

УДК 621.391

**ЕВОЛЮЦІЙНИЙ РОЗВИТОК КОНЦЕПЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Кравчук С.О.

*НТУУ “Київський політехнічний інститут”, 03056,
пр-т Перемоги, 37, Солом'янський р-н, Київ, Україна.*

sakravchuk@ukr.net

**ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Кравчук С.А.

*НТУУ “Киевский политехнический институт”, 03056,
пр-т Победы, 37, Соломенский р-н, Киев, Украина.*

sakravchuk@ukr.net

**EVOLUTIONARY DEVELOPMENT OF CONCEPTS TO TRANSPORT
TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

Kravchuk Sergii

*NTUU “Kiev polytechnic institute”, 03056,
37, Prosp. Peremohy, Solomyanskyi district, Kyiv, Ukraine.*

sakravchuk@ukr.net

Анотація. Представлено результати аналізу еволюційного розвитку концепцій транспортних телекомунікаційних систем (ТС) у світлі нових положень і поглядів щодо становлення інфраструктури сучасного інформаційного суспільства. Зазначено, що основу сучасних і перспективних ТС складають концепції та підходи, що зорієнтовані на технології комутації пакетів і розподілених всепроникних самоорганізувальних багатовимірних архітектур. Показано, що основною рушійною силою еволюції ТС є прагнення до збільшення інформаційної ємності систем та їх всепроникності.

Ключові слова: телекомунікаційні системи, інтелектуальні всепроникні мережі, еволюція розвитку, самоорганізувальна багатовимірна архітектура

Аннотация. Представлены результаты анализа эволюционного развития концепций транспортных телекоммуникационных систем (ТС) в свете новых положений и взглядов по становлению инфраструктуры современного информационного общества. Указано, что основу современных и перспективных ТС составляют концепции и подходы, ориентированные на технологии коммутации пакетов и распределенных всепроникающих самоорганизующихся многомерных архитектур. Показано, что основной движущей силой эволюции ТС является стремление к увеличению информационной ёмкости систем и их всепроникаемости.

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, интеллектуальные всепроникающие сети, эволюция развития, самоорганизующаяся многомерная архитектура

Abstract. The results of the evolutionary analysis of concepts for transport telecommunication systems (TS) in the light of the new provisions and views on the establishment of the infrastructure of the modern information society. Stated that the basis of current and future TC constitute concepts and approaches oriented packet switching technology and distributed smart ubiquitous self-organizing multidimensional architectures. The main driving force behind the evolution of the vehicle is the desire to increase the capacity of systems and their ubiquitous.

Key words: Telecommunication Systems, Smart Ubiquitous Networks, Evolution of Development, self-organizing multi-dimensional architecture

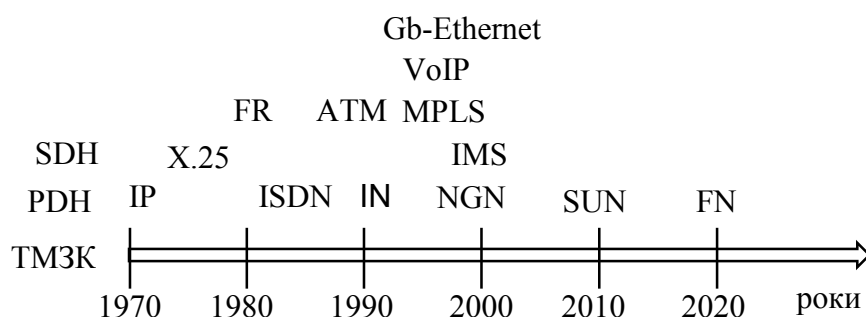
У своєму розвитку транспортні телекомунікаційні системи (ТС) пройшли шлях еволюції від окремих аналогових систем передачі та комутації каналів до інтегрованих цифрових мультисервісних мереж із самоорганізацією на базі комутації пакетів.

Основними зовнішніми рушійними силами прискорення еволюційного процесу в телекомунікаціях є лібералізація зв'язку та глобалізація суспільства. Значний вплив на розвиток телекомунікацій чинить концепція побудови Глобальної інформаційної інфраструктури ГІІ (Global Information Infrastructure), яка є комплексним рішенням з розвитку індустрії телекомунікаційних і інформаційних послуг нового покоління у світовому масштабі [1, 2]. ГІІ можна розглядати у вигляді композиції (перехрестя) низки базових технологій, інтеграція яких в рамках концепції ГІІ обіцяє якісні зміни умов діяльності та життя людини.

