

УДК 656.25:658.5

БУКІН А. Ю., начальник відділу зв'язку, радіо та ПОНАБ галузевої Служби сигналізації та зв'язку регіональної філії «Південно-Західна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця»
ПНЕВИЧ Т. О., старший викладач (Державний університет інфраструктури та технологій, Київський інститут залізничного транспорту)

Концептуальні підходи до організації транспортних мереж зв'язку Укрзалізниці

У роботі розглядаються методи створення високонадійних універсальних транспортних мереж, на базі яких на даний час можливо організовувати як спеціалізовані (за видами послуг), так і мультисервісні телекомунікаційні мережі. Метод, що пропонується, може бути впроваджений на діючих SDH мережах зв'язку. Пропонуються удосконалення відомчих транспортних SDH мереж Укрзалізниці за технологією нового покоління синхронної цифрової ієрархії NGSDH, яка дозволить вирішити практично усі ті самі завдання, що і ATM або MPLS, в мережах з пакетною комутацією, але без корінної реконструкції мереж, а також використання технології хвильового мультиплексування WDM.

Ключові слова: мережі наступного покоління, мультисервісна мережа, мережа пакетної комутації, синхронна цифрова ієрархія, конкатенація, хвильове мультиплексування, цільне спектральне мультиплексування, розріджене спектральне мультиплексування.

Вступ

Останніми роками швидкими темпами розвиваються і мають поширення нові послуги зв'язку, покращується якість традиційних послуг. При цьому для реалізації різних послуг має здійснюватись відповідний розвиток мереж зв'язку. Світова телекомунікаційна спільнота дійшла висновку про необхідність створення мереж наступного покоління NGN (Next Generation Networks), які забезпечують надання необмеженого набору послуг з гнучкими можливостями з їх управління і створення нових послуг за рахунок уніфікації мережевих рішень, які припускають реалізацію універсальної транспортної мережі з розподіленою комутацією, винесення функцій надання послуг у кінцеві мережеві вузли і інтеграцію з традиційними мережами зв'язку.

Сектор стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU-T, МСЕ-Т) дав таке визначення мережі NGN: "NGN – це, передусім, мережі з комутацією пакетів, в яких функції комутації відокремлені від функції надання послуг, вони дозволяють надавати широкий перелік послуг і додавати нові щойно розроблені. Також мережа NGN забезпечує широкосмуговий доступ і підтримує механізми якості обслуговування (QoS)" [1].

Основне завдання мультисервісних мереж полягає в забезпеченні співіснування і взаємодії різнорідних комунікаційних підсистем в єдиному транспортному середовищі, коли для передачі трафіка даних і трафіка реального часу (голосу і відео) використовується єдина інфраструктура [2, 3].

© А. Ю. Букін, Т. О. Піневич, 2018

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Перехід до мереж NGN викликаний змінами в структурі мережевого трафіка і умов розвитку телекомунікаційної індустрії. Галузь зв'язку використовує новітні технологічні розробки для того, щоб пристосуватися до подальшого розвитку мереж.

Аналіз проектів зі створення мереж NGN показує, що оператори мереж зв'язку використовують фактично два основних шляхи переходу до мереж наступного покоління: революційний та еволюційний [4].

Революційний шлях припускає повну заміну ТДМ-систем на IP-рішення. При цьому реалізується багаторівнева архітектура NGN з виділенням чотирьох площин: мережі доступу, транспортної мережі, площин управління викликами, площини послуг. Цей варіант міграції до NGN опрацьовується в МСЕ-Т і засновується на використанні технології гнучких комутаторів (softswitch). Але кардинальна реконструкція існуючих мереж потребує значних фінансових витрат.

Еволюційний шлях у своїй основі припускає побудову транспортної пакетної мережі, яка об'єднує всі існуючі мережі (телефонну, передачі даних, стільникові, Інтернет, інтелектуальні та ін.). Такий метод є найбільш актуальним з точки зору вкладених інвестицій в існуючі мережі та припускає поступову заміну обладнання телефонної мережі загальною користування. При цьому використовується концепція мультимедійної підсистеми на основі IP-IMS, розроблена проектом 3GPP та ETSI. Еволюційний шлях міграції до NGN характеризується поступовою

модернізацією існуючих мереж і у більшості випадків меншими фінансовими витратами.

