

# ЕЛЕКТРОНІКА, РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.391

М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук

## КОНВЕРГЕНЦІЯ ФІКСОВАНИХ І МОБІЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ ТА МЕРЕЖ

The purpose of this work is to develop the concept of convergence of fixed and mobile information and communications platforms and networks, which provides users with a single uninterrupted service regardless of location or change of access technology allows total use of resources of mobile and fixed networks. With the implementation of this concept raises a lot competing methods and implementation technologies that need its scientific justification. The study produced the following: the driving force in the convergence of information and telecommunication systems is the development of new and improvement of existing services, convergence of fixed and mobile information and communications platforms and networks is the use of common technology resources to the mobile and fixed-line networks to provide the user with a single uninterrupted service regardless of its location, as well as for the organization of a single service and single billing for services.

### Вступ

Телекомунікаційні мережі є досить високоорганізованою частиною інфраструктури сучасного суспільства. При цьому, маючи високі показники надійності, стабільності, пропускної здатності, швидкості передачі, безпеки, телекомунікаційні мережі повинні гарантувати достовірну високоякісну передачу необхідної інформації в будь-який час доби між будь-якими географічними точками. У процесі своєї еволюції будь-яка технічна система досягає такого етапу життєвого циклу, коли резерви її подальшого розвитку обумовлюються ступенем і якістю використання досягнень у сфері інформаційних технологій.

Існуючі окремо протягом багатьох років телекомунікаційні й інформаційні технології починають об'єднуватися в єдиний світ інфокомунікацій (інформаційно-телекомунікаційних систем), в основі формування якого лежать процеси конвергенції, тобто взаємного проникнення і злиття, мереж телекомунікацій, обчислювальної техніки і різних інформаційних засобів. Розвиток мереж, що базуються на технології ІР, вибухове зростання мереж стільникового мобільного зв'язку, широке розповсюдження мультимедійних комп'ютерних технологій, з одного боку, а з іншого – бажання користувачів отримати доступ до великого набору послуг, що не залежать від типу мережі, визначають прогрес інфокомунікацій [1, 2], але разом із цим породжують і ряд проблем системного вибору оптимальних способів впровадження процесів конвергенції.

Рушійною силою конвергенції в інфокомунікаціях є насамперед розвиток нових і удосконалення існуючих послуг. Конвергенція мо-

тивується бажанням мати однорідну інфраструктуру для тих або інших послуг, навіть коли ці послуги й підтримуються різними технічними рішеннями. Ці рішення можуть бути засновані на телекомунікаційних або інформаційних технологіях. Важливо відзначити, що конвергенція різних послуг може призвести до збільшення можливостей однієї окремої послуги, що й відбувається, наприклад, у випадку з мультимедійними застосуваннями. Безсумнівно, конвергенція послуг завжди буде припускати певний рівень конвергенції в технічних системах, що забезпечують ці послуги.

Технологічна конвергенція визначається як тенденція різних технологічних систем розвиватися в напрямі розв'язання спільних задач. Конвергенція може відноситися до ситуації, коли раніше роздільні технології (наприклад, передача голосу по телефону, даних і відео) тепер розділяють ресурси і взаємодіють одна з одною, створюючи новий ефект на синергетичній основі [3–5]. Конвергенція, в остаточному підсумку, впливає на появу нової парадигми, обумовленої можливістю доступу до інформації “у будь-який час, у будь-якому місці, з будь-якого пристрою”. При цьому постає проблема застосування конвергенційного підходу для розвитку безлічі нових послуг, таких як міжперсональний зв'язок, доступ людини до змісту і змісту до людини.

### Постановка задачі

Метою роботи є представлення концепції конвергенції фіксованих і мобільних інформаційно-телекомунікаційних платформ і мереж, яка дає можливість спільного використання ресурсів мобільної та фіксованої мереж зв'язку

для надання користувачам єдиного безперервного сервісу поза залежністю від їх місця розташування та зміни системи доступу.