Загальна стратегія практичного втілення ГІІ в життя припускає еволюційний шлях розвитку, тобто побудову ГІІ на основі вже існуючих систем і технологій за допомогою їх послідовної модернізації і інтеграції на базі нових принципів і стандартів. Зокрема, потенційними сервісами ГІІ можуть служити послуги сучасної телефонії, послуги передачі даних і сервіси застосувань мережі Інтернет.

Метою даної статті є представлення аналізу еволюційного розвитку концепцій та підходів транспортних телекомунікаційних систем у світлі нових положень і поглядів щодо становлення інфраструктури сучасного інформаційного суспільства.

Дерево еволюційного розвитку. Часова лінійка, починаючи з 1970 р., запроваджень концепцій та технологій транспортних ТС показана на рис. 1. На даному рисунку відображені наступні технології ТС: синхронна цифрова ієрархія SDH – Synchronous Digital Hierarchy; плезіохронна цифрова ієрархія PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy; Інтернет-протокол IP – Internet Protocol; ретрансляція кадрів FR – Frame Relay; цифрова мережа інтегрованих послуг ISDN – Integrated Services Digital Network; інтелектуальна мережа IN – Intelligent Network; асинхронна передача даних ATM – Asynchronous Transfer Mode; багатопрокольна комутація за позначками MPLS – Multiprotocol Label Switching; мережі наступного покоління NGN – Next Generation Networks; голос поперх IP VoIP – Voice over IP; IP мультимедійна підсистема IMS – IP Multimedia Subsystem; розумні всепроникні мережі SUN – Smart Ubiquitous Networks (post-NGN); мережа майбутнього FN – Future Network.



Рисунки 1 – Часова лінійка запроваджень концепцій та технологій транспортних ТС (SDH – Synchronous Digital Hierarchy; PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy; IP – Internet Protocol; FR – Frame Relay; ISDN – Integrated Services Digital Network; IN – Intelligent Network; ATM – Asynchronous Transfer Mode; MPLS – Multiprotocol Label Switching; NGN – Next Generation Networks; VoIP – Voice over IP; IMS – IP Multimedia Subsystem; SUN – Smart Ubiquitous Networks (post-NGN); FN – Future Network; TM3K – телефонна мережа загального користування)

На рис. 2 зображено дерево еволюційного розвитку зі злиттям концепцій та технологій транспортних ТС. Базовими принципами, з яких проросли сучасні ТС, є комутація каналів і комутація пакетів. Комутація каналів лягла в основу розвитку телефонної мережі загального користування (TM3K), яка у своєму розвитку пройшла шлях від аналогової системи передачі до цифрової (PDH, SDH) [3-6]. Подальшим розвитком TM3K стала поява технології ISDN, а надалі – IN, яка вперше в сфері телефонії дозволила відокремити послуги від транспорту. Комутація пакетів породила інший шлях розвитку ТС. Перш за все, це системи пере-

дачі даних, які пізніше сформували первинні комп'ютерні мережі (КМ) локального рівня. Першими пакетними транспортними ТС стали X.25 і FR, які продемонстрували великі можливості щодо гнучкої пакетної передачі інформації на значні відстані. Поява мереж IP та ATM призвело до розширення функціональності (мультимедійності) пакетних мереж, створення глобальних пакетних мереж та підвищення конкуренції з ТМЗК. Однак подальший розвиток та практична реалізація пакетних мереж надали прерогативу IP-технологіям над ATM [7-10]. При цьому по мірі свого розвитку від технологій локальних комп'ютерних мереж до глобальних все більше поширення набуває Ethernet, особливо його останні Гігабітні модифікації.

