

УДК 621.391

Варфоломєєва О.Г., к.т.н.; Ускач М.М.

## ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

### Uskach M.M., Varfolomeyeva O.G. Ways of development LTE technology

The development of information and communication services requires the solution of problems of the convergence of fixed and wireless communications. According to statistics the developed Western countries have to spend a lot of money used to regular support the IT-infrastructures, while developing States can immediately invest in the purchase of modern systems. Due to this, Ukraine can move forward very quickly, using the most advanced solutions. One of the technologies that can be considered as a base for advanced telecommunications networks is LTE technology (Long-Term Evolution). The LTE technology - a logical extension of 3G networks. In the medium term it will determine the development of cellular systems over the world. This technology is able to provide an abrupt (theoretically, up to 90 times) increase data rates in mobile networks. This article discusses how to develop the LTE technology and possible ways to overcome them.

**Keywords:** LTE technology, GSM, CDMA, 3G, WIMAX, hybrid technology OFDMA.

### Ускач М.М., Варфоломєєва О.Г. Шляхи розвитку технології LTE

Розвиток інфокомунікаційних послуг вимагає рішення задач конвергенції мереж фіксованого та безпроводового зв'язку. Однією з технологій, яка розглядається як базова для побудови перспективних телекомунікаційних мереж, є технологія LTE (Long-Term Evolution). У даній статті розглянуто шляхи розвитку технології LTE, проблемні аспекти впровадження технології LTE та можливі шляхи їх подолання.

**Ключові слова:** технологія LTE, GSM, CDMA, 3G, WIMAX, гібридна технологія OFDMA.

### Ускач М.М. Варфоломєєва О.Г. Пути развития технологии LTE

Развитие инфокоммуникационных услуг требует решения задач конвергенции сетей фиксированной и беспроводной связи. Одной из технологий, которая может рассматриваться как базовая для перспективных телекоммуникационных сетей, является технология LTE (Long-Term Evolution). В данной статье рассматриваются пути развития технологии LTE, проблемные аспекты внедрения технологии LTE и возможные пути решения.

**Ключевые слова:** технология LTE, GSM, CDMA, 3G, WIMAX, гибридная технология OFDMA.

## Вступ

Безпроводові цифрові комунікації, бурхливо стартувавши, продовжують розвиватися надзвичайно швидко. Цьому сприяє неухильний прогрес в мікроелектроніці, що дозволяє випускати усе більш складні і при цьому, усе більш дешеві – засоби безпроводового зв'язку. Бум стільникового зв'язку, порівняний лише із зростанням виробництва персональних комп'ютерів і розвитком Інтернету, не сповільнюється вже чверть століття. Мобільних телефонів у всьому світі вже значно більше, чим звичайних стаціонарних телефонних апаратів. Швидкими темпами розвиваються персональні і локальні мережі, широко упроваджуються безпроводові мережі регіонального масштабу. Низька вартість, швидкість розгортання, широкі функціональні можливості передачі даних, телефонії, відео потоків роблять безпроводові мережі одним з основних напрямів розвитку телекомунікаційної індустрії [1].

Розвиток безпроводового зв'язку супроводжується неперервною зміною технологій, в основі яких лежать стандарти стільникового зв'язку GSM і CDMA (Code Division Multiple Access, Множинний доступ з кодовим розділенням каналів), а також стандарти систем передачі даних IEEE 802 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) (рис. 1).

Обмежені можливості традиційних мереж не відповідають вимогам сьогодення, є стримуючим чинником на шляху впровадження інноваційних інфокомунікаційних послуг. Зокрема, систем доступу на базі LTE, актуальної технології OFDM та її різноманітних модифікацій, що є відмінним рішенням для архітектур сучасних мереж, які працюють в умовах мегаполісу.

