбіт/с без електричної регенерації. У подальших планах — перехід на канали 400 і 800 Гбіт/с.

«Атраком» займається будівництвом ВОЛЗ з прив'язкою переважно до великих автомобільних трас (рис. 2). Компанія надає послуги спорудження ВОЛЗ, продажу і оренди «темних» волокон та регенераційних пунктів, що не обслуговуються (РПН). Окрім того, «Атраком» проводить технічне обслуговування ВОЛЗ та РПН. Наразі, за даними сайту, компанія має понад 24 тис. км побудованих ВОЛЗ, які покривають усі обласні центри і мають виходи на кордони України. Партнерами «Атраком» є, зокрема, українські мобільні оператори та інтернет-провайдери, а також іноземні компанії.

«Омега Телеком» має оптичну мережу, що об'єднує понад 260 міст України і обслуговує більш ніж 300 провайдерів. Мережа побудована на обладнанні Cisco, Ekinops та Huawei. Компанія має 8 міжнародних переходів. «Омега Телеком» надає в оренду канали передачі даних від 2,5 до 100 Гбіт/с, окремі хвилі, продає та здає в оренду темні волокна.

Міжнародні гравці

Третю групу складають великі міжнародні провайдери, чий ВОЛЗ проходить територією України. Вони не

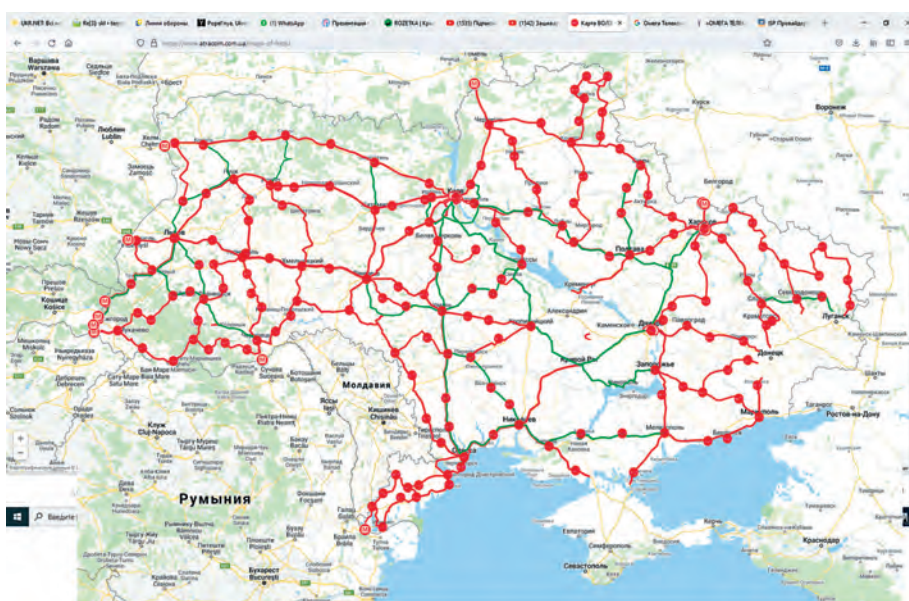


Рис. 2. Карта оптичної мережі «Атраком»