Складність реалізації цієї концепції породжує цілу низку конкуруючих підходів, методів і технологій, які потребують свого наукового обґрунтування.

### Концепція FMC

На сьогодні в інфокомунікаціях мають місце низка напрямів, де конвергенція упевнено заявила про себе. Один із таких найважливіших напрямів розвитку конвергенції належить до категорії, обумовленої терміном "конвергенція фіксованих і мобільних платформ і мереж" FMC (Fixed/Mobile Convergence). Тут мова йде про конвергенцію послуг, яка означає, що абоненти можуть отримати послуги при будь-якому доступі до мережі, фіксованому або мобільному. Тобто конвергенція інтегрувала фіксовані й рухомі (мобільні) види телекомунікацій, забезпечивши користувачам (абонентам) широкосмуговий безпроводовий доступ до будь-яких видів інфокомунікаційних послуг [6].

FMC слугує технологією спільного використання ресурсів мобільної і фіксованої мереж зв'язку для надання користувачу єдиного безперервного сервісу поза залежністю від його місця розташування, а також для організації єдиного обслуговування і єдиної тарифікації за послуги. Конвергенція магістралі (транспортної мережі) та мереж доступу є найцікавішим етапом злиття фіксованих і мобільних платформ.

Загалом конвергенція фіксованого й мобільного зв'язку проявляється в трьох напрямках:

- конвергенція мереж – одна мережа забезпечує множини сервісів на базі єдиного ядра, що підтримує передачу мобільного і фіксованого трафіку;

- конвергенція сервісів – один сервіс надається через множини мереж доступу і терміналів (наприклад, сервіс миттєвого обміну повідомленнями через мобільний телефон і комп'ютер);

- конвергенція пристроїв – один пристрій забезпечує доступ до різних мереж і до різних сервісів (наприклад, гібридний мобільний телефон, за допомогою якого можливо отримувати дзвінки від мереж мобільного та фіксованого зв'язку).

Метою безпроводової "конвергенції" є створення прозорих комунікацій у неоднорідних безпроводових мережах, незважаючи на різні

види радіотехнологій доступу, що використані в них. Конвергенція фіксованих і мобільних платформ потребує вирішення таких фундаментальних науково-технічних аспектів [7]:

- наявність мережного оточення, що базується на багатьох мережних технологіях, багатосервісної роботи систем, багатьох сервіс-провайдерів, організації міжмережної взаємодії на фізичному (різні види радіодоступу), каналному і мережному рівнях (різні види протоколів);

- використання одного мобільного терміналу для різних пересічних мереж та інтерфейсів радіодоступу, найкраще – без обмеження площі радіопокриття, рівня мобільності й умов поширення радіосигналу при дотриманні заданого рівня якості обслуговування;

- реалізація конвергентності через адаптацію до єдиного протоколу мережного рівня IP (Internet Protocol) для підтримки широкого спектра послуг: голос, дані і відео.

- механізми можливої взаємодії між мобільними і фіксованими безпроводовими мережами, які використовують різні інтерфейси доступу. Такі механізми включають ініціативний користувальницький розподіл IUA (Initial User Assignment), що базується на оптимальній мережній селекції, і прозору міжсистемну передачу обслуговування ISH (Inter-System Handover);

- конвергенція на рівні виконуваних заявок користувачів, що мають доступ до Інтернету через безпроводові мережі класів WAN (Wide Area Network), PAN (Personal Area Network), LAN (Local Area Network) і MAN (Metropolitan Area Network). Хід заявок може бути об'єднаний в один білінговий рахунок, якщо це потрібно;

- визначення критеріїв і параметрів системних рівнів, що дадуть змогу найкраще виконати процедури передачі обслуговування між неоднорідними безпроводовими мережами або передачі обслуговування в межах мереж, які використовують однакові технології та протоколи;

- використання міжнародних узгоджувальних технічних стандартів і рекомендацій для проведення конвергенції.