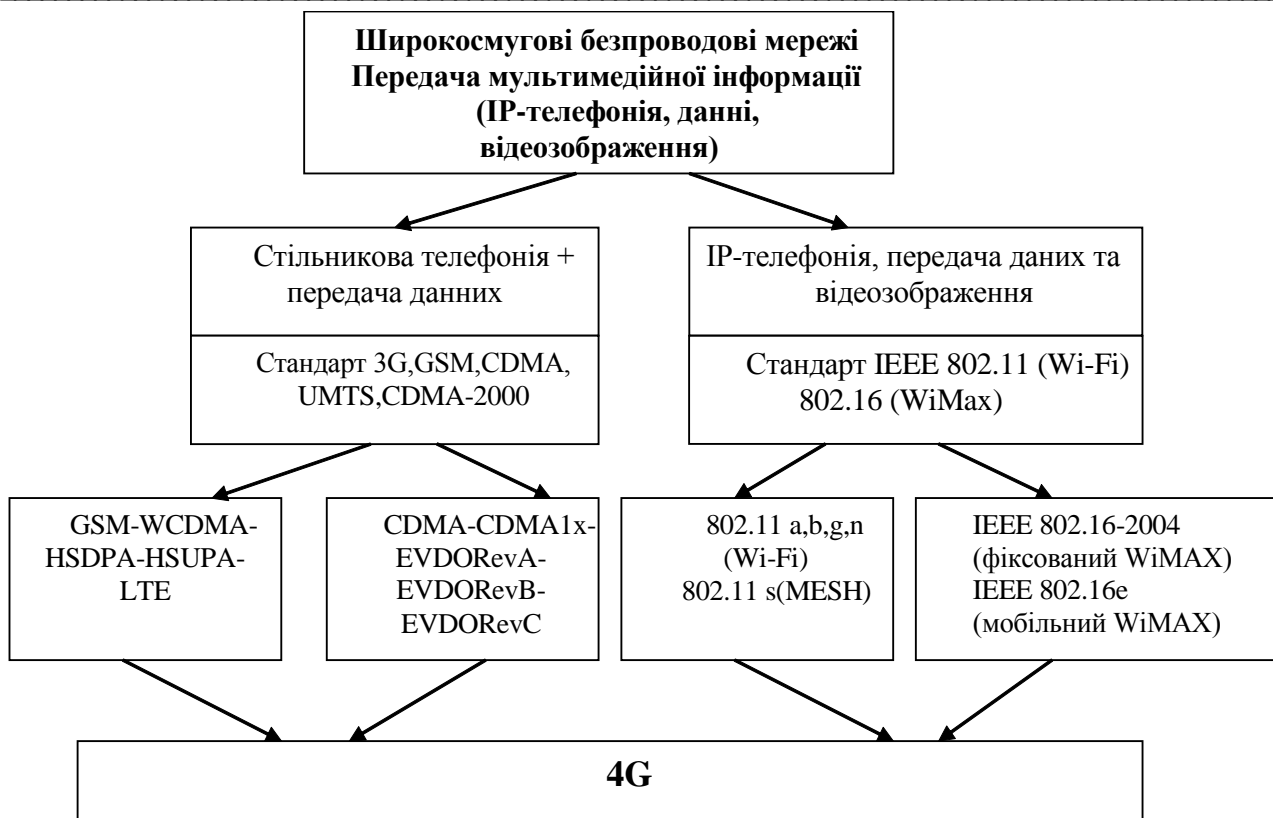


Рис. 1. Основні напрями розвитку технології широкопругового зв'язку

### Виклад основного матеріалу дослідження

Нові покоління мобільного зв'язку починали розроблятися практично через кожні десять років з моменту переходу від розробок першого покоління аналогових стільникових мереж в 1970-і роки (1G) до мереж з цифровою передачею (2G) в 1980-х роках. Від початку розробок до реального впровадження проходила достатня кількість часу (наприклад, мережі 1G були впроваджені в 1984 році, мережі 2G – в 1991 році). Історично технології безпроводового зв'язку розвивалися по двох незалежних напрямках – системи телефонного зв'язку (стільниковий зв'язок) і системи передачі даних (Wi-Fi, WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, стандарт бездротового зв'язку, що забезпечує широкопруговий зв'язок на значні відстані зі швидкістю, порівняною з кабельними з'єднаннями)). Але останнім часом спостерігається явна тенденція до злиття цих функцій. У 1990-х роках почав розроблятися стандарт 3G, який базується на методі множинного доступу з кодовим розділенням каналів (CDMA); він був впроваджений тільки в 2000-х роках.

Більш того, об'єм пакетних даних в мережах стільникового зв'язку третього покоління (3G) вже перевищує обсяг голосового трафіку, що пов'язане з впровадженням технологій HSPA (High Speed Packet Access - високошвидкісна пакетна передача даних) [2]. У свою чергу, сучасні мережі передачі інформації обов'язково забезпечують заданий рівень якості послуг (QoS) для різних видів трафіку [3]. Реалізується підтримка пріоритетизації окремих потоків інформації, причому як на мереженому/транспортному рівнях (на рівні TCP/IP), так і на MAC – рівні (стандарти IEEE 802.16). Це дозволяє використовувати їх для надання послуг голосового зв'язку, передачі мультимедійної інформації і тому подібне.