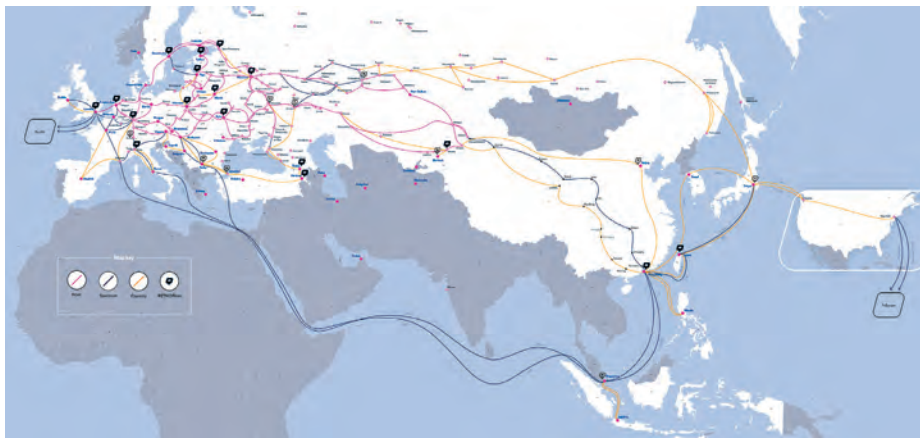


Рис. 3. Глобальна карта покриття RETN

мають великої кількості вузлів і надають в цілому ті самі послуги транзиту трафіка й оренди каналів.

З присутніх в Україні великих міжнародних операторів ключове місце посідає **RETN**, міжнародна група компаній — постачальників послуг IP-транзиту й передачі даних з головним офісом у Лондоні. В Україні її представляє ТОВ «РЕТН». Мережа, що сполучає Європу та Азію, побудована на власній однорідній платформі DWDM та розгалужених сухопутних маршрутах, що проходять через Західну Європу, Україну й Казахстан до кордону з Китаєм і далі в Південно-Східну Азію. (рис. 3). Група має понад 800 вузлів по всьому світу, а загальна протяжність DWDM-мережі становить 120,447 тис. км, з них в Україні понад 5 тис. км. RETN обслуговує понад 1800 міжнародних та локальних операторів зв'язку та корпоративних клієнтів, у тому числі IT-компаній.

В Україні RETN надає послуги оренди оптичних каналів (Wavelength Capacity), IP-транзиту і Ethernet на швидкостях 10, 40 і 100 Гбіт/с, VPN, з'єднання зі світовими платформами обміну трафіком тощо. В українському офісі окремо відзначають зростання зацікавленості серед бізнес-клієнтів послугами доступу до хмарних сервісів Amazon та Microsoft.

Упродовж останніх років RETN проводить модернізацію мережі з розширенням ємності на найбільш популярних напрямках та покращенням зв'язності. У 2018 році було закінчено перехід між Україною та Польщею. У серпні року нинішнього RETN запусив перехід між Кишиневом і Одесою через прикордонний пункт «Паланка»: завдяки

найкоротшому маршруту (261 км) круговий час затримки (RTT) становить 2,9 мс. Загалом наразі RETN має в Україні 8 прикордонних переходів.

В рамках модернізації мережі в Україні та країнах Євразії запроваджено відкриту лінійну систему Infinera FlexLS (система з гнучкою частотною сіткою, щільністю каналів до 12,5 ГГц і максимальною ємністю до 32 Тбіт/с) і транспондери ICE-4 (виробник позиціонує це рішення як «Meshponder» завдяки можливості динамічного розділення оптичних суперканалів). Також розгорнуто платформу інтерконекту Ciena Waveserver 5, здатну забезпечити по 12,8 Тбіт/с у клієнтському і лінійному напрямках і побудовану на цифрових сигнальних процесорах WaveLogic 5 Extreme з підтримкою 800 Гбіт/с на лямбду. Завдяки цьому компанія забезпечує з'єднання на інтерфейсах 100GE і 400GE.

Cogent володіє в Україні ВОЛЗ, що сполучають Київ з Одесою та Харковом;

з Києва йде лінія на Братиславу і далі в мережу провайдера, а з Одеси — на Кишинів. Загалом цей провайдер першого рівня володіє у всьому світі понад 96 тис. км ВОЛЗ, що з'єднують міста, його оптична інфраструктура пов'язана з 7530 зовнішніми мережами.

Türk Telekom International — компанія, що входить до складу групи Türk Telekom. Вона працює у Центральній та Східній Європі, на Близькому Сході, а також власне в Туреччині, загалом володіючи оптичною мережею протяжністю понад 45 тис. км. зі 114 точками присутності. В Україні компанія використовує декілька ВОЛЗ, як власних, так і орендованих.