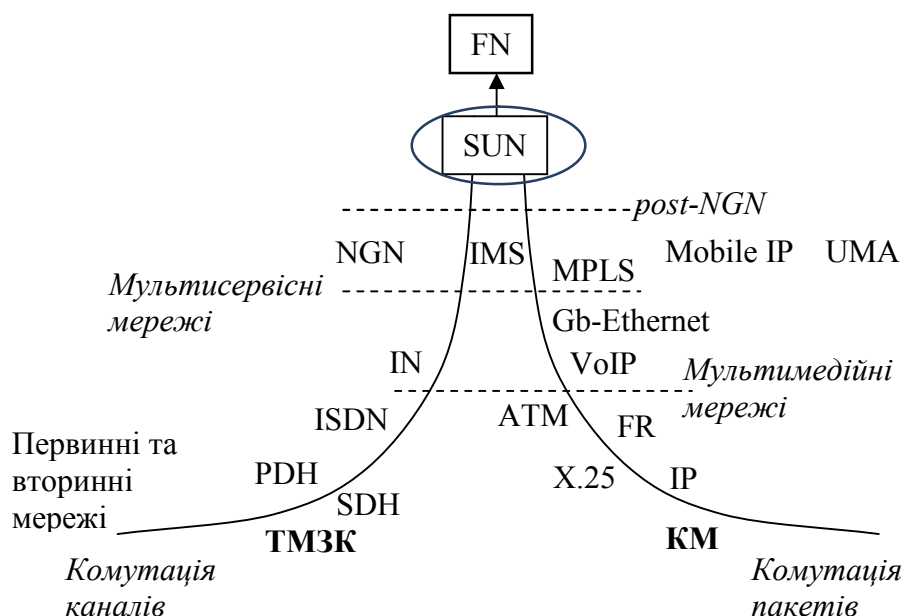


Рисунок 2 – Еволюційне дерево злиття концепцій та технологій транспортних ТС (позначення відповідають рис. 1; КМ – комп'ютерні мережі передачі даних; UMA – Unlicensed Mobile Access)

Переломною точкою еволюції ТС стала часова точка (приблизно 2000...2002 рр.), коли світовий пакетний трафік перевищив голосовий. Стало очевидно, що подальший розвиток традиційних ТС з комутацією каналів потребує принципового оновлення, щоб протистояти технологіям КМ. Такою спробою і стала концепція універсальної мережі NGN, яка повинна була створити керування різними мультисервісними послугами не залежно від технологій передачі. Її поява стала значним досягненням щодо переходу принципів класичної телефонії до пакетної основи, але NGN зберегла принципи масштабованості ТМЗК і не змогла стати єдиною концепцією для розвитку всіх телекомунікацій [11...12].

Серйозною термінологічною проблемою, пов'язаною з NGN, є підміна стандартизованого поняття NGN. Окремі фірми та організації, намагаючись прикритися цим модним словом, пропонують послуги та механізми ISDN або Ethernet по традиційних TDM-мережах, аргументуючи це тим, що ця служба дозволяє передавати мовлення і дані.

Крім того, до основних проблем, які гальмуватимуть впровадження NGN-мереж на вітчизняному ринку, слід віднести недостатню зрілість послуг, особливо бізнес-послуг; повільне нарощування пропускної здатності транспортної пакетної мережі NGN; забезпечення сумісності мережних компонентів різних виробників у комплексних рішеннях; нестача фахівців високої кваліфікації в основних компаній-операторів. Слід також відзначити, що створення якісної потужної інфраструктури для NGN-мережі потребує в 1,3 рази більше засобів, ніж купівля самої телефонної станції.

Проте ключова організаційна проблема щодо NGN полягає у відсутності проблемно-орієнтованої нормативно-правової бази, що є одним з основних факторів, які стримують упровадження NGN-рішень в Україні. Проблеми регулювання ринку NGN стосуються аспектів ліцензування операторської діяльності, побудови мереж, приєднання до інших мереж, нумерації тощо.

Тобто, основна технологічна проблема NGN — це складність реалізації системи експлуатаційного керування при конвергенції різних технологій в рамках однієї мережі. За підвищення ефективності й гнучкості використання мережних ресурсів у результаті міграції існуючих мереж до NGN оператори «розплачуються» неймовірним ускладненням механізмів, для адекватної підтримки яких потрібні найсучасніші інформаційні технології. Наприклад, сьогодні умова доступності організується: у телефонії софтверно, у передачі даних — сервером, хоча вже існують рішення для спільного надання цих послуг.

ТС на основі технологій КМ продовжили свій незалежний розвиток, базуючись на потужній зв'язці IP/Ethernet/MPLS, а мобільні системи стільникового зв'язку у своїй інтеграції до IP-мереж створили низка самостійних рішень, зокрема, IMS, UMA, Mobile IP.

