

Баховський П. Ф. Луцький національний технічний університет, Луцьк

## ЕТАПИ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ В КОНЦЕПЦІЇ ВІРТУАЛЬНИХ ТЕХНІЧНИХ ФУНКЦІЙ

*Приведені основоположні принципи побудови мереж мобільних телекомунікацій з урахуванням потенційних можливостей впровадження будь-якого сценарію реалізації віртуальних технічних функцій з заданою якістю обслуговування. Розглянуто переваги і недоліки деяких сценаріїв реалізації концепції віртуальних технічних функцій.*

**Ключові слова:** мобільний зв'язок, віртуальна технічна функція, концепція VTF, проект IMT-2000, проект SAE/EPG, якість обслуговування, інтелектуальна мережа

**Bakhovskiy P. F.** *Lutsk National Technical University, Lutsk*

## DEVELOPMENT STAGES OF THE NETWORK IN THE CONCEPT VIRTUAL TECHNICAL FUNCTIONS

*Some aspects of the development of mobile communication systems are considered, taking into account perspective technologies and recommendations of ITU. The basic principles of construction of networks of mobile telecommunication are given taking into account potential possibilities of introduction of any scenario of realization of virtual technical functions with the set requirements to the given quality of service. The advantages and disadvantages of separate scenarios for the implementation of the concept of virtual technical functions are considered. The main problem of the project is the complexity of the organization, monitoring and management of the subscriber database. This is due to the fact that the mobile station (MS) has to move freely, changing the service areas of both base station and mobile switching centre (MSC) at any location of the user by the service provided.*

*The implementing the concept of virtual technical function it is expedient to organize a centralized subscriber database for a particular network that participates in the process of involving the corresponding virtual technical function. When moving a mobile station from the service area of one MSC to the service area of another MSC, they will receive on request the necessary information from the centralized subscriber database. The above fundamental paradigms concerning the technical characteristics of the implemented projects for the construction of networks of mobile telecommunications lead to the conclusion that the potential introduction of any scenario for the implementation of virtual technical functions with the specified quality requirements in the scenario of the SAE/EPG (System Architecture Evolution / Evolved Packet System) project networks.*

**Keywords:** mobile communication, virtual technical function, VTF concept, IMT 2000 project, SAE/EPG project, service quality, intellectual network

**Баховский П. Ф.** *Луцкий национальный технический университет, Луцк*

## ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ В КОНЦЕПЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

*Приведены основополагающие принципы построения сетей мобильных телекоммуникаций с учетом потенциальных возможностей внедрения любого сценария реализации виртуальных технических функций по заданным качеством обслуживания. Рассмотрены преимущества и недостатки некоторых сценариев реализации концепции виртуальных технических функций.*

**Ключевые слова:** мобильная связь, виртуальная техническая функция, концепция VTF, проект IMT 2000, проект SAE / EPG, качество обслуживания, интеллектуальная сеть

### 1. Вступ. Постановка задачі

В останні десятиліття велику поширеність у застосуванні отримали системи мобільних телекомунікацій, які налічують декілька мільярдів користувачів. З ростом попиту на послуги мереж мобільних телекомунікацій виникла необхідність розширення їх можливостей. Задоволення попиту на традиційні та нові послуги стало можливим тільки за рахунок розробки проекту мережі комутації, що складається з декількох вузлів, в межах якої будь-яка MS (Mobile

Station – мобільна станція) повинна мати доступ до послуг зв'язку, тобто MS повинна обслуговуватися будь-яким проектом MSC мережі (Mobile Switching Centre – центр комутації мобільного зв'язку), в зоні обслуговування якого вона в даний момент часу знаходиться. Системний підхід означає, що рухома станція включається не в конкретний вузол комутації, а безпосередньо в систему мереж. Ця особливість значно ускладнює організацію абонентської бази даних, яка служить головною складовою в деяких сценаріях реалізації концепції VTF (Virtual Technical Function – віртуальна технічна функція) [1-3].

Складність проекту організації, моніторингу і управління абонентською базою даних пояснюється тим, що MS може вільно переміщатися, міняючи зони обслуговування як BS (Base Station – базова станція), так і MSC.

Враховуючи це, при реалізації концепції VTF доцільним є організація централізованої абонентської бази даних для певної мережі, яка приймає участь в процесі надання відповідної віртуальної технічної функції. При цьому кожен вузол комутації рухомих станцій має мати абонентські дані тих MS, які в даний момент часу знаходяться в зоні його обслуговування. При переміщенні мобільної станції із зони обслуговування одного MSC в зону обслуговування іншого MSC, вони отримують необхідну інформацію з централізованої абонентської бази даних. Крім того, щоб уникнути несанкціонованого доступу абонентів до мережі і можливої крадіжки їх устаткування, необхідне забезпечення можливостей перевірки прав доступу до мережі (аутентифікації) та ідентифікації устаткування. Збереження даних аутентифікації та списку серійних номерів устаткування, також вимагає наявності єдиних для мережі баз даних, що зберігають відповідну інформацію.