Проаналізувавши досвід ряду зарубіжних операторів, які розробили конкретні плани побудови мереж NGN та приступили до їх реалізації, а саме: мережа Telecom Italia (Італія) [5], Telefonica Deutschland GmbH (Германія) [6], мережі Китаю [7], проекти мереж NGN в Росії [8, 9, 10], можна зробити висновки, що для України з її особливостями (велика територія, наявність великого обсягу старого устаткування, відносно невеликий платоспроможний попит на нові послуги та ін.) єдино можливим рішенням при створенні мереж NGN є плавна міграція, при якій зберігається функціональність існуючих мереж і в той же час стає можливим надання нових послуг. Тому доцільно вибрати і реалізувати такі мережеві рішення, які в перспективі забезпечать плавний і економічний перехід до мережі NGN.

Визначення мети та завдання дослідження

Метою дослідження є розгляд методів створення високонадійних універсальних транспортних мереж, на базі яких можливо організувати як спеціалізовані, так і мультисервісні телекомунікаційні мережі. Метод, що пропонується, ґрунтується на діючих транспортних мережах зв'язку на всій території України та відомчих мережах зв'язку Укрзалізниці.

Оскільки більшість операторів, що планують створення мереж наступного покоління, вже зробили значні вкладення коштів в устаткування SDH, перехід на інші технології вимагає нових значних інвестицій [11].

Мережі SDH мають характерну для своєї технології надійність і можливість відновлюватися самостійно. Ці мережі ще не повністю себе реалізували і можуть, при певній реконструкції, працювати паралельно з мережами пакетної комутації. Тому розглядається питання модернізації існуючих транспортних мереж та можливість співіснування технології синхронної цифрової ієрархії NGSDH в транспортних мережах нового покоління [12]. Пропонуються удосконалення мереж SDH за технологією нового покоління синхронної цифрової ієрархії NGSDH.

Основна частина дослідження

Технологія SDH сьогодні найбільш поширена і є найпотужнішим інструментом створення високонадійних універсальних транспортних мереж, на базі яких можна організувати як спеціалізовані, так і мультисервісні телекомунікаційні мережі.

Ця технологія є досить розповсюдженою технологією транспортних мереж. Вона набула поширення при будівництві транспортних мереж та операторів мобільного та фіксованого зв'язку

регіональних, національних і міжнародних масштабів та відомчих мереж.

Розвиток технології SDH полягає в удосконаленні та доопрацюванні технічних рішень стосовно нових вимог розвитку мереж. Основні шляхи розвитку апаратури SDH такі:

- збільшення швидкості агрегатного сигналу і реалізація таким чином більш високих ієрархічних рівнів. У рамках цієї гілки еволюцію можна вважати закінченою. Реалізація апаратури з електронною обробкою сигналів на швидкості вище 40 Гбіт/с проблематична і недоцільна;

- підвищення ефективності передачі лінійних сигналів SDH по оптичному кабелю, тобто збільшення пропускної спроможності системи передачі і довжини кабельної ділянки. Апаратура SDH останнього покоління оснащена оптичними підсилювачами і вбудованим обладнанням спектрального ущільнення (WDM);

- розширення номенклатури інтерфейсів компонентних сигналів. Разом із звичайним набором інтерфейсів сигналів PDH (E1, E3, E4) і STM-N, характерних для традиційних систем SDH, з'являються інтерфейси сигналів, що сформовані відповідно до протоколів ATM і IP, інтерфейси Ethernet, Fast Ethernet і Gigabit Ethernet, Frame Relay, інтерфейси відеосигналів, сигналів типу xDSL і ін.;

- універсалізація апаратури. Апаратура шляхом програмування і комплектації відповідними змінними блоками може мати функції будь-якого обладнання сімейства SDH. Вже з'явилася апаратура, що виконує функції мережевого вузла;

- мініатюризація апаратури. З'являються малогабаритні вироби із спрощеною комплектацією.

Вдосконалення та розвиток апаратури SDH по усіх напрямках, окрім першого, ще не завершено. Відмітними ознаками умовного нового покоління SDH є функції, що реалізуються у рамках третього, четвертого і другого (в порядку важливості) етапів розвитку.