Найбільшого поширення набула концепція мультимедійної IP-орієнтованої підсистеми зв'язку IMS (IP Multimedia Subsystem), яка описує нову універсальну мережну архітектуру, основним елементом якої є пакетна транспортна мережа, що підтримує всі технології доступу і забезпечує реалізацію значної кількості інфокомунікаційних послуг. Її авторство належить міжнародному співтовариству Third Generation Partnership Project (3GPP), що об'єднали European Telecommunications Standardization Institute (ETSI) і кілька національних організацій стандартизації.

IMS спочатку розроблялася стосовно побудови мобільних мереж третього покоління на базі протоколу IP. Згодом концепція була прийнята комітетом ETSI-TISPAN, зусилля якого були спрямовані на специфікацію протоколів та інтерфейсів, необхідних для підтримки і реалізації широкого спектра послуг у стаціонарних мережах з використанням стека протоколів IP [13].

На даний час архітектура IMS розглядається багатьма операторами і сервіс-провайдерами, а також постачальниками обладнання як можливе рішення для побудови мереж наступного покоління і як основа конвергенції мобільних і стаціонарних мереж на платформі IP.

Причину виникнення концепції IMS саме у середовищі розроблювачів стандартів для мобільних мереж можна пояснити таким чином. Як відомо, в останні роки оператори стаціонарних мереж активно підтримують перехід від традиційних телефонних мереж до NGN, пов'язуючи з ними певні надії на скорочення операційних витрат і капітальних вкладень, а також на розвиток нових послуг, очікуючи, як наслідок, істотного підвищення доходів.

Природно, ідея побудови мереж NGN виявилася привабливою і для мобільних операторів, які в останні роки зіткнулися з різким падінням доходів, що пов'язано, у тому числі, і з перерегулюванням ринку, збільшенням конкуренції, тарифними війнами, високим відтоком абонентів тощо.

Проте слід визнати, що основна технологічна ідея мереж NGN – поділ транспортних процесів і процесів керування викликами і сеансами на базі елементів платформи Softswitch – не була підтримана своєчасною розробкою відповідного набору стандартів. Це призвело до того, що основні мережні елементи NGN, що поставляються різними виробниками, найчастіше виявляються несумісними між собою.

У мережах мобільних операторів, де одним із основних джерел доходів є роумінг, така несумісність виявляється куди більш значним недоліком, ніж у стаціонарних мережах. Саме це й визначило активність міжнародних організацій (насамперед ETSI і 3GPP), які почали розробку нових принципів побудови і стандартів мобільних мереж 3G, ґрунтуючись на багаторівневій архітектурі NGN.

Власне кажучи, концепція IMS виникла в результаті еволюції мереж UMTS, коли область керування мультимедійними викликами і сеансами на базі протоколу SIP додали до архітектури мереж 3G. Серед основних властивостей архітектури IMS можна виділити такі [14, 15]:

- багаторівневість – розділяє рівні транспорту, керування й застосувань;
- незалежність від середовища доступу – дає змогу операторам і сервіс-провайдерам конвертувати фіксовані та мобільні мережі;
- підтримка мультимедійного персонального обміну інформацією в реальному часі (голос, відео-телефонія) і аналогічного обміну інформацією між людьми і комп'ютерами;
- повна інтеграція мультимедійних застосувань реального і нереального часу (наприклад потокові застосування і чати);
- можливість взаємодії різних видів послуг;
- можливість підтримки кількох служб в одному сеансі або організації кількох одночасних синхронізованих сеансів.

Архітектури Softswitch і IMS мають рівневий розподіл, причому границі рівнів проходять на тих самих місцях. Для архітектури Softswitch зображені насамперед пристрої мережі, а архітектура IMS визначена на рівні функцій. Ідентичні також ідея надання всіх послуг на базі IP-мережі і поділ функцій управління викликом і комутації. По суті, до вже відомих функцій Softswitch додаються функції шлюзу OSA і сервер абонентських даних.