DWDM у світі

Змалювавши стан справ на українських мережах DWDM, погляньмо на те, що відбувається у світі. **Dell'Oro Group** оцінює світовий ринок обладнання DWDM-транспорту у \$15 млрд і характеризує його як «дуже конкурентний». За цей «пиріг» агресивно борються близько 20 виробників, при цьому 90% ринку ділять між собою 7 компаній, і навіть серед них різниця між найбільшим і найменшим вендорами дуже велика: 25 п.п. (рис. 4).

Великі компанії відриваються від малих завдяки обсягу інвестицій у розробку власних лінійних компонентів: цифрових сигнальних процесорів (DSP) і оптичних препроцесорів (Optical Front End, OFE). Завдяки власним технологіям своєю чергою з'являється можливість створювати продукт, який

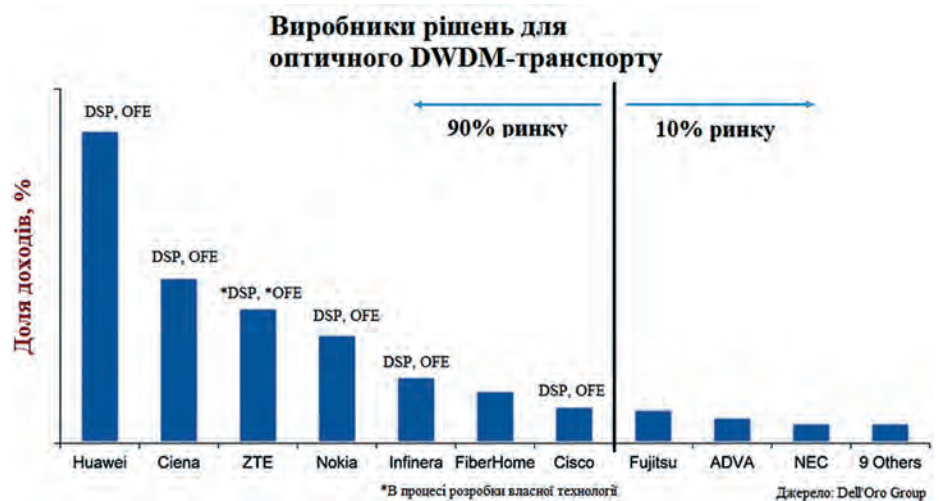


Рис. 4. Світовий ринок обладнання DWDM за підсумками 2020 року (дані Dell'Oro Group)

відрізняється від інших, скорочувати час надходження на ринок і зменшувати витрати; а оскільки власні розробки вимагають значних ресурсів (фінансових і людських), а також інтелектуальної власності, це створює бар'єр для нових гравців, ба навіть і для старих.

При цьому найчастіше користувачі закупають обладнання у місцевих постачальників. Так, у Північній Америці домінує продукція **Ciena**, **Infinera**, **Cisco**, а також **Nokia**, тоді як ринок Китаю зайнятий компаніями **Huawei**, **ZTE** і **FiberHome**. В регіоні EMEA ключовими гравцями є Nokia, німецька компанія **ADVA** і американська Infinera, а в Азії за межами Китаю працюють японські **Fujitsu** і **NEC**. Del'Оро зазначає, що після американських обмежень проти Huawei і ZTE у двох останніх регіонах перейшли до диверсифікації постачальників, що дало шанс меншим місцевим виробникам, проте для зменшення ризиків великі провайдери й надалі закуповуватимуть обладнання у великих виробників, які володіють технологіями і потужностями для підтримки їхніх проектів.