## **2. Аналіз існуючих рішень і проведених досліджень**

В мережах стандарту GSM та в його модифікаціях маршрутизація в режимі передачі даних здійснюється в режимі комутації каналів, що містить в собі певні недоліки. Річ у тому, що трафік Інтернет носить «пульсуючий» характер, оскільки дані передаються різкими сплесками, а не безперервним потоком [4-6]. Такий тип трафіку передачі даних погано підходить для мереж з комутацією каналів, оскільки з'єднання існує навіть тоді, коли дані не передаються. До того ж це дуже дорого для кінцевого користувача, який оплачує час, а не обсяг переданих даних і робить неефективним використання можливостей радіоінтерфейсу оператора.

До незручностей також необхідно віднести тривалий час встановлення з'єднання (близько 20 с) і той факт, що з'єднання реалізуються в той час, коли якість передачі через радіоінтерфейс значна падає. Через ці недоліки передача комутуваних пакетів по мережах мобільних телекомунікацій з комутацією каналів виявляється ненадійною і дорогою. Вищезазначене в достатній мірі стримувало впровадження будь-якої концепції: як VNE (Virtual Home Environment – віртуальне домашнє середовище), так і VTF [3, 7, 8].

Враховуючи сказане, був розроблений новий стандарт, у якому усунуті зазначені проблеми та впроваджене надання сервісів Інтернет у мережі мобільних телекомунікацій. В рамках вдосконаленого проекту IMT-2000 (IMT – International Mobile Telecommunications) були сформульовані нові вимоги до єдиної системи мобільних телекомунікацій [9-11].

В рамках ETSI було розглянуто п'ять базових концепцій проектів радіодоступу для систем мобільних телекомунікацій наступних поколінь [12, 13]. Дві технології з п'яти отримали найбільше визнання [14, 15]: WB-CDMA – для парних частотних смуг; TD-CDMA – для непарних смуг.

Європейська концепція проекту створення систем мобільних телекомунікацій третього і наступних поколінь отримала назву UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

При ухваленні світових стандартів для систем проекту SAE/EPS (System Architecture Evolution / Evolved Packet System) утворилися два табори, що оформилися у вигляді двох партнерських об'єднань: 3GPP і 3GPP2. Ці партнерські об'єднання вперше дали опис задачі щодо впровадження концепцій надання віртуальних технічних функцій [16-18].

Основний внесок партнерства 3GPP в проект програми IMT-2000 – гармонізація п'яти проектів: UTRA FDD, WCDMA, WCDMA NA, WIMS, CDMA II.

Друге партнерське проектне об'єднання – 3GPP2 – є прихильником еволюційного

розвитку двох напрямів в діючих технологіях мобільних телекомунікацій.

Загальна картина гармонізації проектів стандартів систем мобільних телекомунікацій наступних поколінь показана на рис. 1.