Безпроводова конвергенція являє собою багатовимірну концепцію, що об'єднує інформаційно-телекомунікаційні інфраструктури, мережі, застосування, користувацькі інтерфейси і менеджмент, призначені для підтримки голосу, даних і мультимедіа поверх безпроводових ме-

реж на базі IP [8]. Загальна структура FMC являє собою багаторівневу структуру, яку можна зобразити у вигляді піраміди (рисунок).



Багаторівневе представлення концепції конвергенції

Основою такої піраміди слугують фізичні мережні компоненти як фіксованих, так і мобільних мереж (базові станції, точки доступу, контролери базових станцій, багатосистемні мобільні термінали користувача). Наступний рівень складається з самих мереж у вигляді набору компонентів з добре визначеними топологічними рівнями і зонами покриття, такими як LAN, PAN, MAN і WWAN (Wireless Wide Area Network). Наступний рівень являє собою набір застосувань, що забезпечують підтримку різних сервісів, таких як голос, дані та мультимедіа. Доступ до всіх наявних систем потребує наявності користувацького інтерфейсу, де центральним обладнанням FMC виступає мобільний термінал (телефон, смартфон). Мережа повної конвергенції та сервісів буде керуватися з метою забезпечення очікуваного значення якості обслуговування QoS, що обумовлений в угоді про рівень обслуговування SLA (Service Level Agreements).

Таким чином, для реалізації концепції конвергенції з урахуванням представленої пірамідальної структури необхідно розв'язати три основні задачі: конвергенція мереж; конвергенція послуг (сервісів); конвергенція застосувань.

### Задачі конвергенції

**Мережна конвергенція.** На рівні мережної конвергенції забезпечується зниження експлуатаційних витрат за рахунок конвергенції різних мереж фіксованих і мобільних телекомунікацій в єдину магістральну мережу IP/MPLS

(IP/MultiProtocol Label Switching), що підтримує широкий спектр методів доступу: традиційної телефонії, цифрової абонентської лінії DSL (Digital Subscriber Line), виділених каналів, мультисервісних мереж Ethernet масштабу міста Metro Ethernet, безпроводових мереж (WLAN) і мереж широкосмугового радіодоступу в мережах операторів мобільного зв'язку [9]. Конвергенція магістралі й мереж доступу є найбільш очевидним і проробленим етапом процесу злиття фіксованих і мобільних платформ. Ця концепція охоплює і конвергенцію магістралей фіксованих і мобільних мереж, у т.ч. для передачі значних обсягів голосового трафіку по єдиній магістралі IP, якою передаються широкосмугові дані, послуги GPRS (General Packet Radio Service) і UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), – так зване переведення транзитного трафіку на мережу IP. Для операторів мобільного зв'язку конвергентні мережі зазвичай починаються переведенням трафіку SMS (Short Message Service) і MMS (Multimedia Messaging Service) із традиційних платформ і мережі сигналізації на мережу IP – це прискорює конвергенцію протоколів сигналізації з IP. При передачі трафіку мережі радіодоступу 3G через оптимізовану мережу доступу IP мережна конвергенція забезпечує глибину проникнення аж до мережі доступу оператора мобільного зв'язку [10].

**Конвергенція послуг.** На рівні конвергенції послуг виконуються функції керування сесіями. Саме цей рівень уможливорює розгортання високоприбуткових послуг нового покоління на основі IP, таких як мобільний доступ до даних, здійснення відеоконференцій, передача голосу і миттєвий обмін повідомленнями. Поінформованість про кожну сесію і контроль над ними забезпечує доступність послуги на будь-якому абонентському терміналі й через будь-який метод доступу, даючи можливість переключатися між різними типами доступу без негативного впливу на активні сесії. Крім того, саме рівень конвергенції послуг гарантує, що будь-якій послуді IP виділяються відповідні мережні ресурси, а будь-яка послуга належним чином тарифікується.

