

*Одарченко Р.С., Терентьєва І.Є., Гнан Р.В., Михайленко К.О.,*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ СІМЕЙСТВА СТАНДАРТІВ 5G**

*Найближчим часом на зміну 4G у світі технологій прийде 5G. Основними вимогами, які будуть висуватись, являються поліпшення якості передачі даних, зменшення часу очікування, збільшення потужності і покращення якості обслуговування. В роботі проаналізовано майбутню технологію радіодоступу, досліджено прогнози розробників щодо стільникової мережі 5G. Запропоновані перспективні технологічні рішення для даної стільникової мережі. Показано, що запуск даного типу мереж є неминучим кроком в розвитку інформаційного суспільства.*

**Ключові слова:** Massive MIMO, 5G, системи зв'язку, зв'язок, LTE, D2D.

**Вступ.** В сучасному світі технології продовжують свій стрімкий розвиток досягаючи більш високої продуктивності і більшого числа можливостей. В майбутньому в доповнення до існуючих технологій радіодоступу, з'являться також нові технології (досі невідомі), які дозволять вирішувати ті завдання, які вирішити за допомогою 3G/4G неможливо. Широке використання існуючих і нових технологій сприятиме підвищенню якості користувацького досвіду і появи цілого ряду нових послуг.

У довгостроковій перспективі такого розвитку з'явиться те, що в світі називають 5G, тобто набір органічно інтегрованих технологій радіодоступу нового чергового покоління [1].

Що стосується інших широко розповсюджених технологій радіо доступу, то LTE – це еволюційний крок у розвитку технологій мобільного зв'язку, так само як і розвиток HSPA і Wi-Fi, який вже зараз являється технологією глобального доступу. GSM також буде відігравати важливу роль, продовжуючи залишатись домінуючою технологією в багатьох куточках земної кулі і після 2020 року. Тому, говорячи про перехід до 5G, мова йде не про заміну існуючих технологій, а швидше про їх розвиток і доповнення новими технологічними нововведеннями здебільшого для радіодоступу, призначеними для конкретних сценаріїв і певних цілей.

**Аналіз досліджень та публікацій.** В той час, як в іноземній літературі велося порівняння мереж нового покоління [6], визначення їх переваг та недоліків [7, 8], розроблялися вимоги до мереж нового покоління, наприклад, 5G [9], у вітчизняній літературі широко досліджувалися лише теоретичні аспекти впровадження мереж 3G та 4G [10], визначались перспективи [11] та причини відсутності їх впровадження, висувались різноманітні стратегії розвитку стільникових мереж в Україні [12, 13], розглядалися питання рефармінгу радіочастотного ресурсу [14]. Проте жодним чином не було проведено аналізу технологічних рішень, які можуть бути використані для підвищення ефективності сучасних стільникових мереж для досягнення вимог, які висуваються до мереж 5G.

**Постановка мети та завдання дослідження.** Тому основною метою статті є аналіз технологій бездротового доступу, що потенційно будуть використанні в мережі 5G, для визначення їх переваг та недоліків, які необхідно буде усунути.

**Виклад основного матеріалу.** Забезпечення безперебійної роботи 50 млрд (а можливо і 500 млрд) пристроїв є доволі непростим завданням. Разом зі зростанням кількості пристроїв, що підключені до мережі, будуть значно зростати і вимоги до їх об'єднання. Потоківідео, файлообмінні мережі, хмарні сервіси як і раніше будуть залишатися найбільш популярними

---

додатками, вимагаючи дедалі вищих швидкостей. В офісних приміщеннях і міському середовищі, де щільність запитів до мережі найбільш висока, необхідно забезпечити швидкості передачі даних в кілька Гб/сек. Така швидкість дозволить синхронізувати локальні сховища з хмарними і мережевими дисками, передавати відео надвисокої якості і підтримувати роботу додатків віртуальної і доповненої реальності [4].

Вартість розгортання, експлуатації та обслуговування мережі, а також вартості пристроїв повинні знаходитися на досить низькому рівні, щоб дозволити надавати популярні послуги з привабливою для користувача ціною, але в той же час бути вигідними і для операторів мереж. Тому важливе значення для досягнення низької вартості експлуатації мереж має також їх енергоефективність.