Нині спостерігається тенденція переходу на пакетну передачу даних. Це пов'язано з постійно зростаючим інтересом з боку абонентів до послуг Triple Play, що спираються на технології Ethernet / MPLS та інші технології пакетної комутації. Мережам наступного покоління притаманні всі переваги традиційної мережі SDH, вони мають більші можливості та визначені показники якості зв'язку.

Але побудова абсолютно нової транспортної мережі має високу вартість, та й ресурси SDH мереж не використані до кінця. Таким чином, найбільш оптимальним рішенням є модернізація існуючих мереж SDH і перетворення її в мережу SDH наступного покоління – NGSDH. Вона дозволяє вирішити практично усі ті самі завдання, що ATM або MPLS, але без корінної реконструкції мереж. Базовою

технологією у складі NG SDH став основний протокол формування кадрів GFP (Generic Framing Protocol) у поєднанні з віртуальною конкатенацією VCAT (Virtual CoAcatenation) [13].

Суть процедури модернізації мереж з використанням механізмів GFP/VCAT полягає в наступному. За рахунок фіксованого розміру осередків використання системи передачі SDH дуже ефективно без негативних стрибків в пропускній спроможності. GFP адаптує потік даних на основі кадрів зміною довжини до байт-орієнтованого потоку даних мережі

SDH, відображаючи різні служби в кадр загального призначення, який потім відображається в кадрі SDH.

Протокол GFP дозволяє поєднувати фіксований розмір кадру, необхідний для забезпечення високої ефективності використання систем передачі, з простотою реалізації. Цей протокол не вимагає ні процедури байтового стафінгу, ні дорогої сегментації (рис. 1). В результаті його структура є простою, а система передачі за ефективністю порівнюється з технологією ATM.

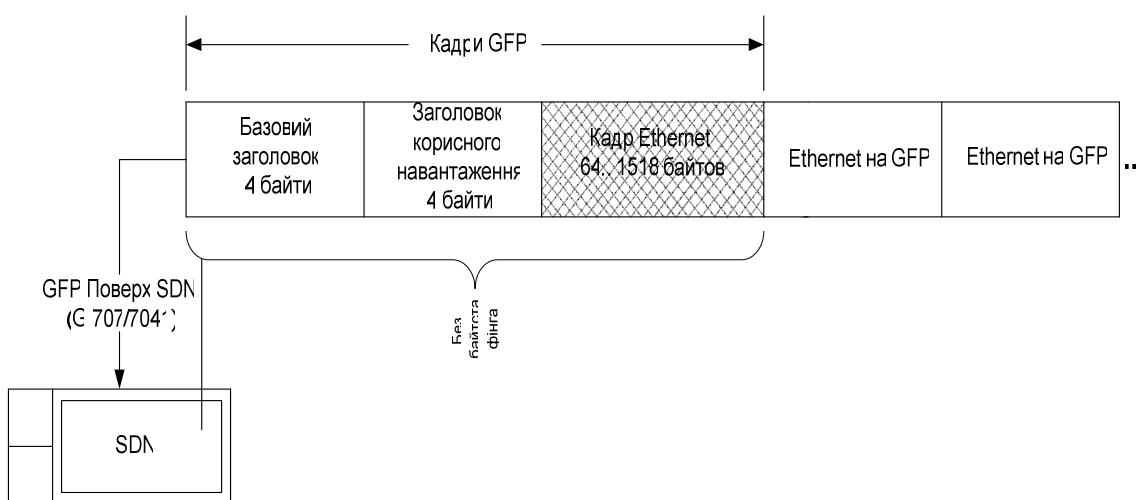


Рис. 1. Формат кадру Ethernet поверх GFP

При розробці рішень NGSDH особлива увага була приділена підвищенню ефективності завантаження мережі. Важливим кроком для розв'язання цієї задачі стала розробка процедури віртуальної конкатенації (об'єднання) в мережах SDH (VCAT).

Звичайна конкатенація в мережах SDH – це зчеплення контейнерів різного рівня так, що мережа ідентифікує їх як загальний контейнер. Однак для систем Ethernet, для вирішення проблем з підвищення ефективності навантаження мережі запропонована схема віртуальної конкатенації (об'єднання) VCAT.