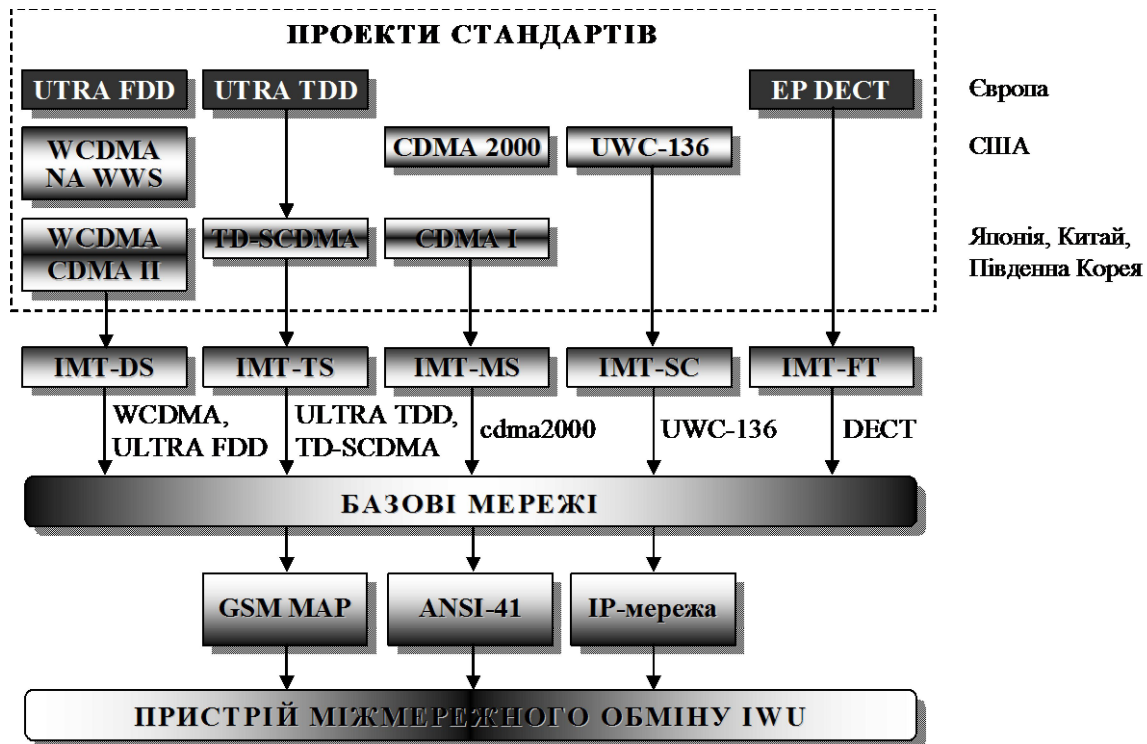


Рис. 1. Архітектура наземної мережі IMT-2000

### 3. Мета роботи

Впровадження систем проекту SAE/EPs характеризується значним періодом їх сумісного існування з системами третього і попередніх поколінь. З урахуванням цього, для забезпечення глобального роумінгу, в якості протоколів для базових мереж в системах проекту SAE/EPs передбачається використовувати як вдосконалені проекти протоколів мереж GSM MAP та ANSI-41, так і протоколи, що базуються на IP-технологіях і технологіях інтелектуальних мереж IN (Intelligent Network) [4, 8, 19].

Метою даної статті є аналітичне опрацювання впроваджених проектів побудови мереж мобільних телекомунікацій. Вище приведені основоположні зауваження щодо технічних характеристик впроваджених проектів побудови мереж мобільних телекомунікацій свідчать про потенційну можливість впровадження будь-якого сценарію реалізації віртуальних технічних функцій з заданою якістю в мережах проекту SAE/EPs.

#### 4.1. Аналіз можливостей впровадження технологій VTF в мережах SAE/EPs

Проект SAE/EPs став наступним кроком в розвитку систем мобільних телекомунікацій. Стандарти GSM і WCDMA/HSPA інтегруються в SAE/EPs за допомогою стандартизованих інтерфейсів, що сполучають вузол SGSN (обслуговуючий вузол підтримки GPRS) і вдосконалену опорну мережу.

Оскільки існуюча концепція QoS для систем GSM і WCDMA відзначається достатнім рівнем складності, в проекті SAE/EPs намічена тенденція реалізації концепції QoS, яка б об'єднала в собі простоту та гнучкість доступу з підтримкою зворотної сумісності. У проекті SAE/EPs пропонується використання концепції якості обслуговування, заснованої на класах. Вона передбачає просте та ефективне рішення для диференціювання різних пакетних послуг. Як висновок, можемо констатувати, що якісні показники реалізації концепції VTF, будуть забезпечені реалізацією концепції якості обслуговування, заснованої на класах [2, 8, 20].

Згідно рекомендаціям ITU-T, які розроблені в рамках проекту IMT-2000, мережа мобільних телекомунікацій проекту SAE/EPs складається з наступних підсистем:

– підсистема UIM (User Identity Module): забезпечує ідентифікацію користувача мережею, процедури безпечного доступу, як для абонента, так і для мережі, а також може виконувати різні функції при виконанні додаткових послуг. Функції UIM можуть розташовуватися на окремій від мобільного терміналу (MT) карті або можуть бути фізично інтегровані в MT;

– підсистема MT (Mobile Terminal): забезпечує можливість взаємодії UIM і RAN – мережі радіодоступу. Як і UIM, вона може виконувати різні функції при виконанні додаткових послуг;

– підсистема RAN (Radio Access Network): забезпечує можливість взаємодії MT і базової мережі (CN) через радіоділянку; може виконувати різні функції при виконанні додаткових послуг;

– підсистема CN (Core Network): забезпечує основні функції процесу обслуговування викликів і підтримки мобільності користувача; може виконувати різні функції при виконанні додаткових послуг.

В основі підходу до реалізації послуг в проекті SAE/EPS, згідно рекомендаціям ІТУ-Т, може бути покладена концепція інтелектуальної мережі [3, 8]. Основоположною вимогою до архітектури інтелектуальної мережі є відділення функцій надання послуг від функцій комутації. Кожна компонента мережі SAE/EPS бере участь в реалізації певної сукупності функціональних задач і при необхідності взаємодіє з іншими функціональними одиницями своєї або інших мереж.

Кожну з функціональних задач можна представити у вигляді набору дрібніших функцій. Під функцією слід розуміти сукупність дій компоненти мережі мобільних телекомунікацій в процесі реалізації послуги при одноразовому зверненні до неї. При цьому різні функції можуть бути розташовані в однойменних компонентах.

Отримані функції можуть бути розташовані в різних компонентах як домашньої (підтримуючої), так і візитної мережі. Таким чином, виникає безліч варіантів (сценаріїв) організації структур функціональної побудови концепції VTF.