Оцінивши списки функцій в обох архітектурах, можна зазначити, що склад функцій практично не відрізняється. Можна було б припустити, що обидві архітектури майже тотожні. Це вірно, але тільки частково: вони ідентичні з погляду на архітектуру. Якщо ж розібрати зміст кожної з функцій, то виявляються значні розходження у системах Softswitch і IMS. Наприклад, з опису функції CSCF вже видно відмінність її від аналогічних функцій в Softswitch. До того ж, якщо в архітектурі Softswitch функції мають досить умовний розподіл і опис, то в документах IMS дається жорсткий опис функцій і процедур їх взаємодії, а також визначено і стандартизовано інтерфейси між функціями системи.

Розходження починаються з основної концепції систем. Softswitch – це насамперед устаткування конвергентних мереж. Функція керування шлюзами (і відповідно протоколи MGCP/MEGACO) є в ньому домінуючою (протокол SIP для взаємодії двох Softswitch/ MGC).

IMS проектувалася в рамках мережі 3G, що повністю базується на IP. Основним її протоколом є SIP, що дає можливість встановлювати однорангові сесії між абонентами і використовувати IMS лише як систему, що надає сервісні функції з безпеки, авторизації, доступу до послуг тощо. Функція керування шлюзами і сам медіашлюз тут є лише засобом для зв'язку абонентів 3G з абонентами фіксованих мереж, причому маються на увазі лише ТМЗК.

До особливостей IMS належить також орієнтованість на протокол IPv6: багато фахівців вважають, що популярність IMS послужить поштовхом до впровадження шостої версії протоколу IP. Але поки що це становить деяку проблему: мережі UMTS підтримують як IPv4, так і IPv6, у той час як IMS, звичайно, тільки IPv6. Тому на вході в IMS-мережі необхідна наявність шлюзів, що перетворюють формат заголовків і адресну інформацію. Ця проблема властива не тільки IMS, а й усім мережам IPv6.

Продовжуючи тему проблем IMS, слід сказати про протокол SIP. Справа в тому, що SIP розроблений і специфікований комітетом IETF, але для використання в IMS він був частково дороблений і змінений. У результаті може виникнути ситуація, коли при отриманні запитів SIP або відправленні їх у зовнішні мережі підфункція S-CSCF може виявити відсутність підтримки відповідних розширень протоколу SIP і/або відмовити у встановленні з'єднання, а також обробити його некоректно.

Однією із сильних сторін підходу NGN на даний час є його поширеність: у світі існує безліч мереж, що пішли цим шляхом розвитку, і вже накопичений великий досвід щодо впровадження SoftSwitch-архітектур. Значна кількість підтримуваних технологій дає можливість операторові підібрати обладнання, що найбільш відповідає його вимогам і дозволяє оптимальним чином взаємодіяти з уже наявними мережними ресурсами. SoftSwitch-рішення відносно легко масштабувати, починаючи з найпростішої архітектури, що обслуговує корпо-

ративний сектор, і закінчуючи великомасштабними проектами міжрегіонального оператора. Таким чином, оператор може мінімізувати первісні вкладення в мережу NGN. Ця ж особливість дає можливість операторові, що створює великомасштабний проект, використовувати нові мережні ресурси (і, отже, діставати прибуток) відразу після їх установки. Якщо узагальнювати перелічені переваги, то їх можна охарактеризувати одним словом – “гнучкість”, маючи на увазі під ним адаптацію до будь-яких запитів оператора.

Однак на рішення NGN можна поглянути і з іншого боку. Різноманіття обладнання, яке є в даному сегменті ринку, породжує проблему його сумісності. Численні центри із забезпечення системної взаємодії допомагають вирішити її лише частково, оскільки найчастіше тести не встигають за відновленням версій програмного забезпечення і не можуть охопити всі можливі комбінації пристроїв, що працюють у мережах операторів. Це також породжує більш широку проблему взаємодії операторів один з одним і зводить нанівець передбачені багатьма технологіями можливості із забезпечення мобільності користувача і послуг. Деякі виробники устаткування надають фірмові системи керування мережею, які не завжди коректно і повноцінно працюють з обладнанням сторонніх постачальників при його інтеграції в мережу оператора, оскільки є відмінності не тільки в реалізації, а й у функціональності багатьох систем.