Технологія фіксованого WIMAX (IEEE 802.16-2004) не виправдала надій, що поклалися на неї, по швидкодії, об'єму зони покриття і ціновим характеристикам. Але оператори справедливо чекають якісного прориву від мобільного WIMAX (IEEE 802.16e).

Проте вимоги кінцевих користувачів до послуг, що надаються постійно підвищуються [4].

Мобільні мережі використовуються не лише для стільникового зв'язку, але і для передачі відео, мобільного ТБ, музики і роботи з Інтернетом з високими швидкостями і якістю передачі. Саме з цією метою в рамках проекту співпраці в створенні мереж третього

покоління 3GPP (3G Partnership Project) була почата розробка технології LTE (Long-Term Evolution – довгостроковий розвиток) покоління зв'язку з підвищеними вимогами. Технологія LTE – це технологія побудови універсальних мереж радіозв'язку, яка базується на IP-технології, але відрізняється більш високими швидкостями передавання даних від існуючих стільникових систем, у тому числі й від системи W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access — широкопasmовий множинний доступ з кодовим розділенням). Стандарт LTE розроблено та затверджено міжнародним партнерським об'єднанням 3GPP. Ідеологом і розробником масового обладнання для цієї технології є компанія Ericsson.

До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дозволяють здійснювати передачу даних зі швидкістю, що перевищує 100 Мбіт/с рухливим і 1 Гбіт/с – стаціонарним абонентам. Розробка технології LTE як стандарту офіційно розпочалася в кінці 2004 року. Основною метою досліджень на початковому етапі був вибір технології фізичного рівня, яка змогла б забезпечити високу швидкість передачі даних. Як основні були запропоновані два варіанта: розвиток існуючого радіоінтерфейсу W-CDMA (використаного в HSPA) і створення нового на основі технології OFDM.

В результаті проведених досліджень єдиною відповідною технологією виявилася OFDM – ортогонального частотного ущільнення, що володіє властивостями, які дозволяють забезпечити тенденціям часу. Тобто, LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогональних OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів) носівних, що транслюються за допомогою багатопроменевих систем MIMO (Multiple Input Multiple Output, системи зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами) та на еволюційній системній архітектурі мережі SAE (System Architecture Evolution). Зміст технології MIMO заключається в тому, що передавальні і приймальні антени рознесені так, щоб досягти слабкої кореляції між сусідніми антенами. Це важливо для сучасних систем доступу на базі LTE, котрі вимагають здійснення максимальних швидкостей передачі інформації в порівнянні з іншими технологіями [5].

Структурна схема мережі LTE представлена на рис. 2.

Також принциповим рішенням є організація дуплексного розділення каналів, яке може бути як частотним (FDD), так і часовим (TDD).

Обмін між базовою станцією (БС) і мобільною станцією (МС) будується за принципом передавання радіокадрів, що циклічно повторюються. Тривалість радіокадра становить 10 мс. В технології LTE всі часові параметри розраховуються на основі мінімального часового кванта:

$$T_s = 1 / (2048 \cdot \Delta f), \quad (1)$$

де  $\Delta f$  – крок між носівними, який дорівнює 15 кГц.

Таким чином, тривалість радіокадру складає  $307200 T_s$ . Сам же квант часу відповідає тактовій частоті 30,72 МГц, яка кратна стандартній для 3G-систем частоті 3,84 МГц.

В травні 2006 року в 3GPP була створена перша специфікація на радіоінтерфейс Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA). Специфікації LTE створювалися в рамках так званого 3GPP Release 7.

Технологіям LTE Advanced (LTE-A) і Mobile WiMAX Release 2 (також відомим, як WirelessMAN-Advanced або IEEE 802.16m) присвоєно офіційне позначення IMT-Advanced, що дозволяє їх кваліфікувати в якості технологій 4G.

Специфікації будь-якого покоління зв'язку, як правило, відносяться до зміни фундаментального характеру обслуговування, технологій передачі, більш високим піковим бітрейдом, новими смугами частот, ширшим каналом смуги пропускання, а також більшою місткістю для множини одночасної передачі даних (більш високій системі спектральної ефективності).