Один із основних показників функціональності конвергентної платформи – забезпечення безперервності послуги при перетинанні межі між фіксованою і мобільною мережами. Концепція безперервності послуги досить специфічна для кожної з областей – передачі голосу, передачі даних і передачі мультимедійного

трафіку. Однак такі технології, як конвергентні голосові пристрої (телефони, смартфони, ноутбуки тощо), архітектури конвергенції голосових сесій (наприклад, UMA (Unlicensed Mobile Access) або IMS (IP Multimedia Subsystem)) і протоколи конвергенції сесій даних (зокрема, Mobile IP), є сполучною ланкою між фіксованими і мобільними платформами. Іншим ключовим елементом є поінформованість платформи, через яку доставляється послуга, про передані сесії і її здатність виконувати специфічні дії з застосування політик поза залежністю від місця розташування учасників сесії і їх методу доступу, чи то проводований доступ по xDSL, чи мобільні дані в UMTS. Конвергенція послуг – це той основний рівень, що в остаточному підсумку забезпечує споживачам зручність користування послугами, виконуючи невідчутну для абонентів передачу сесій даних і голосу між наземним і безпроводовими широкосмуговими доменами [11]. При цьому мережа динамічно адаптує свої політики з виділення ресурсів і забезпечення якості обслуговування з огляду на факт мобільності терміналу й те, в якому середовищі передачі термінал перебуває в дійсний момент.

*Конвергенція застосувань.* Рівень конвергенції застосувань включає власне послуги, з якими оператори виходять на ринок і які вони збираються представляти як кінцевий продукт. Зокрема, безперервні послуги передачі даних, надавані через будь-яку мережу доступу, голосові послуги для підприємств із дворезимними терміналами (наприклад, Wi-Fi/GSM) тощо. Конвергенція застосувань – це процес доставки застосувань через множину різних середовищ передачі у форматі, що враховує різницю швидкостей доступу, які ці середовища забезпечують. Домен конвергентних застосувань підтримується й забезпечується в основному функціональністю протоколу встановлення сеансу SIP (Session Initiation Protocol), що враховує мобільність абонентів і динамічність їх стану на відповідних серверах. Як один із прикладів конвергентних застосувань можна назвати одночасну доставку відеопотоку на термінал 3G і персональний комп'ютер через мережу поширення контенту з одного сервісного центру. Більш узагальнено, конвергенція застосувань – це надання споживачам послуг голосу, даних і відео через всі доступні типи мереж інноваційними методами радіотехнологій (Wi-Fi, WiMax, LTE (Long Term Evolution)) та інформаційних технологій.

Зокрема, останнім значний вплив на розвиток інфокомунікацій, і конвергенції особливо, мають так звані хмарні інформаційні технології, або “хмарні обчислення” (cloud computing), основною парадигмою яких є можливість розподіленої і віддаленої обробки та зберігання даних, що є подальшим розвитком ідей Grid-систем. “Хмара” – це не що інше, як великий дата-центр (або мережа взаємозалежних серверів). Використання хмарних технологій дає змогу створювати конвергентний мультимедійний контент, що слугує базою для об'єднання всіх постачальників контенту, які переводять свою інформацію в цифровий вигляд і передають її по наявних каналах через універсальні конвергуючі пристрої.

Треба зауважити, що часте використання “хмарних обчислень” є більш дешевим і зручним способом вирішення завдання обробки та зберігання даних, ніж підтримка власних Grid-систем і вирішення завдання з їх допомогою. Проте рішення для багатьох складних завдань уже існують із застосуванням Grid computing, і було б зручно використовувати ці готові рішення в Cloud-системах. Також було б зручно використовувати Cloud-системи з такими їх перевагами, як швидке динамічне масштабування і додатковий рівень абстракції, для розроблення, налагодження й оптимізації нових Grid-застосувань.