Згідно з цією процедурою, мультиплексор, оснащений VCAT, формує віртуально конкатенований контейнер, що складається з семи контейнерів VC-4 В результаті міст (з'єднання контейнерів) має пропускну спроможність 1,05 Гбіт/с і його ефективність досягає прийнятних 85 %. Слід зазначити, що процедура VCAT не вимагає модернізації мережі SDH. В мережі контейнер VCAT передається як сім незалежних контейнерів VC-4, і тільки в точці складання має стояти мультиплексор з функцією VCAT.

Віртуальна конкатенація відповідає ІТУ стандарту G.707 дозволяє об'єднати контейнери в одне з'єднання. При цьому може бути будь-яка кількість контейнерів будь-якого типу. По суті, віртуальна конкатенація – це процедура зворотна мультиплексуванню. Такий підхід

дозволяє використовувати пропуску спроможність каналів з більшою ефективністю, що наведено в таблиці.

Таблиця

Ефективність використання VCAT

Сервіс	Ефективність без VCAT	Ефективність з VCAT
Ethernet 10 Mb/s	20%	89%
Fast Ethernet 100 Mb/s	67%	100%
Gigabit Ethernet 1000 Mb/s	42%	95%
Оптичний канал 1000 Mb/s	42%	95%

Вузли мережі, в яких починається і закінчується передача, мають розпізнавати групи віртуальних контейнерів (VCG). А проміжні вузли не обов'язково мають бути інформовані про віртуальну конкатенацію. Тобто кожен індивідуальний контейнер в логічній зв'язці може мати свій шлях через мережу. Це може призводити до фазових розбіжностей між контейнерами, які прибувають на термінальне обладнання тракту передачі, що вимагає від устаткування згладжування таких затримок.

Така технологія зручна не лише для розгортання, але і для надання послуг. Потрібні абсолютно незначні зміни (дві плати в мультиплексорах введення-виведення з обох боків моста) для здійснення передачі трафіка через систему SDH. Для операторів первинної мережі це дуже привабливе рішення, яке дозволяє притягнути у свої мережі нові категорії постачальників трафіка.

Третім компонентом NGSDH є підсистема регулювання пропускної спроможності лінії LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme). Протокол LCAS, як це визначено в рекомендації ITU-T G.7042, являє собою додаткову технологію віртуального об'єднання [13].

Протокол LCAS виконується між двома мережевими елементами (NE), що з'єднують користувача інтерфейса в мережі SDH, що є еквівалентом протоколу сигналізації в системі SDH. Для виділення ресурсу в заданій точці мережі потрібна швидка реконфігурація в мережі SDH, яка здійснюється системою управління шляхом прописування різних маршрутів.

Протокол LCAS дозволяє обладнанню відправника динамічно змінювати смугу пропускання, змінюючи кількість контейнерів в групі конкатенації.

Також протокол LCAS може бути використаний для усунення збоїв. Якщо відбувається відмова при передачі окремих членів групи віртуальної конкатенації, протокол LCAS продовжує передачу решти членів групи, нехай і з меншою пропускною спроможністю. Після того як дефект усунений, розмір групи може бути відновлений без жодного збитку. На додаток до забезпечення надійності механізму VCAT, LCAS забезпечує постачальникам послуг гнучкість для адаптації пропускної спроможності в міру необхідності.

NGSDH дозволяє операторові діяти більш оперативно. Для цього усередині мережі використовується підсистема сигналізації, що має протоколи, схожі з протоколами систем комутації. У мережі з використанням процедури VCAT на вимогу одного з вузлів встановлюється новий канал з пропускною спроможністю 150 Мбіт/с.

Процедуру регулювання пропускної спроможності лінії LCAS в системі NGSDH зображено на рис. 2.