Для того, щоб впоратися з завданнями, описаними вище, потрібна розробка нових, більш досконалих і ефективних рішень бездротового доступу. Вдосконалені версії існуючих технологій радіодоступу будуть доповнені новими, направленими на конкретні сценарії і способи застосування. Технології 5G дозволять користувачам повністю розкрити потенціал технологій мобільного зв'язку та нових сервісів, а операторам зв'язку – реалізувати додаткові джерела доходу.

На підставі основних функцій систем мобільного зв'язку, технічні характеристики безпроводового інтерфейсу 5G можна розділити на наступні основні складові частини: кадрову структуру, дуплекс, форму сигналу, множинний доступ, модуляція та кодування, антени і протоколи. Кожна складова повинна охоплювати загальний технічний зміст якомога ширше, щоб досягти хорошого балансу між гнучкістю і простотою. Різні складові можуть з'єднуватися і працювати разом. Відповідно до технічних вимог кожного сценарію, технічні складові можуть бути оптимізовані і гнучко налаштовані з утворенням відповідного технічного рішення. Основні технічні складові описуються наступним чином:

**1) Структура кадру і каналутворення.** Параметри 5G радіоінтерфейсу повинні бути гнучко налаштовані для різних сценаріїв і послуг. Ширина смуги, відстань між піднесучими, циклічний префікс (CP), часовий інтервал передачі (TTI), конфігурація висхідного та низхідного каналу, можуть бути адаптовані до різних смуг частот, сценаріїв і каналних середовищ. Опорні сигнали і канали керування можуть бути гнучко налаштовані для підтримки застосування Massive MIMO, множинного доступу (Novel Multiple Access [2]) і інших передових технологій.

**2) Дуплекс.** 5G буде підтримувати традиційні FDD, TDD, і їх удосконалення. Також можуть підтримуватися нові дворівневі технології, такі як гнучкий дуплекс (Flexible Duplex) і повний дуплекс (Full Duplex). По низхідному інтерфейсу буде забезпечуватись FDD і TDD (TDD є більш відповідним для безпроводового інтерфейсу високої частоти).

**3) Форма несучої хвилі.** На додаток до традиційних OFDM і однієї несучої сигналу, можна також використовувати нові форми несучої хвилі на основі оптимізованої фільтрації, такі як FBMC [1, 2], F-OFDM [2], UFMC [1, 2]. Ці форми хвиль можуть підвищити ефективність використання всього спектрального ресурсу та його фрагментів, при цьому співіснуючи з іншими видами несучих хвиль. Різні форми хвилі мають різні діапазони розповсюдження, накладні витрати, і середню пікову потужність (PAPR). Таким чином, відповідні форми несучої хвилі можуть бути обрані, щоб адаптуватися до вимог різних сценаріїв. У деяких випадках кілька форм хвилі можуть співіснувати, утворюючи нові більш досконалі сигнальні структури.

**4) Множинний доступ.** 5G буде підтримувати не тільки традиційну OFDMA [12,13], а й деякі нові схеми множинного доступу, включаючи SCMA [6], PDMA [4,6], і MUSA [6], які можуть підтримувати більшу кількість з'єднань і поліпшити ефективність використання частотного ресурсу. Крім того, затримка радіоінтерфейсу може бути значно знижена шляхом використання гарантованого надання доступу.

**5) Модуляція і кодування.** 5G повинна підтримувати різні послуги, для яких потрібна висока і низька швидкість передачі даних, малий розмір пакетів, низька латентність і висока

---

надійність. Для отримання послуг з високою швидкістю передачі даних, коди з малою щільністю перевірок на парність (LDPC [4, 6]) та полярні коди, можуть додатково підвищити ефективність використання спектра, в порівнянні з традиційними бінарними турбокодами і QAM. Для отримання послуг високої надійності, слід уникати ефекту алгоритмів декодування. При цьому ефективна пропускна здатність системи може бути збільшена за допомогою мережевого кодування.