Реалізація кожного з розглянутих рівнів забезпечує значні переваги. Мережна конвергенція створює можливості для економії експлуатаційних витрат і капітальних витрат, конвергенція застосувань – для пропозиції нових пакетів послуг і удосконалювання маркетингу.

### **Проблематика впровадження концепції FMC**

Ідея впровадження FMC повністю базується на пакетних IP-мережах [12]. Через це ті оператори мобільного зв'язку, які зайнялися імплементацією таких рішень, змушені будуть у стислі строки пристосовувати свою інфраструктуру 2G/3G до підтримки IP. Таким чином, виникає необхідність переходу на WiMAX, LTE або ж платформу IMS найближчими роками. Крім того, потребують вирішення нині існуючі характерні проблеми з безпекою і підтримкою мережі. Своєю чергою динамічний ріст попиту на FMC буде спостерігатися тільки після появи на ринку відповідних конвергентних телефонів/терміналів і технологій безпроводової передачі даних. Сьогодні в багатьох випадках

Wi-Fi-сигнал втрачається вже на відстані приблизно 30 м від будинку, і телефон знову переходить на обслуговування в мережу GSM/3G, що підвищує витрати на підтримку користувача. Отже, оператори мобільного зв'язку будуть змушені співпрацювати з їхніми стаціонарними колегами і ще тому, що користувачі мають потребу в усе більш швидкому і дешевому доступі до Інтернету. На сьогодні передача даних, крім традиційних розмов, є однією з найважливіших дій, виконуваних користувачами стільникових телефонів. Співпраця між операторами в такому випадку є неминучою.

Мережна конвергенція на основі технології FMC означає побудову єдиної інфраструктури для надання користувачам фіксованих, мобільних і конвергентних сервісів. У мережі FMC користувачам, підключеним як через фіксовані, так і через мобільні системи, стають доступними всі пропоновані сервіси в реальному часі.

Орієнтація на системи FMC, пов'язані з побудовою широкопasmових мереж наступного покоління NGN (Next Generation Network) і впровадженням мультимедійної IP-підсистеми (IMS), зумовлена розумінням виробників, інтеграторів і операторів телекомунікацій того, що майбутнє не за технологіями, а за послугами зв'язку, і що абонентів важливі не спосіб і засоби їх доставки, а однаковий і якісний сервіс, надаваний незалежно від розміщення користувача, типу використовуваної мережі і клієнтського терміналу. Акцент при реалізації системи FMC робиться саме на послуги.

Однією з найбільш очевидних послуг, пропонованих у рамках концепції FMC, є організація віртуальної приватної мережі VPN (Virtual Private Network), у т.ч. територіально розподіленої, в яку можуть бути включені як стаціонарні, так і мобільні телефони, об'єднані загальним планом набору телефонних номерів. У результаті співробітники однієї компанії одержують можливість дзвонити з мобільного телефону в офіс по внутрішніх номерах і використовувати скорочений набір при дзвінках з офісу на стільниковий апарат.

Важливим, але поки не вирішеним, завданням є підтримка в мережі FMC клієнтських терміналів різних типів з різними інтерфейсами – чи то мобільний GSM/GPRS-телефон, чи Wi-Fi, LTE- або UMTS-апарат, чи смартфон, ноутбук. З кожного з таких пристроїв FMC-абонент повинен мати можливість вийти на зв'язок. Нині ж більшість користувацьких тер-

міналів належать до спеціалізованих апаратів, що різко обмежує ідею масштабної конвергенції за концепцією FMC. Хоча деякі виробники комутаційного встаткування виразно націлені на вирішення цього завдання й уже зараз надають можливість конвергентного зв'язку по апаратах кількох виробників. Сучасний “конвергентний” телефон (FMC-термінал) відрізняється від звичайного тим, що розрахований на роботу в кількох режимах. Маючи у своєму розпорядженні такий апарат, користувач може одержувати різні послуги поза залежністю від того, чи перебуває він у зоні покриття мобільної мережі або безпроводової комп'ютерної мережі. Це означає, що єдиний мобільний термінал з одним номером може використовуватися як в будинку, так і поза ним.

