

## РОЗВИТОК МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ, ПОРІВНЯННЯ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, АНАЛІЗ МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Sorokin D.V., Kysil Ye.O. Development of mobile networks, comparison of data transmission speeds, analysis of mobile technologies.** The analysis of the development of the mobile network, which is used both in industry and everyday life, is carried out. The list of mobile operators is given. The starting point analysis of the functioning mobile services and studying advanced technologies opportunities to operations & maintenance operators network, able to satisfy the business, government security sector and industry needs at the level of the modern radio network. A considerable impact of the information sphere on the social progress specifies the necessity of closer attention to expand and introduce radio network for the purpose of increasing the efficiency of functioning of specialized information and industrial networks that may be used in the government security sector and industry.

In accordance with the current social challenges and possible risks, occurring in Ukraine, the article considers alternative approaches and methods of expanding and constructing new services in radio networks. Based on the approaches, it is analysis that a possibility radio access system should be expanded, to work under special radio conditions and coordinate operators the work.

**Keywords:** mobile network, GSM, 2G, 2.5G: EDGE, 3G, 4G, 5G, HTML, CSS, LTE

**Сорокін Д.В., Кисіль Є.О. Розвиток мобільних мереж, порівняння швидкості передачі даних, аналіз мобільних технологій.** Проведено аналіз розвитку мобільних мереж. Наведено перелік мобільних операторів. Відправною точкою є аналіз функціонування мобільних послуг та вивчення можливостей передових технологій для експлуатації та обслуговування мереж операторів, здатних задовольнити потреби бізнесу, державного сектору безпеки та промисловості на рівні сучасної радіомережі. Значний вплив інформаційної сфери на суспільний прогрес визначає необхідність пильнішої уваги до розширення та впровадження радіомереж для підвищення ефективності функціонування радіомереж та сервісів, які можуть бути використані в державному секторі безпеки та промисловості.

У зв'язку з сучасними міжнародними безпековими викликами та можливими ризиками, що виникли під час війни в Україні, у статті розглядаються та порівнюються базові мобільні технології, які можуть використовуватись як альтернативні підходи та методи розширення та побудови нових послуг (сервісів) у радіомережах. На основі цих підходів аналізується можливість підвищення ефективності розширення системи радіодоступу та координації роботи операторів.

**Ключові слова:** мобільна мережа, 2G, 2.5G: EDGE, 3G, 4G, 5G, HTML, CSS, LTE

### Вступ

Процес еволюції мобільного Інтернету відбувався поступово та розтягнувся на десятиліття, і триває донині. Мобільні мережі змінили наше життя з початку 90-х років та продовжують змінювати відношення до сучасних технологій та сервісів.

Оскільки традиційна фіксована телефонія ставала все менш ефективним, сервіс ШПД Інтернет адаптувався до мобільних платформ, швидкість передачі даних збільшувалася (мережі 5G покращили пропускну здатність приблизно в десять разів більше 4G), а мобільні мережі стали однією з основних платформ для використання і вирішення багатьох задач.

**Аналіз останніх досліджень.** Європейський інститут телекомунікаційних стандартів, який розробив Groupe Special Mobile відомий сьогодні як стандарт GSM, який відкрив нові можливості для голосової телефонії, та по суті, запустили систему для здійснення телефонних дзвінків – сервісу «Voice». Тоді ніхто не думав, що GSM стане першим кроком в напрямку використання мобільного Інтернету. Саме стандарт GSM став базою для передачі даних в нових кінцевих пристроях, що дозволив впроваджувати нові розробки та новий функціонал нових розумних телефонів – «смартфонів». Нові функції та сервіси на телефонах дозволили відправку текстових повідомлення, завантаження розважального контенту, створило можливість надсилати електронні листи, переглядати веб-сайти та завантажувати простий медіа-контент (мелодії дзвінка та музичні файли).