У функціональному відношенні ядро мережі SAE включає чотири ключові компоненти. Модуль управління мобільністю MME (Mobility Management Entity) забезпечує зберігання службової інформації про абонента і управління нею, генерацію часових ідентифікаційних даних, авторизацію термінальних пристроїв в наземних мережах мобільного зв'язку і загальне управління мобільністю. Модуль управління абонентом UPE (User Plane Entity) відповідає за термінацію низхідного з'єднання, шифрування даних, маршрутизацію і пересилку пакетів. «Якір» 3GPP грає роль своєрідного шлюзу між мережами 2G/3G і LTE. Нарешті, функції «якоря» SAE аналогічні функціям попереднього компоненту, але служать для підтримки безперервності сервісу при переміщенні абонента між мережами, відповідними і не відповідними специфікаціям 3GPP. Як наслідок, це свідчить про потенційну можливість реалізації пропонованої концепції VTF.

Узагальнена схема архітектури SAE/EPS показана на рис. 2. Як видно з рисунку, функціональні елементи можна фізично суміщати або розподіляти по мережі – все залежить від особливостей вживаних продуктів і самої мережі. Наприклад, «якір» 3GPP допустимо розташовувати разом з модулем управління абонентом, хоча це не є обов'язковою вимогою. Так само модулі MME і UPE можуть бути суміщені або знаходитися в різних вузлах мережі.

Принципова відмінність мереж мобільних телекомунікацій четвертого покоління від мереж мобільного зв'язку попередніх поколінь – можливість забезпечити велику швидкість передачі інформації на наступних радіоділянках: 2,048 Мбіт/с – для роботи в офісі; 384 кбіт/с – для пішоходів; 144 кбіт/с – для рухомих абонентів.

Вищі швидкості передачі забезпечують користувачам цих мереж більший об'єм послуг. Перш за все це торкається мобільного доступу до ресурсів мережі Інтернет із задовольняючою споживача швидкістю. Мережі мобільних телекомунікацій проекту SAE/EPS дозволяють передавати і отримувати великі обсяги даних, відеозображення, музичні файли та іншу мультимедійну інформацію в режимі реального часу. При цьому послуги мереж попередніх поколінь, що вже зарекомендували себе, повинні активно застосовуватися і в мережах проекту SAE/EPS, тим самим підтверджуючи принципову необхідність впровадження та розширення

концепції VTF. До цих послуг, в рамках концепції VTF, в першу чергу, потрібно віднести послугу обміну короткими повідомленнями SMS (Short Message Service).

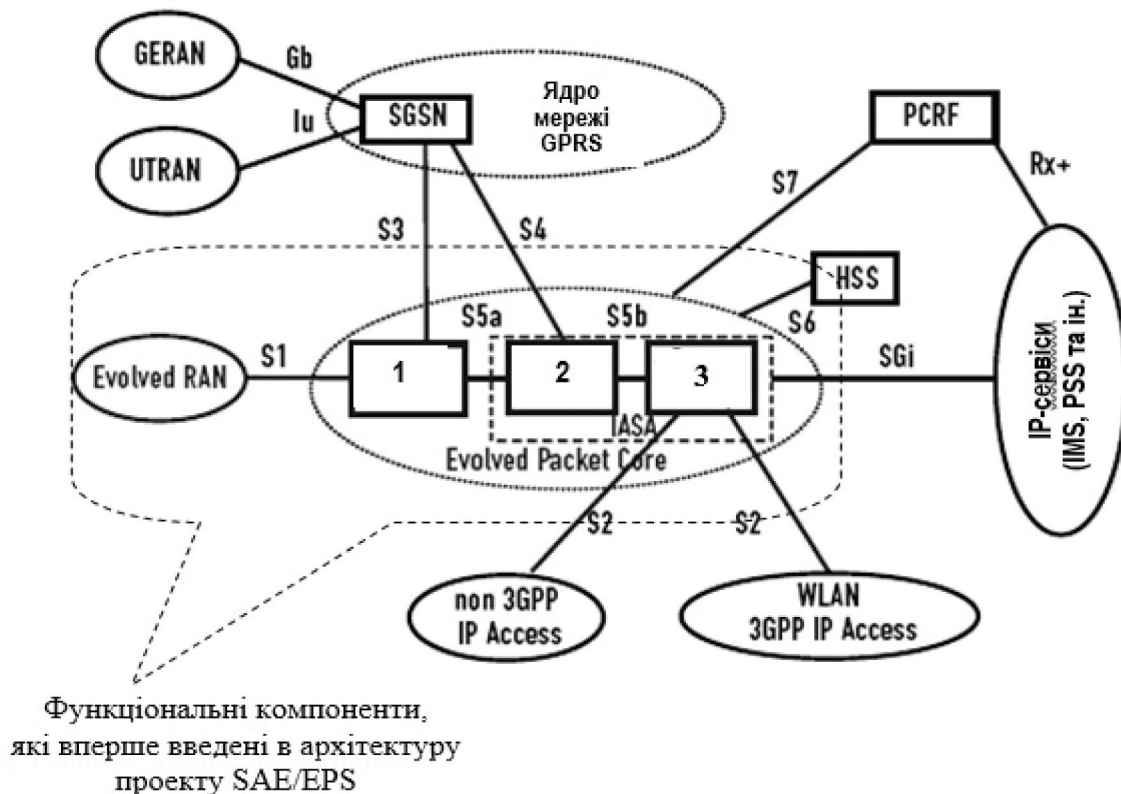


Рис. 2. Основні компоненти архітектури проекту SAE/EPS:

Gb, Iu, SGI, Rx+, S1...S7 – інтерфейси; HSS – Home Subscriber Server; SGSN – Serving GPRS Support Node; PCRF – Policy and Charging Rules Function. 1 – MME UPE; 2 – Ядро мережі EPS; 3 – «Якір» SAE.

Як альтернатива послугам SMS та EMS (Enhanced Message Service), прийшла послуга мультимедійних повідомлень MMS (Multimedia Message Service).

Велику популярність в мобільних телекомунікаціях отримали послуги, що надаються сучасними центрами контакту. Впровадження центрів контакту – це один з численних способів ефективно організувати взаємодію зі своїми клієнтами, коли у останніх виникають які-небудь питання або проблеми: це їх головна функція при реалізації концепції VTF.

Основною задачею кожного оператора мереж SAE/EPS повинна залишатися задача надання будь-якому абоненту вище описаного звичного набору послуг при знаходженні його в роумінгу, тобто забезпечити 100% підтримку звичних функцій не дивлячись на той факт, що такі функції будуть «віртуальними», тобто – невластивими для візитної мережі.

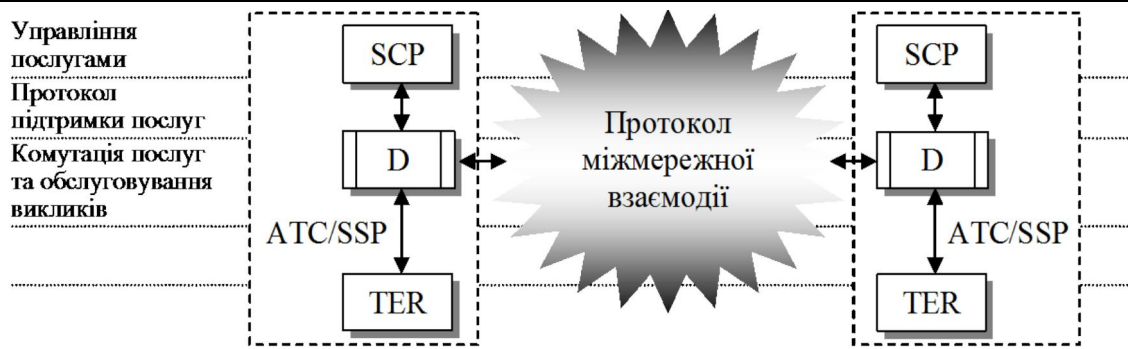
Кількість і різноманітність послуг, які потенційно можуть бути реалізовані з використанням подібних систем, дуже велика, що представляється вельми привабливим як для абонентів мобільних телекомунікацій, так і для мобільних операторів.

#### 4.2. Додаткові послуги в мережах мобільних телекомунікацій.

В даний час можна виділити дві концепції надання додаткових послуг в мережах мобільних телекомунікацій: на основі вузлів послуг (Service nodes) і «класичної» інтелектуальної мережі зв'язку IN.

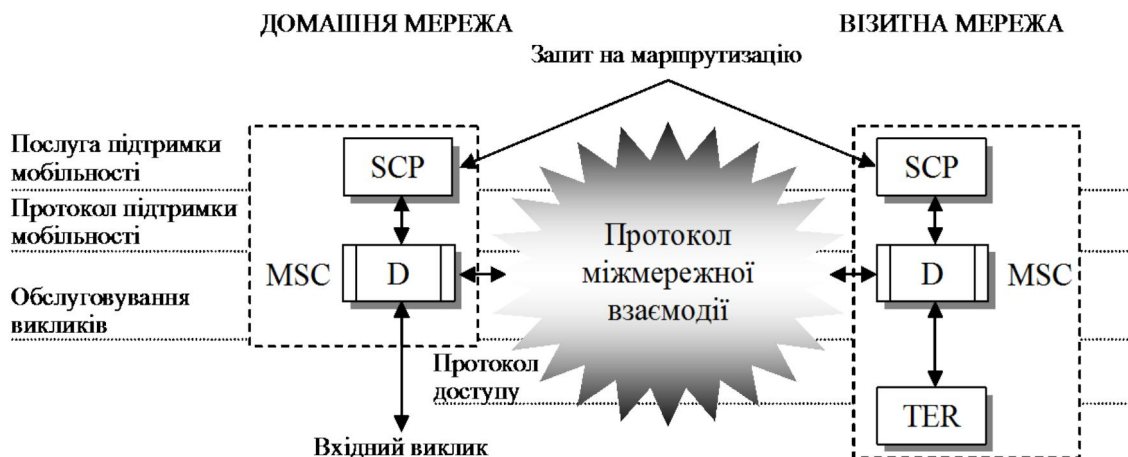
Перша застосовується для організації вище перелічених послуг: SMS, EMS, MMS, послуг центрів контакту і т.д. Головне ж значення другої концепції для мереж мобільних телекомунікацій не в списках послуг CS (Capability set), а в основній ідеї, що полягає в тому, щоб відокремити процеси традиційної комутації від процедур надання нових послуг. Актуальність цієї ідеї робить її привабливою для мереж мобільних телекомунікацій проекту SAE/EPS, орієнтованих на надання абоненту додаткових сервісів.