У березні 2008 року сектор радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU-R) визначив ряд вимог для стандарту міжнародного мобільного широкопasmового зв'язку 4G, що дістав назву специфікацій International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced), зокрема встановивши вимоги до швидкості передачі даних для обслуговування абонентів: швидкість 100 Мбіт/с повинна надаватися високорухливим абонентам (наприклад,

потягам і автомобілям), а абонентам з невеликою рухливістю (наприклад пішоходам і фіксованим абонентам) повинна надаватися швидкість 1 Гбіт/с .

Основні дослідження при створенні систем зв'язку четвертого покоління ведуться у напрямі використання пакетних протоколів передачі даних. Для пересилки даних використовується протокол IPv4; в майбутньому планується підтримка IPv6.

В грудні 2008 року затверджена версія стандартів 3GPP (Release 8), фіксуючі архітектурні і функціональні вимоги до систем LTE.

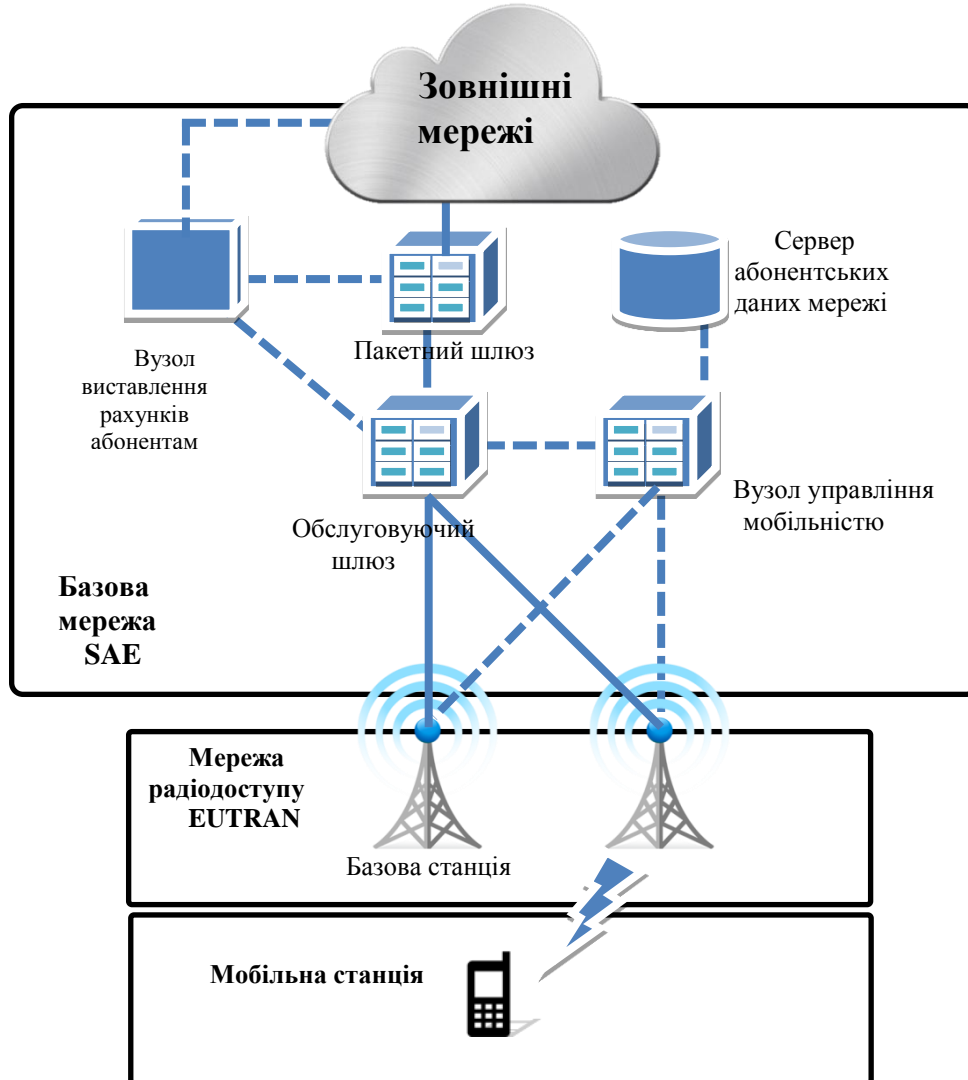


Рис. 2. Структурна схема мережі LTE

Передові міжнародні мобільні телекомунікаційні системи (IMT-Advanced), визначені сектором радіозв'язку МСЕ, повинні відповідати деяким вимогам, щоб вважатися мережами покоління 4G:

- базуються на комутації пакетів, використовуючи протоколи IP;
- пікові швидкості передачі даних від 100 Мбіт/с для користувачів з високою мобільністю (від 10 км/год до 120 км/год) і від 1 Гбіт/с для користувачів з низькою мобільністю (до 10 км/год);
- використовуються мережеві ресурси, що динамічно розділяються, для підтримки більшої кількості одночасних підключень до одного стільника;
- їх масштабована смуга частот каналу 40 МГц;
- мінімальні значення для пікової спектральної ефективності 15 біт/с/Гц в низхідному каналі і 6,75 біт/с/Гц у висхідному каналі (мається на увазі, що швидкість передачі інформації 1 Гбіт/с в низхідному каналі має бути можлива при смузі пропускання радіоканалу менше 67 МГц);

- спектральна ефективність на сектор в низхідному каналі від 1,1 до 3 біт/с/Гц/сектор і у висхідному каналі від 0,7 до 2,25 біт/с/Гц/сектор;
- плинний хендовер через різні мережі;
- висока якість мобільних послуг.

Подальший розвиток технологія LTE одержала у рамках 3GPP (The 3-rd Generation Partnership Project) як продовження CDMA і UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Універсальна Мобільна Телекомунікаційна Система) спочатку не відносився до четвертого покоління мобільного зв'язку [6].

Міжнародним союзом електрозв'язку як стандарт зв'язку, що відповідає усім вимогам безпроводового зв'язку четвертого покоління, було обрано стандарт 3GPP Release 10 (LTE Advanced), який уперше був представлений японською компанією NTT DoCoMo. Оскільки цей стандарт можна реалізувати на існуючих стільникових мережах, то він став популярніший у операторів стільникового зв'язку. У квітні 2008 року компанія Nokia заручилася підтримкою ряду компаній (Sony Ericsson, NEC) для розвитку стандарту LTE і надання цьому стандарту конкурентоспроможності проти WiMAX.

У 2009 року Шведська телекомунікаційна компанія TeliaSonera, спільно з Ericsson оголосила про запуск першої в світі комерційної мережі четвертого покоління стандарту LTE в Стокгольмі і Осло.

Сформульовані основні вимоги, яким задовольняє LTE Advanced, по суті, це вимоги до стандарту мобільних мереж четвертого покоління (4G):

- максимальна швидкість передачі даних в низхідному радіоканалі до 1 Гбіт/с, у висхідному – до 500 Мбіт/с (середня пропускна спроможність на одного абонента – в три рази вище, ніж в LTE);
- смуга пропускання в низхідному радіоканалі – 70 МГц, у висхідному – 40 МГц;
- максимальна ефективність використання спектру в низхідному радіоканалі – 30 біт/с/Гц, у висхідному – 15 біт/с/Гц (втричі вище, ніж в LTE);
- повна сумісність і взаємодія з LTE й іншими 3GPP системами.
- радіоканали (до 100 МГц), асиметричне розділення смуг пропускання між висхідним і низхідним каналом в разі частотного дуплексу; більш за удосконалену систему кодування і виправлення помилок; гібридну технологію OFDMA і SC-FDMA для висхідного каналу, а також передові рішення в області антенних систем (MIMO). Ця технологія сьогодні знаходиться у стадії динамічного розвитку.

У 2010 році розширення 4G мереж TeliaSonera введена в 25 містах і зон відпочинку в Швеції і 4 міст в Норвегії. До кінця 2010 року TeliaSonera також впровадили комерційні мережі 4G для клієнтів у Фінляндії, мережа на базі технології LTE.

У кінці другого кварталу 2012 року азербайджанський оператор стільникового зв'язку Azercell запустив мережу 4-го покоління в центрі Баку. Виробник телекомунікаційного устаткування Huawei і Міністерство зв'язку Бразилії підписали угоду, у рамках якої Huawei розробив рішення LTE в діапазоні 450 МГц в Данії і Естонії, а в квітні 2011 і в Литві.

3 лютого 2011 року вірменський мобільний оператор VivaCell-MTS повністю перейшов до комерційної експлуатації мережі в Єревані, і нині розвивається в регіонах Вірменії.