В IMS частково згладжуються проблеми сумісності обладнання, оскільки взаємодія функціональних модулів регулюється стандартами. Новий підхід до надання послуг виявився надзвичайно вдалим і забезпечив роумінг послуг, що має принести додатковий прибуток операторові. Використання в провідних мережах NGN і мобільних мережах 3G однакових систем IMS дозволяє бачити в перспективі можливість конвергенції фіксованих і мобільних мереж – ідеї, що набирає популярності в усьому світі, підтвердженням чому є постійне збільшення учасників FMCA (Fixed-Mobile Convergence Alliance) – міжнародного об'єднання найкрупніших операторів зв'язку.

Інформаційне поле навколо людини різноманітне і вимагає каналів обміну з різною швидкістю і різною продуктивністю, з чого випливає, що їх об'єднання нераціональне. МСЕ, ETSI прогнозують наступний розвиток систем телекомунікацій і мереж зв'язку (нерозривно пов'язаний з появою нових інформаційних послуг). Мережі NGN залишаться лише невеликим компонентом всепроникних сенсорних мереж USN (Ubiquitous Sensor Networks). Така мережа включає у себе: різні автоматичні системи керування, логістику, транспортні авто-, авіа-, морські та залізничні мережі, контроль даних довкілля, даних про стан і місцезнаходження кожної людини, контроль за популяціями тварин, контроль за рослинами в природі і в сільському господарстві, контроль і керування різними механізмами, окремо військовими. Повний перелік ще не склався, ніколи не закінчиться його формування [12, 16].

Розвиток інтелектуальних всепроникних мереж. Починаючи з 2011 р. МСЕ почав розглядати можливість заміни парадигми NGN зовсім іншою концепцією, яка передбачає розвиток інтелектуальних всепроникних мереж SUN (Smart Ubiquitous Networks). Всі рішення з керування такими мережами реалізуються на програмному рівні за допомогою спеціальних застосувань, які можна знайти на спеціалізованих сайтах і їх число, як очікується, буде тільки збільшуватися. Ця концепція включає в себе і ідею NGN, як одну зі складових частин єдиної системи, модернізованої до рівня підтримки міжмашинних комунікацій МОС (Machine Oriented Communications). Насувається новий період розвитку телекомунікацій - зв'язок між машинами, для машин. Головна відмінність цього періоду в тисячократному збільшенні числа прикінцевих пристроїв. Збільшення обсягу інформації, що передається, точно невідомо, але можна припустити, що воно лише удесятериться.

Структура концептуальної моделі SUN наведена на рис. 3.

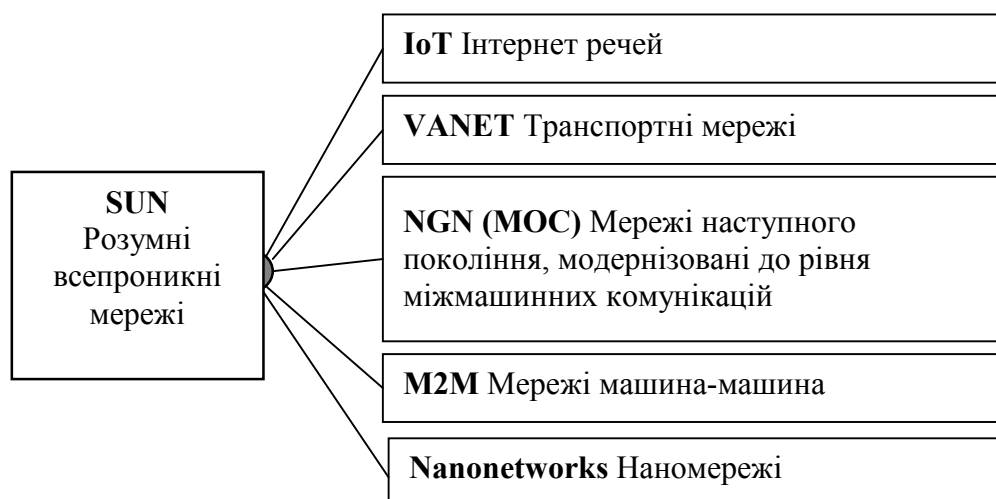


Рисунок 3 – Структура концептуальної моделі SUN

До складу концептуальної моделі SUN входять Інтернет речі IoT, мережі наступного покоління NGN, модернізовані до рівня підтримки міжмашинних комунікацій MOC (Machine Oriented Communications), наномережі, транспортні мережі VANET (Vehicular ad hoc Network), мережі машина-машина M2M (Machine-to-Machine).