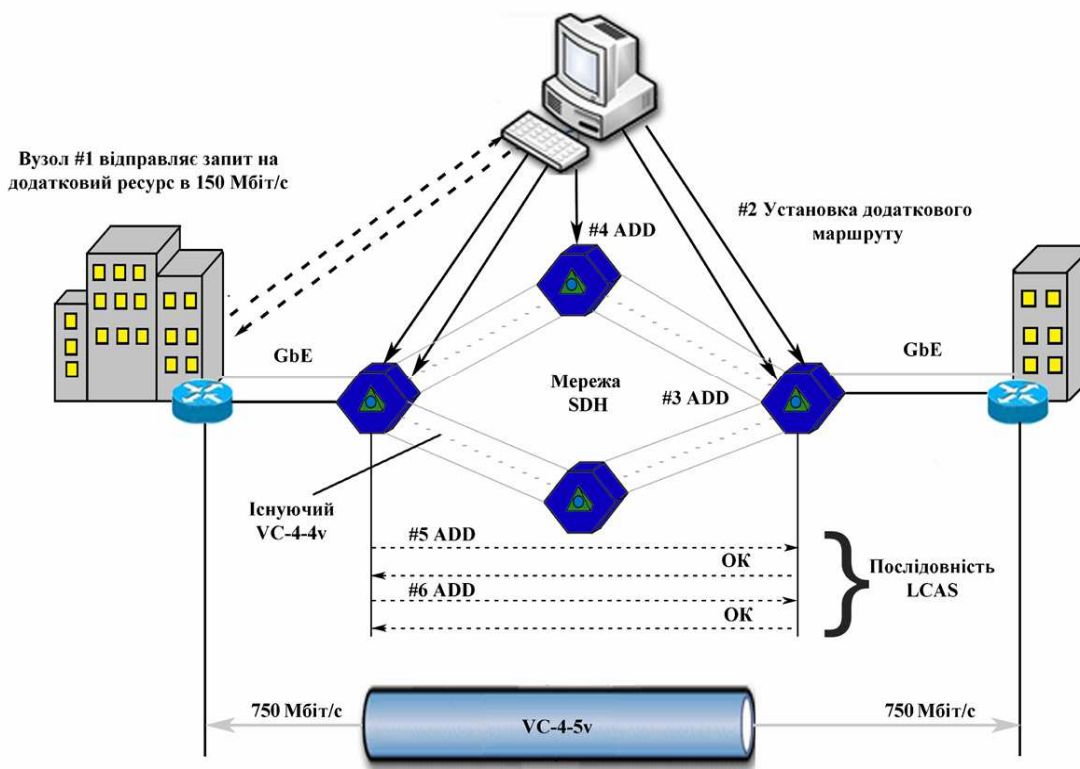


Рис. 2. Регулювання пропускної спроможності лінії LCAS в системі NGSDH

Джерело: побудовано на основі [13].

Таким чином, сукупність трьох нових підсистем – VCAT, GFP і LCAS формує нове покоління технологій SDH – NGSDH.

Ethernet поверх SDH (EoS) – найбільш поширена реалізація систем NG SDH. Ця функція є досить затребуваною, особливо у Internet провайдерів, та є важливою альтернативою іншим варіантам корпоративних або відомчих транспортних мереж NGN, що обумовлено наступними можливостями та рішеннями Ethernet. Застосування інтерфейсів Ethernet в системах NG SDH закономірно, а саме:

- один і той самий фізичний інтерфейс може працювати в широкому діапазоні швидкостей, дозволяючи при необхідності змінювати швидкість підключення без заміни обладнання;
- усувається необхідність проміжного перетворення інтерфейсів при передачі даних з однієї локальної мережі в іншу (а такий трафік складає основний обсяг від всього трафіка даних);
- значно знижуються витрати на підключення;
- єдина технологія, механізми сигналізації та управління для всієї мережі;
- максимальна автоматизація управління мережею та активація послуг, підтримка засобів самообслуговування користувачів.

Майже на всьому обладнанні NG SDH є Ethernet комутатор, це окрема плата, що виконує конкретні функції. Вбудована в Ethernet комутатор підтримка VLAN (802.1Q), технології Q-v-Q (802.1ad), пріоритизації кадрів 802.1p в поєднанні з GFP, VCAT, LCAS і рештою можливостями SDH дозволяють будувати регіональні Ethernet мережі (Metro-Ethernet) операторського класу. До таких додаткових можливостей відносяться схеми самовідновлення мережі та засоби експлуатації, адміністрування та обслуговування.