Окрім того, Dell'Оро передбачає, що традиційна технологія DWDM зіткнеться з конкуренцією з боку 400ZR — стандарту, початково розробленого організацією Optical Networking Forum для сполучення дата-центрів. Технологія 400ZR забезпечує передавання даних зі швидкістю 400 Гбіт/с по

одній хвилі системи DWDM на відстань до 120 км, а поява знімних модулів у формфакторі QSFP-DD, імовірно, викличе зростання інтересу до архітектури IPoDVDM, де оптика DWDM заходить безпосередньо у комутатор або маршрутизатор Ethernet. Це, своєю чергою, ще більше посилює конкуренцію, оскільки замовники вже обирають між виробниками DWDM-систем і комутаторів з підтримкою IPoDVDM. З іншого боку, виробники модулів 400ZR — це ті самі компанії, що присутні на ринку DWDM, такі як Ciena, Cisco та Nokia.

Деагрегована оптика

Поява 400ZR стала наслідком розвитку когерентної оптики. Традиційно DWDM-система є інтегрованою платформою, всі елементи якої (термінали, підсилювачі, реконфігуровані підсилювачі з введенням-виведенням, або ж ROADM тощо) постачає один виробник. Тоді як загалом у телекомунікаціях є тренд на використання в обладнанні компонентів загального призначення (що виражається в концепціях програмно-визначуваних мереж і віртуалізації мережевих функцій), до сфери оптичного транспорту ця мода донедавна не доходила через специфіку технологій. Проте перехід до цифрової обробки оптичних сигналів дозволив використовувати в оптичних транспондерах цифрові сигнальні процесори, а стандартизація в рамках

міжнародних об'єднань забезпечила взаємозамінність транспондерів від різних виробників.

Окрім 400ZR, існують і інші схожі стандарти. Наприклад, OpenZR+, розрахований на швидкості 100, 200, 300 і 400 Гбіт/с, може використовуватись на міських, регіональних та магістральних мережах. За оцінками, в ідеальних умовах він може працювати в режимі 400G на відстані до 480 км, тоді як в реальних умовах його дальність становитиме 300–400 км. Ще потужніші моделі стандарту Multi-Haul DCO, які, щоправда, випускатимуться в більшому формфакторі, зможуть «пробивати» на відстань 500–2000 км.

У той час коли когерентні транспондери швидко еволюціонують у бік збільшення дальності і швидкості передачі, лінійна інфраструктура може існувати дуже довго, тоді як витрати на заміну транспондерів можуть бути досить високими. Так з'явилась ідея системи, до якої можна додавати різні покоління транспондерів, обираючи найкращі варіанти від різних виробників.

У відкритій лінійній системі (рис. 5) усі лінійні компоненти постачає один виробник, тоді як транспондери і систему управління з кінця в кінець надають інші. Щоправда, ці транспондери (т. зв. «чужі хвилі» — alien wavelengths) на протилежних кінцях таки мають бути від одного виробника. Існують