У 2012 році в Придністров'ї запущена в експлуатацію перша комерційна мережа, яка використовується для забезпечення мобільним ШПД жителів віддалених і сільських територій.

У квітні 2012 року оператор стільникового зв'язку Мегафон надав своїм клієнтам в Росії можливість доступу до послуг мобільного зв'язку четвертого покоління (4G). Першим містом Росії, в якому була запущена мережа четвертого покоління став Новосибірськ, а трохи пізніше і Москва.

Технології четвертого покоління мобільного зв'язку також можуть бути використані в сферах телемедицини, безпеки і охорони громадського порядку, дистанційної освіти, транспортного управління і т. д. [7].

В порівнянні з раніше розробленими системами 3G, радіоінтерфейс LTE забезпечує покращені технічні характеристики. Зокрема, в LTE ширина смуги пропускання може варіюватися від 1,4 до 20 МГц, що дозволить задовольнити потребам різних операторів зв'язку, які володіють різними смугами пропускання. При цьому устаткування LTE повинно

одночасно підтримувати не менше 200 активних з'єднань (тобто 200 телефонних дзвінків) на кожну 5-МГц соту. Також очікується, що LTE поліпшить ефективність використання радіочастотного спектру, тобто зросте обсяг даних, переданих в заданому діапазоні частот. LTE дозволить досягти значних агрегатних швидкостей передачі даних – до 50 Мбіт/с для висхідного з'єднання (від абонента до базової станції) і до 100 Мбіт/с для низхідного з'єднання (від базової станції до абонента) (у смузі 20 МГц). При цьому повинна забезпечуватися підтримка з'єднань для абонентів, рухомих з швидкістю до 350 км/ч. Зона покриття однієї БС – до 30 км в штатному режимі, але можлива робота з сотою радіусом більше 100 км. Підтримуються багатоантенні системи МІМО.

### Висновки

Аналіз шляхів розвитку технології LTE, яка базується на основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогональних OFDM несівних, що транслюються за допомогою багатопробієвих систем МІМО, та на еволюційній системній архітектурі мережі SAЕ показав, що радіоінтерфейс LTE може використовуватися як рішення, на яке оператори поступово переходитимуть з нинішніх систем стандартів 3GPP і 3GPP2, а його розробка являється важливим етапом в процесі переходу до мереж четвертого покоління 4G. Фактично специфікація LTE вже містить більшу частину функцій, що спочатку призначалися для систем 4G, тому її інколи іменують "технологією 3,9G". Технологія OFDM і її різноманітні модифікації є платформою, яка дозволяє впроваджувати технології LTE в системи доступу, що важливо для практичного застосування.

### Список використаної літератури

1. Рекомендації ІТУ-Т. Recommendation P800. Methods for subjective determination transmission quality.
2. Рекомендації ІТУ-Т Y.2019 (2010). Content delivery functional architecture in NGN.
3. Шварцман В.О. Качество услуг сетей следующего поколения / В.О. Шварцман - Москва: Электросвязь, 2006. - 112 с.
4. Вильям Столлингс. Беспроводные линии связи и сети / Столлингс Вильям – Москва: Вильямс, 2003. - 639 с.
5. Гепко И.А. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития / И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко – Киев: ЕКМО, 2009. - 627 с.
6. Вишнеvский В.М. Технология сотовой связи LTE – почти 4G / В.М. Вишнеvский, А.С. Красилов, И.В. Шахнович // Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2009. - №1 - С. 62 - 72.
7. Вишнеvский В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. / В.М. Вишнеvский, А.И. Ляхов, С.Л. Портно, И.В. Шахнович – Москва: Техносфера, 2005. – 138 с.

### Автори статті

**Ускач Максим Михайлович** - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.  
Тел.: +38 093 373 99 52. E-mail: maks.usk@gmail.com

**Варфоломеева Оксана Григорівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Телекомунікаційних систем, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.  
Тел. +38 067 681 95 02 E-mail: ogvar13@gmail.com

### Authors of the article

**Uskach Maksim Mykhaylovych** - student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.  
Tel. +38 093 373 99 52. E-mail: maks.usk@gmail.com

**Varfolomeyeva Oksana Gryhorivna** – candidate of Science (technic), associate professor, associate professor of Department of Telecommunication Systems and networks, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.  
Tel. +38 067 681 95 02. E-mail: ogvar13@gmail.com

Дата надходження в редакцію: 02.11.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Ф. Заїка