Архітектура IN і архітектура мереж мобільних телекомунікацій дуже подібні (рис. 3).



TER – Абонентський термінал

а)



TER – Абонентський термінал

б)

Рис. 3. Архітектура IN (а) та мережах мобільних телекомунікацій (б)

Проте, мережі мобільних телекомунікацій не здатні адекватно забезпечувати принцип незалежності від послуг, властивий концепції IN. Враховуючи вищесказане, оператори мобільних телекомунікацій прагнуть оволодіти перевагами, пропонованими концепцією IN. Реалізація ж самої послуги в IN відбувається за допомогою виконання певної послідовності функцій. Під функцією слід розуміти сукупність дій компоненти мережі мобільних телекомунікацій в процесі реалізації послуги при одноразовому зверненні до неї (надходженні заявки). При цьому в процесі реалізації послуги, кожна компонента може виконувати одну або більш функцій.

Однією з головних переваг, пропонованих мережами мобільних телекомунікацій, є можливість вільного переміщення абонента з своєї зони в ту або іншу із зон, що обслуговуються мережами мобільних телекомунікацій інших операторів. При цьому абонент хотів би зберегти свій персональний набір (профіль) послуг і в інших мережах, іншими словами, мати можливість роумінгу послуг. Але на відміну від дротяних мереж, в комутаторах мобільних телекомунікацій тригерні точки і профіль послуг не представляються у вигляді статичних даних, а визначаються при реєстрації.

Можливості домашньої і візитної мереж можуть виявитися різними, що позначиться на переліку і на характеристиках послуг, які зможуть бути запропоновані користувачу, що перемістився в візитну мережу.

На рис. 4 показана абстрактна модель з трьома системами мобільних телекомунікацій четвертого покоління, що належать різним операторам.

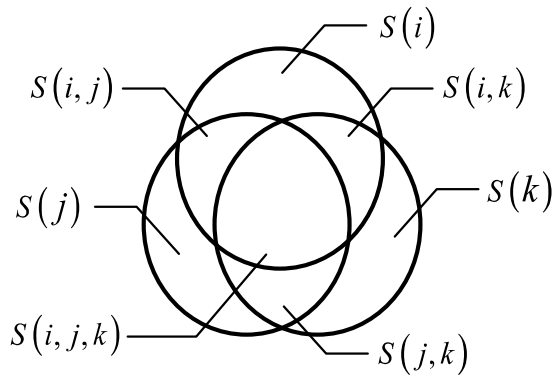


Рис. 4. Модель покриття послугами в мережах проекту SAE/EPS

Кожна з трьох систем проекту SAE/EPS, показаних на рис. 4, має свій власний набір послуг:  $S(i)$ ,  $S(j)$ ,  $S(k)$ , які показані кругами. Перетини цих кругів – це послуги, що є однаковими для цих мереж. Зі збільшенням числа систем проекту SAE/EPS зменшується загальна платформа послуг  $S(i, j, k)$ . Відповідно до нормативів ITU-T ETS1, 3GPP в мережах мобільних телекомунікацій проекту SAE/EPS для забезпечення можливості своїм абонентам користуватися функціями домашньої мережі, знаходячись за її межами, тобто в візитній мережі, була введена вже раніше зазначена концепція VHS (Video Home System), перелік функцій якої був достатньо обмеженим та носив декларативний характер.

Ступінь, з якою запропонована концепція VTF може відповідати фактичним потребам абонентів, буде надзвичайно великою і буде залежати лише від ступеня співпраці між операторами, від їх технічних можливостей, сумісності устаткування користувачів і т. д. Крім того, системи проекту SAE/EPS, які будуть пропонувати своїм абонентам послугу глобального роумінгу, повинні підтримувати VTF, якщо в цих системах з самого початку закладені можливості абонентського сервісу аналогічного сервісу VHS.

### 5. Обговорення результатів дослідження

В процесі реалізації концепції VTF за допомогою апаратних і програмних засобів виконується певна множина послуг. Як вже було відмічено раніше, в процесі реалізації послуги кожна компонента може виконувати одну або більше функцій. Склад функцій залежить від множини чинників, наприклад, від самої послуги, дій абонентів і т.д. Отримані функції можуть бути розташовані в різних компонентах як домашньої (підтримуючої), так і візитної мережі. При цьому різні функції можуть бути розташовані в однойменних компонентах.