Наступна функціональна можливість конвергентної системи – це забезпечення мобільності користувача за умови його ідентифікації на будь-якому терміналі з наданням звичного (для абонента) віртуального середовища VNE (Virtual Home Environment). При цьому образ VNE (меню, інформаційні вікна тощо) повинен автоматично масштабуватися відповідно до розмірів та інших характеристик екрана клієнтського пристрою. Реалізація подібної функції нетривіальна, особливо в глобальному масштабі, з урахуванням різноманітності клієнтських пристроїв та їх великої конструктивної розмаїтості.

Мобільність і технологія надання послуг є ключовими компонентами інфраструктури для конвергентних послуг FMC. Існують три основні технології – Mobile IP, IMS і UMA.

Mobile IP – це відкритий стандарт, визначений Групою із проблем проектування Інтернету (IETF) у документі RFC 2002. Стандарт дає змогу зберегти постійну IP-адресу, не розривати з'єднання, а також забезпечити безперебійну роботу застосувань при роумінгу користувачів між IP-мережами. Технологія Mobile IP масштабується в мережі Інтернет, тому що вона заснована на протоколі IP, і будь-який пристрій з підтримкою IP також підтримує Mobile IP. Mobile IP забезпечує повсюдний зв'язок для користувачів, незалежно від того, чи підключені вони фізично до корпоративної мережі, чи працюють віддалено від будинку. Mobile IP входить як складова частина в стандарти IPv4 й IPv6.

Принцип, на якому будується концепція IMS, полягає в тому, що доставка будь-якої послуги ніяким чином на співвідноситься з

комунікаційною інфраструктурою (за винятком обмежень з пропускної здатності). Втіленням цього принципу є багаторівневий підхід, який використовується при побудові IMS.

UMA – це рішення, що дає змогу одному терміналу працювати як у мережі мобільного зв'язку GSM, так і в IP-мережі фіксованого зв'язку (Wi-Fi або Bluetooth). Коли такий термінал перебуває в зоні покриття звичайної мережі GSM, його робота нічим не відрізняється від роботи будь-якого сучасного мобільного телефону. Але якщо апарат з підтримкою UMA попадає в зону покриття Wi-Fi мережі, наприклад у будинку абонента або на його роботі, то відбувається непомітне для користувача ("безшовне") перемикання телефону для роботи в IP-мережі.

На сьогодні багато операторів зв'язку вибирають для впровадження послуг FMC устаткування UMA, що є більш дешевим і простим порівняно з устаткуванням IMS. У той же час низка операторів оголосили про значні інвестиції в устаткування IMS. Оператори розділилися на прихильників технології IMS і прихильників технології UMA. Перші вважають, що технологія UMA непридатна для широкомасштабного впровадження конвергентних послуг.

Основним недоліком технології UMA називають використання фірмового протоколу взаємодії користувачького встаткування й контролерів UNC (UMA Net-work Controller). Протокол зручний для операторів рухомого зв'язку, однак його складно інтегрувати з корпоративними автоматичними телефонними станціями, що функціонують із використанням SIP. Це є однією із причин того, що низка операторів свої послуги FMC орієнтують насамперед на користувачів звичайного квартирного сектора, а не корпоративного. Інакше кажучи, технологія UMA має обмеження по сфері застосування.

Своєю чергою технологія IMS орієнтована на використання протоколу SIP, що сьогодні підтримується широким переліком користувачького і мережного встаткування. Тому впровадження технології IMS є кращим у довгостроковій перспективі.