Заглиблюючись в історичні події на початку розвитку мобільного зв'язку та аналізуючи досвід операторів мобільного зв'язку, який ґрунтувався на теоретичних та емпіричних методах

дослідження співробітників (1992 рік Sema Group Ltd. Ніл Папворт) тестували нову технологію для мобільного оператора Vodafone, надіславши коротке текстове повідомлення (Short Message Service знайоме як SMS). Це SMS-повідомлення містив два слова: «Щасливого Різдва». Тоді комунікаційна мережа ще не дозволяла відправляти повноцінне SMS-повідомлення з телефонних пристроїв на телефонні пристрої, тому перше повідомлення було відправлено з з електронного пристрою призначеного для обробки та передачі даних (EOM). Сервіс SMS-повідомлень спочатку був реалізований тільки в мережах GSM, але в кінцевому підсумку цей сервіс поширився на всі платформи мобільних мереж.

У 1997 році серед прогресивних виробників телекомунікаційного обладнання, що були лідарами по розробці та реалізації такого обладнання для мобільних операторів, (такими вендорами виступали відомі нам Motorola, Ericsson, Nokia) об'єднувались в єдину ідею вдосконалити сервіс Інтернет для мобільного зв'язку за допомогою рішення Wireless Application Protocol (WAP). Технологія WAP описала спосіб, яким мобільні пристрої отримували доступ до інтернет-ресурсів без використання сторонніх пристроїв таких наприклад як модем.

Протягом декількох місяців більшість великих виробників стільникової інфраструктури приєдналися до проекту, а вже в 1998 році була опублікована перша версія WAP (v.1.0.). Цей протокол передачі даних дозволяв передачу зі швидкістю від 9,6 до 56 Кбіт/сек.

Голландський мобільний оператор зв'язку під брендом TELFORT BV, у 1999 році запустив перший WAP-сайт, який був реалізований та адаптований для перегляду на мобільних пристроях. Таке технологічне рішення, з точки зору зовнішнього вигляду та реалізації WAP-сайту, на сам перед швидкості завантаження текстових сторінок, не виправдало очікувань користувачів такого сервісу. Окрім того, перші WAP-пристрої (телефонні термінали) не були адаптовані до сервісу Інтернет. Такий сервіс щодо підключення до WAP-послуг не включався в щомісячний тарифний план і доводилося оплачувати за цей сервіс окремо, а швидкість з'єднання такого сервісу була дуже повільною.

З 2013 року фактично відбулось припинення підтримки такого сервісу WAP-послуг. Починаючи з 2013 року більшість інтернет-браузерів почали перехід на HTML, CSS а потім і на JavaScript. Потреба в використанні WAP для забезпечення зворотної сумісності з веб-сторінками зовсім відпала. На той період, всі сучасні пристрої (телефони, планшети) на базі операційної системи Android, iOS (iPhone), всі телефонні пристрої Windows Phone, та багато телефонів Nokia, Blackberry почали підтримувати HTML.

Нові телефонні термінали перетворились на «Смартфони» – міні-ПК з постійним підключенням до мережі та сервісів Інтернет і рішення на базі WAP втратив будь-яку перспективу в подальшому розвитку. У цей час технології GPRS і EDGE почали активно розвиватися, і у 2000-х роках з'являються перші комерційні послуги та перші телефони, що підтримують технологію GPRS (General Packet Radio Service). В цей період відбувається стандартизація технології GPRS, Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів, та запущено в пілотні сервіси мобільного доступу в мережі Інтернет в стандарті GSM. В стандарті 2G/GPRS реалізована можливість передачі даних в діапазоні від 56 до 114 кбіт/с.

Пізніше на базі пакетної передачі в стандарті GPRS було модернізовано для GSM Evolution (EDGE) з підвищенням швидкості передачі даних. В модернізованій технології передачі даних, дані упаковуються і передаються по віртуальному каналу, який надавався абоненту протягом усієї сесії підключення, але при використанні одного каналу EDGE зменшувалась кількість речових каналів. Концепція, що дозволяла передачу пакетів в стільникових радіомережах, були збережені і еволюціонували від GPRS / EDGE до 3G і 4G.

**Постановка завдання.** При аналізі мобільних технологій, та сьогоденних викликів, виникає питання щодо вимог до сервісів які можуть надаватися в умовах війни. На основі аналізу функціонування мереж різного покоління, звузити до функціонального призначення певні сервіси, що можуть бути використанні в оборонному секторі. Аналітика розгорнутих технологічних рішень, дозволить через практичну призму, розставити пріоритети найближчого розвитку та технологічних рішень в оборонних та промислових секторах де планується базове використання мобільних мереж.