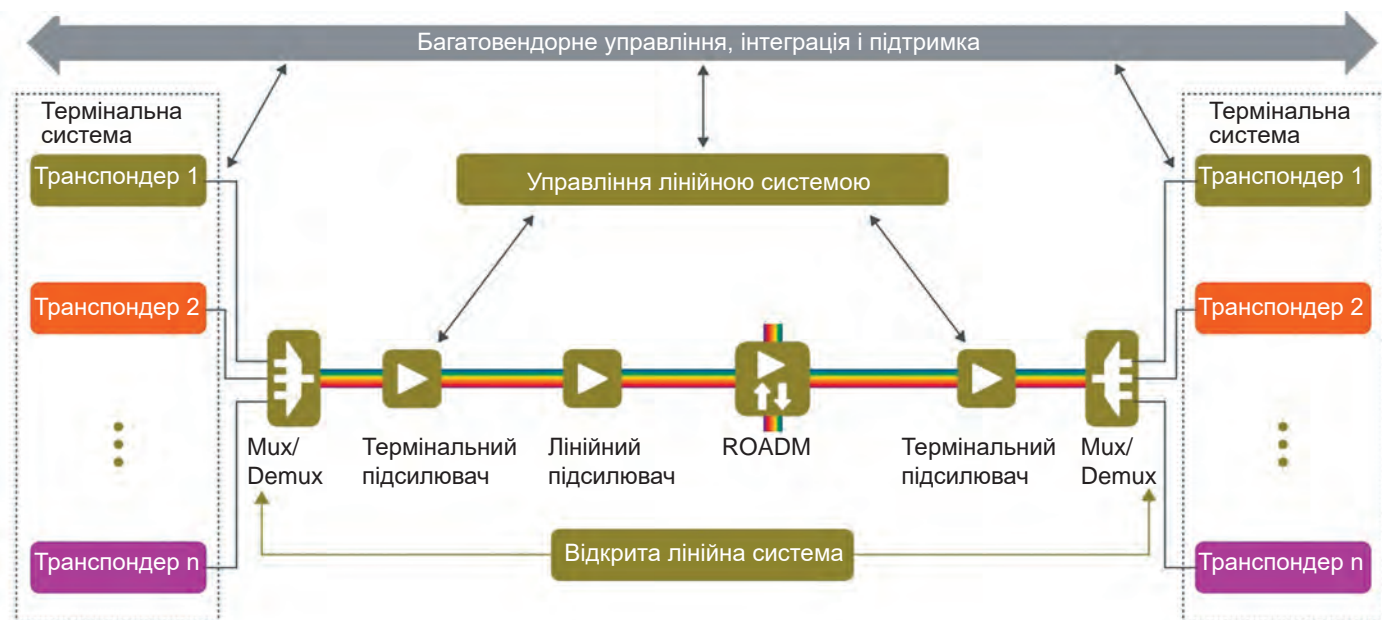


Рис. 5. Відкрита оптично-лінійна система (джерело: Infinera)

ЗЛИТТЯ НА РИНКУ ОПТИКИ

У березні нинішнього року Cisco завершила купівлю компанії Acacia, яка раніше була її постачальником. Acacia виробляє системи когерентної оптики для ЦОД, міських, регіональних і магістральних мереж, а також для підводних ВОЛЗ. Сума угоди склала \$4,5 млрд. Cisco намагалась купити Acacia ще у 2019 році, але тоді йшла мова про значно нижчу ціну у \$2,6 млрд.

Як зазначив у блозі старший віце-президент Cisco Білл Гартнер, технології Acacia доповнюють оптичні системи Cisco і посилять інвестиції у «Інтернет майбутнього». Окрім того, придбання дозволить увійти у тренд переходу від оптичних лінійних систем на

основі шасі до технології знімних модулів. З покупкою Acacia Cisco розраховує стати лідером ринку систем 400G+ завдяки «руйнівній технології, яка обвалить рівні IP і оптики у формі знімної когерентної технології».

У серпні американська компанія Adtran досягла угоди про придбання німецького виробника ADVA Optical Networking. Вартість покупки становить €789 млн. Передбачається, що угода дозволить Adtran закріпитись на ринках регіону EMEA, а ADVA – у Північній Америці, водночас продуктивні портфелі обох компаній не конкурують, а доповнюють один одного, оскільки Adtran спеціалізується на PON-обладнанні, а ADVA – на рішеннях

WDM, з'єднання дата-центрів, корпоративного Ethernet і мережевої синхронізації.

Аналітики прогнозують, що об'єднана компанія все одно залишиться нішовим гравцем на ринку, оскільки конкуренти, такі як Cisco, Nokia, демонструють більші доходи. З іншого боку, дезагреговані DWDM-платформи, де траспондери відокремлені від лінійної системи, демонструють прискорене, порівняно з ринком в цілому, зростання, а саме такі системи виробляє ADVA. Також на руку об'єднаній компанії може зіграти витіснення Huawei з державних програм розвитку швидкісного інтернет-доступу в Європі та Північній Америці.

ще більш дезінтегровані концепції, де різні виробники можуть поставити ROADM або навіть їх частини, підсилювачі тощо. Висловлюється й інша ідея (яка, вочевидь, і мала у увазі в аналізі Dell'Oro): скористатись тим, що ціни на маршрутизатори знижуються швидше, ніж на оптичні компоненти, і замінити оптичні вузли маршрутизаторами. Хоча в такій архітектурі сигнал регенерується на кожному вузлі, її привабливість у тому, що використовуватимуться лише оптимізовані за ціною і енергоспоживанням оптичні компоненти.