Однак прихильники технології UMA вважають, що саме UMA забезпечує більш правиль-

ний сценарій роумінгу між мережами систем рухомого зв'язку (CP3) і Wi-Fi. Найбільш серйозною перевагою технології UMA є можливість переходу абонента з мережі Wi-Fi в CP3 і назад без втрати з'єднання (наприклад, без розриву телефонного виклику). Це досягається застосуванням спеціального користувачького встаткування, сумісного з технологією UMA.

Разом із платформою IMS може використовуватися будь-яке користувачьке встаткування, що підтримує стандартний протокол SIP. Це означає, що при виході абонента із зони обслуговування мережі Wi-Fi сеанс зв'язку переривається, і користувач повинен знову зробити виклик.

Крім того, стандартизація технології UMA в цілому завершена, розпочато розроблення другої версії – eUMA, а на ринку вже є комерційні версії встаткування.

## Висновки

Конвергенція породжує нову парадигму, обумовлену можливістю доступу до інформації "у будь-який час, у будь-якому місці, з будь-якого пристрою". Рушійною силою конвергенції в інформаційно-телекомунікаційних системах є розвиток нових й удосконалення існуючих послуг.

Конвергенція фіксованих і мобільних інформаційно-телекомунікаційних платформ і мереж слугує технологією спільного використання ресурсів мобільної та фіксованої мереж зв'язку для надання користувачу єдиного безперервного сервісу поза залежністю від його місця розташування, а також для організації єдиного обслуговування і єдиної тарифікації за послуги.

Складність реалізації концепції FMS породжує цілу низку конкуруючих підходів, методів і технологій, що ще потребують свого наукового обґрунтування.

Найближчим часом різниці в магістральних частинах мереж фіксованого і мобільного зв'язку повністю зникнуть, наступить етап реалізації FMS, концепції тільки мобільної технології користувача, що визначить собою новий етап розвитку інфокомунікацій.

1. Кох Р., Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М.: Радио и связь, 2001. – 280 с.

2. Бабин А.И. Конвергенция стационарной и мобильной связи: взгляд в будущее // Успехи современного ес-

- тестовознания [научный журнал Российской Академии Естествознания]. – 2008. – № 6. – С. 124–127.
3. *A.R. Mishra*, Cellular technologies for emerging markets: 2G, 3G and beyond. New Delhi: John Wiley & Sons, 2010, 330 p.
  4. *Конвергенция сетей связи в российских условиях / А.А. Иванов, В.А. Соколов, Д.С. Терентьев, С.М. Ярлыкова // Технологии и средства связи. – 2006. – № 5. – С. 36–44.*
  5. *Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г.Г.* Сети связи. – СПб: БХВ–Петербург, 2010. – 400 с.
  6. *Ільченко М.Ю., Кравчук С.О.* Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: Наук. думка, 2008. – 328 с.
  7. *Ільченко М.Ю., Кравчук С.О.* Концепція побудови національної інформаційно-телекомунікаційної багаторівневої інфраструктури // Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні: Монографія НАН України, відділення інформатики. – К.: Наук. думка, 2010. – С. 777–781.
  8. *Ільченко М.Е., Кравчук С.А.* Телекоммуникационные системы на основе высотных аэроплатформ. – К.: Наук. думка, 2008. – 580 с.
  9. *M. Sauter*, Communication Systems for the Mobile Information Society. UK, Chichester: John Wiley & Sons, 2006, 344 p.
  10. *Ільченко М.Ю., Кравчук С.О.* Системи стільникового мобільного зв'язку // Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні: Монографія НАН України, відділення інформатики. – К.: Наук. думка, 2010. – С. 815–821.
  11. *Ільченко М.Ю., Кравчук С.О.* Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу. – К.: Наук. думка, 2009. – 312 с.
  12. *Бунін С.Г., Ільченко М.Ю., Кравчук С.О.* Радіомережі з пакетною комутацією // Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні: Монографія НАН України, відділення інформатики. – К.: Наук. думка, 2010. – С. 769–777.

Рекомендована Радою  
Інституту телекомунікаційних систем  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
22 серпня 2013 року