**Метою роботи** є аналіз функціонування мобільних мереж та технологій різного покоління, для з'ясування вимог до сервісів які можуть надаватися в умовах війни на базі методів інтегрування технологічних рішень.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Аналізуючи глобальні системи та стандарти, що використовуються при розгортанні мобільних мереж, перш за все хочеться зупинитись на стандарті EDGE в мережах GSM, що вперше був представлений на початку 2000-х роках. Впроваджуючи складні методи кодування та передачі, технологія EDGE забезпечувала більш високу швидкість передачі даних на радіоканал. Технологія EDGE (рис. 1) дозволяє реалізувати пропускну здатність даних до 236 Кбіт/с з теоретичним максимумом швидкості до 473,6 Кбіт/с (затримки становлять менше 150мс.).

|                  | GPRS<br>( 114 Kbit / s ) | EDGE<br>( 386 Kbit / s ) | HSPA<br>( 7.2 Mbit / s ) | HSPA+<br>( 56 Mbit / s ) |
|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| .html ( 100 KB ) | 15s                      | 5s                       | 600ms                    | 30ms                     |
| .png ( 3 MB )    | 7m 35s                   | 2m 31s                   | 8s                       | 1s                       |
| .iso ( 700 MB )  | 30h 20m 28s              | 8h 40m 13s               | 28m 54s                  | 2m 33s                   |

Рис. 1. Порівняння швидкості

В кінці 2000-х років були зроблені спроби поліпшити пропускну здатність 2.5G за допомогою стандарту Evolved EDGE, також відомого як EDGE Evolution. Цей стандарт зменшив затримку і збільшив швидкість до 1 Мбіт/с.

Оператори зв'язку зазвичай прагнуть модернізувати існуючу інфраструктуру для збільшення типу та якості сервісів, та разом з тим мінімізувати капітальні інвестиції в розвиток мереж, платформ. Отже при появі попиту на послугу широкосмугового доступу до мережі Інтернет, що супроводжувалось збільшенням гаджетів у кінцевих користувачів, оператори мобільного зв'язку почали впроваджувати нові технологічні рішення на базі діючої інфраструктури базових станцій. В свою чергу, користувачі з кінцевими мультимедійними сервісами, почали встановлювати вимоги до більш високої швидкості передачі даних. Оскільки 2G вже не міг задовольнити попит на новий тип сервісу «DATA».

Першим кроком впровадження новітніх рішень, було офіційне представлення технологій 3G в 2001 році в Японії. Основною технологічною відмінністю у технологічних рішеннях, на той час, нового 3G і 2G було технологічне рішення щодо використання комутації пакетів (3G), а не комутацію ланцюгів (2G). Завдяки цьому швидкість з 200 Кбіт/с, у стандарті 3G (MSCNS-D), збільшилася в середньому до 2 Мбіт/с. Відповідно відбувся великий крок в розвитку швидкості в мобільних сервісах передачі даних.

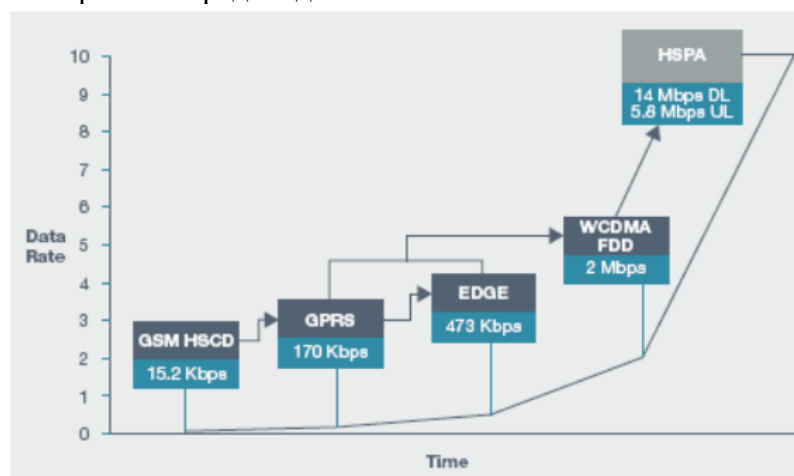


Рис. 2. Порівняння швидкості передачі даних

Надійні, швидкі з'єднання дозволили потокові відеосервіси, включаючи новий сервіс такий як «потокове відео». Більшість веб-сайтів почали розробляти версії для мобільних пристроїв. В