**6) Антенні системи.** В системах 5G буде використовуватися технологія Massive MIMO [1,2,5]. Кожна базова станція може бути оснащена більше ніж сотнею антен і десятками антенних портів, які надають змогу підключити розширену, розраховану на багато користувачів MIMO для підтримки більшого числа користувачів в просторовій області. Як результат, ефективність використання частотного ресурсу буде покращена в кілька разів. Massive MIMO може також використовуватися в смугах високих частот, щоб подолати великі втрати на трасі розповсюдження шляхом адаптивного формування діаграми спрямованості. Для повноцінного застосування технології Massive MIMO повинні бути поліпшені і оптимізовані існуючі алгоритми, що призначені для системи опорних сигналів, оцінки каналу зворотного зв'язку та інформаційного каналу, механізму багатокористувальницького планування.

**7) Протокол.** Протокол безпроводового інтерфейсу 5G повинен підтримувати різні найсучасніші способи планування, адаптації лінії зв'язку і мульти-з'єднання. Протокол може бути гнучко настроєний для задоволення вимог різних сценаріїв, а також ефективно підтримувати нові технології радіодоступу.

**8) Інтерфейс.** Для зменшення службової інформації та спрощення процедури сигналізації під час взаємодії між базовими станціями і абонентськими терміналами може бути використаний новий протокол. В результаті його використання може бути значно зменшена затримка часу доступу. При цьому повідомлення гібридного автоматичного перезапиту (HARQ) протоколу 5G повинні відповідати різним вимогам якості обслуговування, зокрема по латентності і надійності. Крім того, 5G повинен підтримувати більш ефективний механізм, який буде достатньо енергоефективним для задоволення вимог низького енергоспоживання пристроїв для надання послуг IoT [10].

На основі технічної основи радіоінтерфейсу 5G, для формування технічного рішення для конкретних вимог продуктивності, доступних частотних діапазонів, можливостей обладнання і вартості реалізації може бути проведена також оптимізація комбінації технологій і параметрів. При цьому технічна база здатна вирішувати майбутні нові сценарії і вимоги до обслуговування для реалізації концепції сумісності обладнання різних виробників та технологічних рішень.

**Нові технологічні рішення.** Розглянувши основні складові, необхідні для повноцінної успішної реалізації сценаріїв, передбачених в 5G, можна використовувати наступні технологічні рішення.

**Novel Multiple Access.** Нові методи доступу з використанням технологій SCMA, PDMA, та MUSA, можуть значно підвищити ефективність використання спектра і можливість доступу багатьох користувачів до інформації, що передається, використання удосконалених алгоритмів для відновлення інформації в приймачі. Крім того, надання вільної передачі може спростити процес передачі сигналу і зменшити затримку в радіоінтерфейсі. Частіше за інші використовують технологію Sparse Code Multiple Access (SCMA) – багатостанційний доступ до мережі мобільного зв'язку, заснований на розріджених кодах [3]. Ця технологія поєднує в собі код низької щільності і технології модуляції, вибирає оптимальні коди шляхом кон'юнкції, заміщення і повороту фази, і робить таким чином, щоб різні користувачі передавали інформацію на основі привласнених кодових книг [12]. На стороні приймача, алгоритм передачі повідомлень (MPA) використовується для декодування даних. В результаті неортогонального суперпозиціонування розрідженим кодом, SCMA може підтримувати більшу кількість користувачів, що зможуть одночасно підключатися з

---

аналогічним частотним ресурсом, а також поліпшити якість зв'язку на одного користувача через багатовимірну модуляцію і розширення спектра.

**Full Duplex** – технологія, що здатна подвоїти ефективність використання спектра існуючих систем зв'язку. Дослідження систем повного дуплексу діляться на два основних напрямки:

1) *Зменшення власних завад.* З точки зору фізичного рівня, основна проблема повного дуплексу полягає в тому, як ефективно усунути власні завади, які генеруються з локального передавача на стороні приймача.

2) *Мережеві технології в режимі повного дуплексу.* З точки зору мережі, повний дуплекс має велику гнучкість, що надає змогу контролювати спосіб передачі і прийому. За допомогою зміни традиційних використань спектра, очікується, що повний дуплекс принесе більш інноваційні методи по протоколам доступу і управління ресурсами бездротової мережі, що в свою чергу вимагає більш ефективно розроблених мережевих архітектур. З цією метою, попередні дослідження були проведені з акцентом на наступних напрямках: проектування архітектурних рішень для гібридних дуплексних/ напівдуплексних мереж, розробці міжвузлових стратегій координації перешкод, управління ресурсом двобічної мережі і проектування структури кадру LTE при дуплексному режимі тощо. В цих умовах необхідною є повнодуплексна технологія, яка підходить для сценаріїв з обмеженим спектром, низькою рухливістю і низьким енергоспоживанням зв'язку. Під інші більш складні і досконалі сценарії застосування будуть розроблятися нові версії повнодуплексної технології.