Таким чином, виникає множина варіантів (сценаріїв) організації структурно-функціональної побудови концепції VTF. Оскільки існують різні варіанти структурно-функціональної побудови концепції VTF, то на етапі її проектування виникає задача вибору того або іншого варіанту – сценарію реалізації концепції.

Для вирішення поставленої задачі необхідно володіти інструментом, що дозволяє оцінювати варіанти побудови концепції VTF. Але, як відмічено в наукових публікаціях, присвячених даній тематиці, частіше приводяться тільки самі сценарії реалізації подібних концепцій і не робиться їх аналіз. У деяких інших роботах у якості критерію оцінки варіантів побудови виступає обсяг сигнальної інформації, що циркулює між компонентами мереж мобільних телекомунікацій. При цьому у меншій мірі приділяється увага оцінці впливу вибору того або іншого сценарію на якість реалізації послуг, а значить, і на ступінь задоволення цими послугами кінцевого користувача.

### 6. Висновки

Розглянуто етапи та перспективи розвитку систем мобільного зв'язку в концепції VTF. Приведено визначення концепцій, окремих сценаріїв їх реалізації. Показано абстрактну модель з трьома системами мобільного зв'язку четвертого покоління, що належать різним операторам. З урахуванням результатів попередніх досліджень зроблено висновок, що при реалізації концепцій доцільним є організація централізованої абонентської бази даних для певної мережі, яка приймає участь в процесі надання віртуальної технічної функції.

Сформована загальна картина гармонізації стандартів мобільного зв'язку наступних поколінь. Поставлено загальну мету дослідження та часткові задачі, які необхідно вирішувати для подальшого опрацювання концепції віртуальних технічних функцій при вирішенні питань розвитку телекомунікаційних мереж мобільного зв'язку.

#### Список використаної літератури

1. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud / W. Stallings. – Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. – 544 p.
2. Матеріали серверу «Mobile VTF»: <http://3Gnews.ru>.
3. Баховський П.Ф. Методи забезпечення якості сервісу при впровадженні віртуальних технічних функцій в мобільних телекомунікаційних мережах // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків. – 2010. – 186 с.
4. Kurose J. F. Computer Networking: A Top-Down Approach, 7th Ed / James F. Kurose, Keith W. Ross. – Pearson Education, Inc., 2017. – 864 p.
5. Гольдштейн Б. С. Сети связи / Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов, Г. Г. Яновский. – Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург», 2014. – 400 с.
6. Крук Б. И. Телекоммуникационные системы и сети: учебное пособие. В 3 томах. Том 1 – Современные технологии / Б.И. Крук, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов; под ред. проф. В.П. Шувалова. – Изд. 3-е – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 647 с.
7. Torabi, M. Third-Generation mobile telecommunications and virtual home environment: A prioritization analysis / M. Torabi, R. Buhrke // Bell Labs. – 1998. – Vol., No. 3.
8. Рибак А. І. Системний аналіз структурно-функціональної побудови концепції віртуального домашнього оточення в мережах 3G / А. І. Рибак, П. Ф. Баховський // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2008. – №6(8). – С. 3-11.
9. IMT-2000 references to release 1999 of GSM evolved UMTS core network with UTRAN access network // ITU-T Recommendation Q.I741.1, 2. – 2002.
10. Internetwork signalling requirements for IMT-2000 capability set 1 // ITU-T Recommendation Q.I751, 2000.
11. ITU-T recommendation M.816-1 (1997), Framework for services supported on International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000).
12. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Service aspects; Virtual Home Environment analysis // ETSI TR 122970, 2000.
13. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS): Virtual Home Environment in the ISDN. Evolved UMTS core network analysis // ETSI EG 201717, 2000.
14. Громаков Ю. А. Концепции развития мобильной и беспроводной связи общего пользования / Ю. А. Громаков // Электросвязь. – 2008. – № 12. – С. 51-57.
15. Tanenbaum A. S. Distributed systems: principles and paradigms / Andrew S. Tanenbaum, Maarten Van Steen. – Pearson Education. Inc. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, 2007. – 686 pp.
16. Roussaki, I. Multi-terminal and Multi-network Access to Virtual Home Environment / I. Roussaki, H. Jormakka, S. Xynogalas, A. Laikari, M. Chantzara, M. Anagnostou. <http://newton.ee.auth.gr/ISt2002/papers/SessionT4/2502106.pdf>.
17. Баховский П. Ф. Асимптотические оценки эффективности распределенной реализации виртуальных технических функций в сетях мобильной связи новых поколений / П. Ф. Баховский, Н. А. Виноградов // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2009. – №4(12). – С.40-46.
18. Göransson P. Software Defined Networks: A Comprehensive Approach, 2<sup>nd</sup> ed. / Paul Göransson, Chuck Black, Timothy Culver. – Morgan Kaufmann, US, 2017. – 409 p.
19. Величко В. В. Телекоммуникационные системы и сети: в 3-х томах. Том 3. – Мультисервисные сети / В. В. Величко, Е. А. Субботин, В. П. Шувалов, А. Ф. Ярославцев. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2015. – 592 с.
20. Виноградов, М. А. Дослідження нестационарної мережі випадкового доступу з динамічним протоколом в умовах великого завантаження в рамках реалізації концепції VTF / М. А. Виноградов, П. Ф. Баховський // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2009. – №4(12). – С.5-16.