Технологія WDM. Потреба в смузі пропускання непомірно зростає. Технології SDH (SDH-16\64), ATM, IP уже скоро не зможуть впоратися зі стрімким зростанням обсягів інформації, що передаються. Найбільш перспективною технологією, яка дозволяє створювати гнучкі розгалужені оптичні мережі з практично необмеженими можливостями зростання смуги пропускання, є технологія хвильового мультиплексування WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Сутність технології WDM полягає в тому, що по одному оптичному волокну одночасно передаються декілька інформаційних каналів на різних довжинах хвиль, що дозволяє максимально ефективно використовувати можливості оптичного волокна. Технологія WDM дозволяє набагато підвищити пропускну спроможність ВОЛЗ, не прокладаючи нові кабелі і не встановлюючи на кожне волокно нове обладнання. Працювати з декількома каналами в одному волокну набагато зручніше, ніж з декількома

волокнами, тому що для обробки будь-якої кількості каналів у волокні необхідно мати тільки один мультиплексор WDM, один демультимплексор WDM і необхідне число оптичних підсилювачів [14].

Застосування технологій спектрального ущільнення в оптичних мережах доступу не тільки збільшує пропускну спроможність, але і підвищує ефективність і гнучкість керування. Для цього розроблені відповідні оптичні елементи: оптичні хвильові комутатори, маршрутизатори, хвильові конвертори й інші пристрої, що дозволяють проводити оперативне і гнучке конфігурування оптичних мереж [15].

Різке підвищення пропускну спроможності сполучних ліній у корпоративних мережах доступу при одночасному збільшенні відстаней здійснюється як шляхом підвищення швидкості електронного мультиплексування за часом, так і використанням технологій ущільнення оптичних каналів по довжинах хвиль (WDM-wavelength division multiplexing). На відміну від магістральних систем передачі, у яких широко використовується щільне спектральне мультиплексування (DWDM), в оптичних мережах доступу економічно доцільним є застосування розрідженого спектрального ущільнення оптичних каналів — CWDM. CWDM може використовуватись там, де використовується Ethernet поверх оптичної лінії і не вимагає додаткових вимог до параметрів оптичного волокна. Таким чином, досягається економічна доцільність від використання одного і того самого ресурсу для декількох потоків Gigabit Ethernet (до восьми в одному волокні).

DWDM та CWDM розглядається вже не тільки як засіб підвищення пропускну спроможності оптичного волокна, а як найбільш надійна технологія для опорних мультисервісних і мобільних мереж, що забезпечує різке підвищення пропускну спроможності й реалізує широкий набір принципово нових послуг зв'язку.

Можливості DWDM інтегруються з ATM, IP, ADSL та іншими технологіями і протоколами передачі цифрової інформації, роблять її незамінною в процесі конвергенції між різними видами й службами зв'язку. Апаратура SDH останнього покоління оснащена оптичними підсилювачами і вбудованим обладнанням спектрального ущільнення (WDM). На рис. 3 зображена мультисервісна мережа з розділенням транспортної мережі WDM.

Нове покоління устаткування транспортних мереж NGN має відрізнятися успішною інтеграцією нових послуг і нових технологій, таких як мультиплексування зі спектральним розділенням (WDM). Це дозволить операторам збільшувати терміни служби своїх мереж і отримувати додаткові доходи від раніше зроблених капіталовкладень. Конвергентний транспорт NGN підніме технологічну

інтеграцію ще на один рівень. Він не лише зробить можливим поєднання пакетного, почасового і спектрального мультиплексування на базі спільної

платформи, але і дозволить операторам оптимізувати свої мережі під будь-який набір послуг і під будь-яку мережеву архітектуру.