**Flexible Duplex.** З розвитком інтернет-відео та служб соціальних мереж, майбутнє мобільного трафіку представляється наступним чином: відношення DL і UL трафіку може змінюватися з часом і місцем розташування. Проте, поточний статичний розподіл частотних/часових ресурсів для приймальної лінії зв'язку і передачі по передавальній лінії зв'язку в LTE не є ефективним для підтримки динамічного трафіку асиметричних стільників. З Flexible Duplex, ресурси можуть бути виділені для DL або передачі UL динамічно, що може значно підвищити ефективність використання частотного ресурсу. Flexible Duplex може бути застосований до малопотужних невеликих стільників або ретрансляційних вузлів.

**Advanced Modulation and Coding.** Є досить багато різних напрямків досліджень в області сучасної модуляції і кодування. Вони можуть бути умовно розділені на три групи: зв'язок рівня модуляції і кодування, мережевого кодування і адаптації лінії зв'язку. Серед кодування каналного рівня можна виділити недвійкове каналне кодування [11], бітове відображення [7,8] і спільна модуляція та кодування [5,6]. Адаптація лінії зв'язку включає в себе малозшвидкісні коди [7], засновані і узгоджені за швидкістю, а також деяке інженерне орієнтоване кодування [5]. У недвійкових кодів, продуктивність лінії зв'язку може мати значення близьке до межі Шеннона за допомогою проведення операції Galois Field і чергування бітів. Збільшення різноманітності досягається також за допомогою цієї операції.

Таким чином, підводячи підсумки проведеного змістовного аналізу, можна стверджувати, що найбільш перспективними технологічними рішеннями для мереж 5-го покоління є:

- застосування малих стільників (Small Cell) зі надщільним розподілом;
- застосування масивних (багатомірних) MIMO;
- розвиток антен, в тому числі застосування винесених радіоголівків і застосування антен з формуванням проміння (Beamforming);
- удосконалення методів придушення завад;
- використання режиму D2D;
- повний дуплекс в загальній смузі частот (передача і прийом на одних і тих же частотах);
- перехід в область більш високих частот, що дозволить працювати з набагато більшими смугами частот.

**Висновок.** Таким чином, концепція мереж п'ятого покоління передбачає розгортання надщільних мереж з високошвидкісним доступом поверх вже існуючих мереж, які будуть

забезпечувати загальне покриття.

У зв'язку з цим очікується, що операторів, які працюють тільки в мережах 5G, не буде, так як впровадження таких мереж в даний час представляється економічно недоцільним.

При цьому різні технології будуть доповнювати одна одну для забезпечення повсюдного обслуговування за допомогою мереж рухомого зв'язку. Очевидно, що є величезний потенціал використання смуг спектра вищих частот, багатоантенних методів і розгортання малих стільників, схем, що підтримують міжмашинну взаємодію і скорочують енергоспоживання в мережах рухомого зв'язку. Тому дослідження вищезазначених технологій являється дуже актуальним завданням, вирішення якого буде направлено на підвищення ефективності стільникових мереж нового покоління.