## References

1. Stallings W. *Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey (2016): 544. Print
2. Server Material «Mobile VTF»: <http://3Gnews.ru>. Web
3. Bakhovskiy R. Ph. *Methods of Quality Assurance of Service in the Implementation of Virtual Technical Functions in Mobile Telecommunication Networks*. Dissertation for a scientific PhD (technic). Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv (2010): 186. Print
4. Kurose J. F., and Ross K. W. *Computer Networking: A Top-Down Approach*, 7th ed. Pearson Education, Inc. (2017): 864. Print
5. Goldstein B. S., Sokolov N. A., and Yanovsky G. G.. *Communication Networks*. St.-Petersburg: BHV-Petersburg (2014): 400. Print
6. Kruk B. I., Popantonopulo V. N., and Suvalov V. P. *Telecommunication Systems and Networks*. Vol. 1, Modern Technologies, Moscow: Goryachaya Liniya-Telekom (2003): 647. Print
7. Torabi M., and Buhrke R.. Third-Generation Mobile Telecommunications and Virtual Home Environment: A Prioritization Analysis. *Bell Labs*. V.3, 3 (1998): Print
8. Rybak A. I., and Bakhovskiy P. F. System Analysis of the Structural and Functional Construction of the Concept of a Virtual Home Environment in Networks 3G. *Naukovi Zapysky Ukrayinskoho Naukovo-Doslidnoho Instytutu Zviazku*. 6(8) (2008) :3-11. Print
9. IMT-2000 References to Release 1999 of GSM Evolved UMTS Core Network with UTRAN Access Network. ITU-T Recommendation Q.I741.1, 2 (2002). Print
10. Internetwork Signalling Requirements for IMT-2000 Capability Set 1. ITU-T Recommendation Q.I751 (2000). Print
11. ITU-T recommendation M.816-1. Framework for Services Supported on International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) (1997). Print
12. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Service aspects; Virtual Home Environment analysis. *ETSI TR 122970* (2000). Print
13. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS): Virtual Home Environment in the ISDN. Evolved UMTS core network analysis. *ETSI EG 201717* (2000). Print
14. Gromakov Yu. A. Concepts of Development of Mobile and Wireless Communication of the Common Use. *Elektrosvyaz* 12 (2008): 51-57. Print
15. Tanenbaum Andrew S. and Maarten Van Steen. *Distributed Systems: Principles and Paradigms*. Pearson Education. Inc. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458 (2007): 686. Print
16. Roussaki I., Jormakka H., Xynogalas S., Laikari A., Chantzara M., and Anagnostou M. Multi-Terminal and Multi-Network Access to Virtual Home Environment. <http://newton.ee.auth.gr/ISt2002/papers/SessionT4/2502106.pdf>. Web
17. Bakhovsky P. F., and Vinogradov N. A. Asymptotic Estimates of the Effectiveness of Distributed Realization of Virtual Technical Functions in New Generation Mobile Communications Networks. *Naukovi Zapysky Ukrayinskoho Naukovo-Doslidnoho Instytutu Zviazku*. 4(12) (2009): 40-46. Print
18. Paul Göransson, Chuck Black, and Timothy Culver. *Software Defined Networks: A Comprehensive Approach*, 2<sup>nd</sup> ed. Morgan Kaufmann, US. (2017): 409. Print
19. Velichko V. V., Subbotin E. A., Shuvalov V. P., and Yaroslavcev A. F.. *Telecommunication Systems and Networks*. Vol. 3: Multiservice Networks. Moscow: Goryachaya Liniya-Telekom (2015): 592. Print
20. Vinogradov M. A., and Bakhovsky P. F.. Investigation of a non-stationary random access network with a dynamic protocol under high load conditions within the framework of the VTF concept implementation. *Naukovi Zapysky Ukrayinskoho Naukovo-Doslidnoho Instytutu Zviazku* 4(12) (2009): 5-16. Print

*Автор статті (Author of the article)*

**Баховський Петро Федорович** – к.т.н., доцент кафедри електроніки та телекомунікацій (Bakhovskiy Petro Fedorovich – PhD in technic, Associate Professor of the Department of Electronics and Telecommunications). Phone: +380 99 518 7904. E-mail: p\_bakhovskyy@ukr.net.

**Рецензент:** канд. техн. наук, доцент **К. П. Сторчак**, Державний університет телекомунікацій, Київ.