Сам перехід до SUN-мереж потребує наявності:

- філософії контролю віддалених об'єктів online. Підвищення інтерактивності;
- створення інформаційно-телекомунікаційного середовища, в якому користувач виступає споживачем властивостей середовища, а не трафіка (розумне середовище);
- зміни підходів до керування мережею, послугою, ресурсами, інфокомунікаційним середовищем;
- подальшу активна комп'ютеризація телекомунікаційних пристроїв;
- зміну адресації – перехід до IPv6.

При переході до SUN-мереж змінюється структура трафіка:

- знижується кількість користувачів фіксованої телефонії, різке зростання мобільних користувачів;
- з'являються нові види трафіка, при цьому близько 70 % трафіка припадає на відео, 10–11% на телефонію, 11–12% на веб-трафік, близько 6 % - трафік M2M;
- збільшується кількість трафіка, орієнтованого на створення інфокомунікаційного середовища;
- користувацькі застосування все більш орієнтовані на використання технологій віртуалізації, у тому числі – хмарні.

Мережі SUN не є кінцевою метою сучасного розвитку ТС. Вони є лише проміжною ланкою між концепціями NGN і FN. Мережі FN повинні забезпечити керування середовищем проживання людей, створення єдиного інформаційно-телекомунікаційного простору, взаємопроникнення ідей і технологій автоматизації та телекомунікацій.

Передбачити архітектуру мереж майбутнього FN і навіть загальні принципи побудови важко, але все ж аналіз тематики деяких сучасних теоретичних досліджень в області складних систем і різноманітних мережних структур дозволяє зробити деякі припущення про можливий вигляд і навіть деякі особливості мереж майбутнього. Є підстави вважати, що це будуть багатовимірні мережі. До питань теорії побудови такого роду мереж у різних областях природознавства і, в тому числі, в галузі телекомунікацій в останні роки є значний інтерес.

Відомо, що багатовимірність, розглянута як конструктивний принцип, є способом об'єднання розрізнених сутностей в єдине ціле і, відповідно, багатовимірні мережі майбутнього не обов'язково повинні мати чітко виражений поділ на мережі транспорту, доступу і згадані мережі підтримки та сервісу. Тому в мережах FN, тобто в інформаційно-телекомунікаційних мережах майбутнього, стане можливим за рахунок використання багатовимірної структури мережі і багатоядерних обчислювальних засобів в її вузлах забезпечувати обмін інформацією та надання різноманітних послуг споживачам за спрощеною, на перший погляд, схемою.

Висновок

Надано результати аналізу еволюційного розвитку концепцій транспортних телекомунікаційних систем у світлі нових положень і поглядів щодо становлення інфраструктури сучасного інформаційного суспільства. Зазначено, що основу сучасних та перспективних ТС складають концепції і підходи, що зорієнтовані на технології комутації пакетів та розподілених всепроникних самоорганізувальних багатовимірних архітектур. Показано, що основною рушійною силою еволюції ТС є прагнення до збільшення інформаційної ємності систем та їх всепроникності. Результатом еволюційного процесу стала концепція мереж майбутнього, яка дозволяє сформувати архітектуру великомасштабних загальнодоступних мереж інформаційного суспільства. Формування такої архітектури на даний час проходить у межах запровадження концепції SUN.