цілому, 3G значно змінив веб-індустрію, в першу чергу щодо додатків та фронтендових платформ в мережі Інтернет. Саме з переходом та поширенням технології 3G, можна сказати розпочалась сучасна ера безпроводових мобільних пристроїв, якими ми називаємо «смартфони». Після 2005 року, розпочався активний розвиток побудови 3G мереж з високошвидкісним доступом на базі HSDPA. Нова підсистема HSDPA (технологія 3.5G, 3G+, Turbo 3G) з максимальною (теоретичною) швидкістю передачі даних 14,4 Мбіт/сек (uplink -від базової станції до всіх місцевих абонентів) і до 5,76 Мбіт/с (downlink від абонента).

Після насичення ринку користувачів високошвидкісними пристроями та появою нових онлайнових платформ зростає потреба в збільшенні пропускної спроможності мобільного інтернету, що в свою чергу призводить до нової трансформації мобільних мереж та стандартів.

Перші мережі 4G були введені в США та Скандинавських країнах (LTE з пропускною здатністю 326,4 Мбіт/с по відношенню до абонента і 172,8 Мбіт/с в бік базової станції).

Технологія WiMAX та LTE відносяться до стандартів четвертого покоління комунікацій(4G). Головною перевагою LTE є безперервність з 3G (UMTS/HSPA, HSPA+). Технологія WiMAX є окремою галузевою еволюцією технологічного рішення, яка стримується обмеженою кількістю абонентських пристроїв, фактично відсутністю роумінгу та відмовою великих гравців операторського ринку інвестувати (в Україні були представлена такими операторами як FRESHTEL, Golden Telecom, Kyivstar, але станом на зараз ні один оператор в Україні не надає сервіс в цьому стандарті, та із зазначених операторів шляхом поглинання та злиття активів, так і частотних ресурсів залишився тільки оператор мобільного зв'язку Kyivstar).

Технологія 4G кардинально змінила швидкості мобільного інтернету та вимоги (що обумовлені потребами нових сервісів) в мінімальних затримках. Поточний стандарт 4G передбачає швидкість до 100 Гбіт/с для абонентів в ідеальних умовах, а затримки коливаються до 5-10 мс.

Щодо стандарту 5G, то стандарт в Україні ще офіційно не впроваджений, але активно тестується усіма мобільними операторами, що представлені на Українському телекомунікаційному ринку. З початком бойових дій, повномасштабним вторгненням Російської Федерації в Україну, планування та впровадження технології 5G призупинилося та стало на паузу. У світі 5G активно використовується і дедалі більше поширюється. Станом на 2024 рік у світі, експерти відзначають біля 3 млрд глобальних підключень 5G. Тенденція технології у світі продовжує розвиватися, найімовірніше, за інших умов розвиток 5G активно поширився і в Україні, однак війна внесла свої корективи. Висока вартість впровадження та втрата енерговиробничих потужностей, істотно вплинула на розвиток цієї технології в Україні, а в умовах військових дій роблять реалізацію впровадження недоцільним.