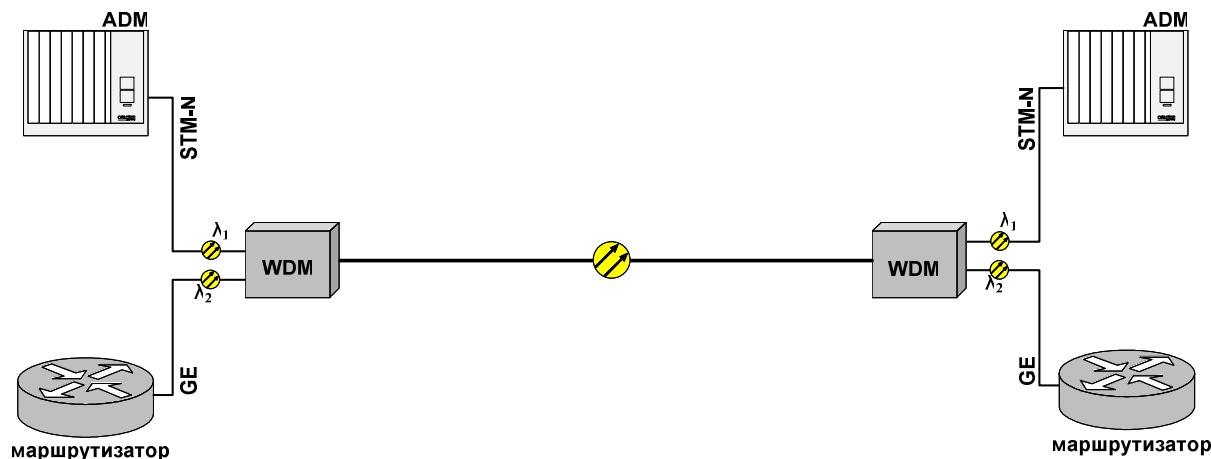


Рис. 3. Мультисервісна мережа з розділенням транспортної мережі WDM

Джерело: побудовано автором.

Висновки

Основне завдання мереж нового покоління полягає в забезпеченні взаємодії існуючих і розвитку нових телекомунікаційних мереж, які діють за єдиною інфраструктурою для передачі будь-яких видів інформації.

На відомчих мережах Укрзалізниці на ділянці Київ-Миронівка Південно-Західної залізниці вже побудована та успішно працює інтегрована (мультисервісна) мережа зв'язку на базі IP-технології. Транспортна мережа на цій ділянці організована на базі волоконно-оптичного кабелю за технологією Ethernet over SDH.

Збереження існуючих транспортних технологій та їх удосконалення забезпечить якісну роботу мультисервісних мереж, які мають великий вплив на виробничі процеси залізничного транспорту та сприятимуть ефективності управління інформаційними ресурсами з одночасним розширенням функціональності та спектра послуг.

Таким чином, модернізація існуючих мереж SDH та застосування мереж WDM на сьогоднішній день – це оптимальне рішення для розширення можливостей транспортних мереж при значному зростанні трафіка.

Список використаних джерел

1. Recommendation ITU-T Y.100. General overview of the Global Information Infrastructure standards development.
2. Recommendation ITU-T Y.110. Global Information Infrastructure principles and framework architecture.
3. ITU-T Recommendation Y.2201.NGN release 1 requirements / International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector. – 2007.
4. Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології [Текст] / О. В. Лемешко, В. А. Лошаков, В. В. Поповський [та ін.]; за ред. проф. В. О. Поповського. – Харків: Компанія СМІТ, 2010. – Ч.1. – 468 с.
5. Telecom Italia внедряет крупнейшую в Европе сеть VoIP с Cisco и Italtel [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.obilecomm.ru/view.php?news=954>.
6. Немецкая компания «Телефоника» приобрела решение Cisco для расширения сети VoIP, передачи голоса по широкополосным каналам и конвергенции фиксированной и мобильной связи [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://www.cisco.com/global/RU/news/releases/0623.shtml>.
7. China Satellite Communications Corporation (China Satcom) [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://www.world2006.hk/en/doc/ChinaSatcom.pdf>.
8. СМАРТС и «АМТ-Груп» испытали пилотную сеть следующего поколения NGN [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://www.cnews.ru/news/line/index.shtml?2005/08/10/184616>.
9. Солонин, В. Крупнейшие NGN проекты в России: связисты осторожничают [Електронний ресурс] / В. Солонин. — Режим доступа: <http://www.cnews.ru/reviews/free/ip2005/articles/ngn.shtml>.