Процес глобалізації у світі продовжиться з паралельним збільшенням потужності обробки даних глобальною інформаційною інфраструктурою. Для побудови мережі майбутнього будуть використані переважно технології, що базуються на принципах самоорганізації, інтелектуалізації, всепроникності та підтримки швидкостей передаваних даних 1 Тбіт/с і більше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Targowski A. Global Civilization in the 21st Century. – London: Nova Science Publishers, 2014. – 223 p.
2. Ільченко М.Ю. Сучасні телекомунікаційні системи / М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук. – К.: Наукова думка, 2008. – 328 с.
3. Бунін С.Г. Радіомережі з пакетною комутацією / С.Г. Бунін, М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук // Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні (Відділення інформатики НАН України). – К.: Наукова думка, 2010. – С. 769–777. (1008 с.)
4. Беркман Л. Н. Інтелектуальна мережа / Л. Н. Беркман, В.Г. Бондаренко, В.К. Стеклов // Зв'язок. – 1996. – № 2. – С. 24–26.
5. Гольдштейн Б.С. Интеллектуальные сети / Б.С. Гольдштейн, И.М. Ехриель, Р.Д. Рерле. – М.: Россия и связь. – 2005. – 489 с.
6. Бакланов И.Г. ISDN и Frame Relay. Технология и практика измерений / И.Г. Бакланов. – М.: Эко-Трендз, 1999. – 187 с.
7. Смирнова Е.В. Технологии современных сетей Ethernet. Методы коммутации и управления потоками данных / Е.В. Смирнова, П.В. Козик. – М.: BHV, 2012. – 340 с.
8. Дикер-Пилдуш Г. Сети АТМ корпорации Cisco / Г. Дикер-Пилдуш. – М.: Вильямс, 2004. – 880 с.
9. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
10. Паркер Т. TCP/IP / Паркер Т., Сиян К. . – СПб.: ПИТЕР, 2004. – 859 с.
11. Гольдштейн Б. С. Сети связи / Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов, Г.Г. Яновский. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010. – 400 с.
12. Гольдштейн Б.С. Сети связи пост-NGN / Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. –160 с.
13. Ільченко М.Ю. Конвергенція фіксованих і мобільних інформаційно-телекомунікаційних платформ та мереж / М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2013. - № 5. – С. 7-13.
14. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / [Х. Кааранен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен и др.] – М.: Техносфера, 2007. – 464 с.

15. Гулевич Д.С. Сети следующего поколения / Д.С. Гулевич. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 183 с.

16. Kravchuk S.O., Narytnyc T.N. Terahertz Telecommunication Systems / S.O. Kravchuk, T.N. Narytnyc. – Zhitomir: Evgenyuk, 2015. – 208 p.

REFERENCES

1. Targowski A. Global Civilization in the 21st Century. – London: Nova Science Publishers, 2014. – 223 p.
2. Ilchenko M.Yu., Kravchuk S.O. Suchasni telekomunikaciyni sistemi. – K.: Naukova dumka, 2008. – 328 p.
3. Bunin S.G., Ilchenko M.Yu., Kravchuk S.O. Radiomerezhy z paketnoyu komutaziyeyu // Stan ta perspektivi rozvitku information in Ukraine. – K.: Naukova dumka, 2010. – P. 769–777. (1008 p.)
4. Berkman L.N., Bondarenko V.G., Steklov V.K. Intelctualna mereza // Communication. – 1996. – № 2. – P. 24–26.
5. Goldshteyn B.S., Ehril I.M., Rerle R.D. Intelctualni seti. – M.: Rossiya I svyaz. – 2005. – 489 p.
6. Baklanov I.G. ISDN and Frame Relay. – M.: Eco-Trendth, 1999. – 187 p.
7. Smirnova E.V., Kozik P.V. Technology sovremennih setey Ethernet. – M.: BHV, 2012. – 340 p.
8. Diker-Pildush G. Sety ATM corporation Cisco – M.: Vilyams, 2004. – 880 p.
9. Kucheryaviy E.A. Upravleniye traficom I kachestvo obsluzvaniya v sety Internet. – SPb.: Nauka I technica, 2004. – 336 p.
10. Parker T., Siyan K. TCP/IP. – SPb.: PITER, 2004. – 859 p.
11. Goldshteyn B.S., Sokolov N. A., Yunovsky G.G. Sety svyazy. – SPb.: BHV, 2010. – 400 p.
12. Goldshteyn B.S., Kucheryaviy E.A. Sety svyazy post-NGN. – SPb.: BHV, 2014. –160 p.
13. Ilchenko M.Yu., Kravchuk S.O. Convergence phicovanih and mobile information-telecommunication platform and networks // Naukovi visty NTUU “KPI”. – 2013. - № 5. – P. 7-13.
14. UMTS-Networks. Architecture, mobility, service / H. Kaaranen, A. Ahtiaynen, L. Laitinen. – M.: Technospere, 2007. – 464 p.
15. Gulevich D.S. Sety sleduyuchego pokoleniya. – M.: BINOM, 2007. – 183 p.
16. Kravchuk S.O., Narytnyc T.N. Terahertz Telecommunication Systems. – Zhitomir: Evgenyuk, 2015. – 208 p.