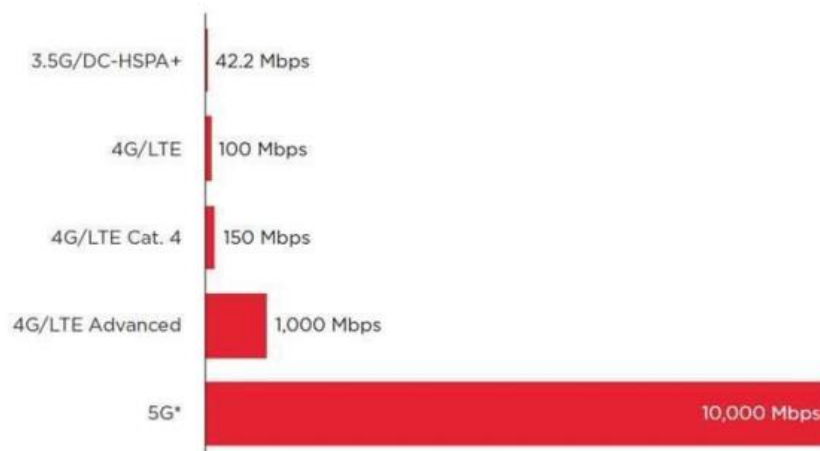


Рис. 3. Швидкість випробувань 5G

Не дивлячись на сучасні безпекові виклики, впровадження 5G в Україні очікуються в найближчі кілька років. 5G не тільки забезпечить високу швидкість передачі даних (рис. 3), але і дасть поштовх розвитку таких технологічних напрямків, як розвиток оборонного сектору,

безпілотний транспорт, розумні міста в рамках розробки Інтернет речей (підтримка одночасного підключення до 100 млн пристроїв на квадратний кілометр з затримкою не більше 1 мс.).

### Висновки

Хочеться відзначити, що зараз мобільні оператори зосереджуються на забезпеченні стабільності поточних мереж 4G та гармонізації частотного спектру для покращення якості зв'язку та оптимізації ресурсів з метою максимального покриття районів, які звільнені від окупації під час російсько-української війни. Оператори мобільного зв'язку оперативно відновлюють мережу, підсистеми базових станцій які були знищені бойовими діями, а також активно модернізують системи живлення на всіх рівнях мережі доступу, та базовій мережі. Така тенденція продовжить спостерігатись до кінця 2025 року.

Окремо хочеться відзначити, що сектор оборони в найближчий час почне активно використовувати інфраструктуру LTE мереж, для управління новими сервісами РТТ, управління безпілотними авіаційними комплексами, але безперечно пріоритетом сервісів буде передача даних. Ефективні та оновлені LTE-радіосервіси в секторі оборони, можуть виступити інструментом до оперативного успіху як на тактичному, так і на стратегічному рівні. Швидкий темп сучасних бойових дій вимагає гнучких, високоадаптивних сервісів, здатних до швидкого пересування, зберігаючи при цьому постійний стійкий зв'язок та можливості ситуаційної обізнаності. Взаємодія військових сервісів з цивільними радіосервісами, стає дедалі важливішою для забезпечення безперебійного командування та управління, особливо враховуючи зростання оперативного темпу модернізації військового сектору по всій Європі.

Сучасні радіотехнології та методи поширення даних, що реалізовані на базі інфраструктури телекомунікаційних операторів, дозволяють силам оборони протистояти сьогоdnішнім загрозам та досягнути відповідних результатів.

### Список використаної літератури:

1. Беркман Л.Н. Теорія електричного зв'язку. Підручник / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. - К.: Техніка, 2006. – С. 548
2. Кальченко А. С. Удосконалення методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах. Дисертаційне дослідження. GPRS/UMTS, Одеса, 2016. — 17 с.
3. Holma, H. W-CDMA for UMTS / H. Holma. — John Wiley & Sons, 2004 — 445 с.
4. WCDMA (UMTS). Deployment handbook. Planning and optimization / Ch. Chevallier, Ch. Brunner, A. Garavaglia, Kenn P. Murray. — Wiley, 2006. – 367 с.
5. Laiho, J. Radio Network planning and optimization for UMTS / J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad — Wiley, 2007. – 495 с.
6. Naworocki M. Understanding UMTS radio network. Modelling, planning and automated optimization / M. Naworocki, M. Dohler, A. Aghvami — Wiley, 2006. – 500 с.
7. Manninen M. Radio interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS / M. Manninen — Wiley, 2002. – 275 с.
8. ДСТУ 300-95. Державний стандарт України. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.

### Автори статті

**Сорокін Денис** – доктор філософії, експерт інтеграційного офісу дирекції зі стратегії ПрАТ «Водафон Україна», Київ, Україна.

ORCID: 0009-0003-7311-1166

**Кисіль Євген** – студент, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна.

ORCID: 0009-0006-3549-1809

### Authors of the article

**Sorokin Denys** – PhD, expert of the integration office strategy Vodafone UA, Kyiv, Ukraine.

ORCID: 0009-0003-7311-1166

**Kysil Yevhen** – student, State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine.

ORCID: 0009-0006-3549-1809