10. Стартовала эпоха NGNизации России [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.con-nect.ru/article.asp?id=5700>.
11. Семенов, Ю. В. Проектирование сетей связи следующего поколения [Текст] / Ю. В. Семенов. — М., СПб. : Наука и техника, 2005. — 240 с.
12. Бакланов, И. Г. NGN: принципы построения и организации [Текст] / И. Г. Бакланов. — М. : Эко-Трендз, 2008.
13. Сети следующего поколения NGN [Текст] / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, М. Ю. Самсонов [и др.]; под ред. А. В. Рослякова. — М. : Эко-Трендз, 2008. — 420 с.
14. Жирар, Андрэ. Руководство по технологии и тестированию WDM [Текст] : пер. с англ. / под ред. А. М. Бродниковского, Р. Р. Убайдулаева А. В. Шмалько; общ. ред. А. В. Шалько. — М.: EXFO, 2001. — 214 с.
15. Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи [Текст] / Р. Фриман. — М. : Техносфера, 2006 — 495 с.

Букин А. Ю., Пиневиц Т. А. Концептуальные подходы к организации транспортных сетей связи Укрзалізничці. В статье рассматривается инструмент создания высоконадежных универсальных транспортных сетей, на базе которых можно организовывать как специализированные (по видам услуг), так и мультисервисные телекоммуникационные сети. Рассмотренный метод может применяться на действующих сетях связи. Предлагается модернизация ведомственных транспортных сетей SDH Укрзалізничці на базе технологии нового поколения синхронной цифровой иерархии NGSDH, которая позволит решить практически те же задачи, что и ATM или MPLS в сетях с пакетной коммутацией, но без коренной реконструкции сети, а также применение технологии волнового мультиплексирования WDM.

Ключевые слова: сети следующего поколения, мультисервисная сеть, сеть пакетной коммутации, синхронная цифровая иерархия, конкатенация, волновое мультиплексирование, плотное волновое мультиплексирование, редкое спектральное мультиплексирование.

Bukin A., Pinevych T. Conceptual approaches for the organization of Ukrzaliznytsya transport communication networks. The purpose of the research is to consider methods for creating highly reliable multiservice transport communication networks in Ukrzaliznytsya. When planning the creation of next-generation networks, operators have already made significant investments in SDH equipment, so switching to other technologies requires new significant

investments. Currently there is a trend towards switching to packet data transmission. The construction of a completely new transport network has a high cost, and the resources of SDH networks are not entirely used. The proposed method can be implemented on existing SDH networks. The improvement of Ukrzaliznytsya departmental transport SDH networks with the new generation of the synchronous digital hierarchy technology NGSDH is proposed, which will solve almost the same tasks as ATM or MPLS in packet switched networks, but without fundamental reconstruction of networks, and the use of WDM wave multiplexing technology is also proposed. Thus, the most optimal solution is to upgrade existing SDH networks and turn them into a next-generation SDH network - NGSDH. The use of WDM technology allows greatly increase the bandwidth of fiber-optic communication lines without laying new cables and installing new equipment on each fiber. Modernization of existing SDH networks and application of WDM networks is currently the optimal solution for expanding the capabilities of transport networks with a significant increase in traffic. On the departmental networks of Ukrzaliznytsya, an integrated (multiservice) communication network based on IP-technology has been built and is successfully operated on the Kiev-Mironovka section of the South-Western Railway.

Key words: next generation networks, multiservice network, packet switching network, synchronous digital hierarchy, concatenation, wave multiplexing, dense spectral multiplexing, sparse spectral multiplexing.

Надійшла 31.01.2018 р.

Пиневиц Тетяна Олександрівна, старший викладач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного університету інфраструктури та технологій, Київський інститут залізничного транспорту. E-mail: pinevichto@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9046-2046>

Букин Андрій Юрійович, начальник відділу зв'язку, радіо та ПОНАБ галузевої Служби сигналізації та зв'язку регіональної філії «Південно-Західна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця». E-mail: bukinandriy@gmail.com

Tatiana Pinevych, Senior Lecturer, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv Institute of Railway Transport, Department of Technology and Automation, Kiev, Ukraine. E-mail: pinevichto@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9046-2046>

Andriy Bukin, Chief of communication and radio Department of "Pivdenno-Zahidna zaliznytsia" signaling and communication service, "Ukrzaliznytsia". E-mail: bukinandriy@gmail.com