Як згадувалося, RETN вже використовує платформу Ciena з траспондерами Infinera. У вересні стало відомо, що 400ZR і OpenZR+ успішно випробували на своїй мережі британський оператор **British Telecom**.

Загалом, згідно з даними Dell'Oro, за другий квартал нинішнього року продажі у сегменті дезінтегрованих рішень збільшилися на 36%, тоді як загалом ринок WDM порівняно з торішнім аналогічним періодом практично не зріс. При цьому, за словами віце-президента цієї аналітичної компанії Джонні Ю, такі системи набувають поширення як на міських мережах, так і у ВОЛЗ великої дальності. Однією з причин зростання є потреба у більш якісних високошвидкісних траспондерах, через що найбільш стрімко збільшуються попит на рішення 400G і вище. Загалом передбачається, що продажі дезагрегованих траспондерів цього року перевищать \$2 млрд.

За прогнозом агенції Signal AI, у 2024 році на 400ZR, 400ZR+ і 100ZR припадуть близько третини поставок когерентних оптичних портів для міських і магістральних мереж.

Терабіт на підході

Ще відносно недавно інтерфейси 100G (100 Гбіт/с на «лямбду») були вершиною розвитку DWDM, а тепер (ще торік) агенція **Signal AI** зафіксувала скорочення продажів таких портів, оскільки китайські виробники почали переходити на технологію 200G. Оператори в усьому світі вже активно впроваджують 400G, і з'являються повідомлення про проекти на основі 600G. Обсяги трафіка, що споживаються у світі, щороку зростають, а розгортання мобільних мереж 5G вимагає ще потужнішої транспортної інфраструктури, що й призводить до зміни поколінь DWDM.

Згідно з квітневим звітом Signal AI, упродовж 2020 року продажі когерентних оптичних портів 400G, 600G і 800G стрибнули вгору, що пов'язано з модернізацією мереж телеком-операторів. Причому компанії **Acacia** та **Inphi** почали випуск продукції 400ZR. За обсягами продажів обладнання 400G/600G лідрує Ciena, яка також першою почала виробляти пристрої 800G. У лютому 2019 року був представлений вже згаданий сигнальний процесор WaveLogic 5 Extreme, який вже використовується, зокрема, у власній платформі Waveserver.

У лютому 2020 року компанія Huawei представила настроюваний модуль, здатний працювати на швидкостях від 200 до 800 Гбіт/с. У пристрої використовується алгоритм каналного підлаштування (Channel-matching shaping), який забезпечує самооптимізацію характеристик передавання залежно від реального стану каналу; як стверджується, завдяки цьому дальність зв'язку збільшується на 20%. Згідно з прес-релізом, завдяки новому модулю оператори зможуть передавати до 48 Тбіт/с по одному оптичному волокну. Модулі увійшли до складу сімейства Huawei OptiXtrans.

На початку вже цього року Huawei випробувала технології 600G і 800G на мережі оператора Telefónica в Іспанії.

Між тим технологія крокує ще далі, вже у вересні компанія Acacia (нині у складі Cisco) представила знімний когерентний модуль, який забезпечує передавання зі швидкістю 1,2 Тбіт/с по одній «лямбді». Модуль належить до сімейства продуктів AC1200, в його основі знаходиться сигнальний процесор Janni, виготовлений за техпроцесом 5 нм. Втім, терабітна швидкість призначена для сполучення дата-центрів, тоді як на більшості інших ВОЛЗ використовуватиметься 800 Гбіт/с.

Так чи інакше, вже за кілька років терабітні можливості будуть у обладнання всіх основних виробників, але як далеко заїде гонка швидкостей, поки невідомо.

Василь ТКАЧЕНКО, СИБ