## ЛІТЕРАТУРА

1. <http://www.ericsson.com/res/docs/2013/networked-society-essentials-booklet.pdf>
2. Тихвинский В., Бочечка Г. Перспективы миллиметрового диапазона для 5G в России // Первая миля. 2014. №2. С. 36–39.
3. Вишневский В., Фролов С., Шахнович И. Миллиметровый диапазон как промышленная реальность. Стандарт 802.15.3с и спецификация WirelessHD // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. 2010. №3. С. 70–79.
4. Журнал «Мобильные телекоммуникации» 2014 №08-10 ноябрь-декабрь.
5. Rapaport T.S. et al. 73 GHz Millimeter-Wave Indoor and Foliage Propagation Channel Measurements and Results. – NYU WIRELESS: Department of Electrical and Computer Engineering, NYU Polytechnic School of Engineering, Tech. Rep. 2014–003, July 2014.
6. IMT-2020 Promotion Group [електронний ресурс] – електронні текстові дані- режим доступу: [http://www.cloudioe.com/resources\\_details.aspx?id=329](http://www.cloudioe.com/resources_details.aspx?id=329).
7. Вишневский В. М. Энциклопедия WiMAX: Путь к 4G / В. М. Вишневский, С. Л. Портной, И. В. Шахнович – М. : Техносфера, 2009. – 472 с.
8. GSA Evolution to LTE report [електронний ресурс] – електронні текстові дані – режим доступу:
9. [http://www.gsacom.com/downloads/pdf/GSA\\_Evolution\\_to\\_LTE\\_report\\_060514.php4](http://www.gsacom.com/downloads/pdf/GSA_Evolution_to_LTE_report_060514.php4).
10. Ericsson Mobility Report [електронний ресурс]– електронні текстові дані – режим доступу: <http://www.ericsson.com/mobility-report>.
11. Understanding 5G [електронний ресурс]– електронні текстові дані – режим доступу: <http://www.arnitsu.com>.
12. Перспективи та рекомендації по впровадженню стільникового зв'язку 4-го покоління / В. В. Ткаченко, Р. С. Одарченко, В. С. Повхліб, Т. Р. Андрійченко // Проблеми навігації та управління рухом : Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів; м. Київ, 21–22 листопада 2011 р. : тези доповідей / редкол. : М. С. Кулик та ін. – К. : НАУ, 2011. – С. 122.
13. Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – М. : Эко-Трендз, 2010. – 284 с.: илл.
14. Ткаченко В. В. Вітчизняні перспективи розвитку технології LTE / В. В. Ткаченко, І. О. Дударчук, К. В. Дружиніна // Проблеми навігації та управління рухом : Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів; м. Київ, 23–24 листопада 2010 р. : тези доповідей / редкол. : М. С. Кулик та ін. – К. : НАУ, 2010. – С. 105.
15. Ткаченко В. В. Методи прогнозування попиту на послуги мереж LTE / В. В. Ткаченко, Р. С. Одарченко, Ю. О. Петрова // Політ-2011. Сучасні проблеми науки : міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, 7–9 квітня 2010 р.: тези доп. – К. : НАУ, 2011. – С. 30.

### **Р.С. Одарченко, И.Е. Терентьева, Р.В. Гнап, К.О. Михайленко** **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ** **СОТОВЫХ СЕТЕЙ СЕМЕЙСТВА СТАНДАРТОВ 5G.**

*В ближайшее время на смену 4G в мир технологий придет 5G. Основной целью или требованием, которой будет, улучшения качества передачи данных, уменьшение времени*

---

---

ожидания, увеличение мощности и улучшения качества обслуживания. В работе представлены будущая технология радиодоступа, проанализированы прогнозы разработчиков по сотовой сети 5G. Предложенные перспективные технологические решения для данной сотовой сети. Показано, что запуск данного типа сетей неизбежный шаг в развитии информационном мире.

**Ключевые слова:** Massive MIMO, 5G, системы связи, связь, LTE, 2D2.

**R. Odarchenko, I. Terentyeva, R. Gnap, K. Mikhaylenko**

## **RESEARCH OF PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL DECISIONS FOR CELLULAR NETWORKS 5G**

*In the near future to the variable-4G come into the world of 5G technologies. The main purpose or requirement, which will improve the quality of data transmission, reducing waiting times, increasing capacity and improving service quality. The paper presents the future radio access, analyzed the forecasts of development over the cellular network 5G. Proposed promising technological solutions for the cellular network. It is shown that the start-up of this type of networks is an inevitable step in the development of the information world.*

**Keywords:** Massive MIMO, 5G, communication, copulas networks, LTE, 2D2.

УДК 504:663.63/64:658.516

**Слива Ю., Снєгірєва Д.**

## **ЕКОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ ДЛЯ ВОДИ ПИТНОЇ ФАСОВАНОЇ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ДСТУ ISO 14024:2002**

*У статті розкрито умови формування екологічних критеріїв для води питної фасованої відповідно до вимог ДСТУ ISO 14024:2002, подано визначення понять «екологічне маркування», «екологічний знак», «екологічні критерії», «життєвий цикл виробництва».*

**ВСТУП.** Сучасні потреби свідомих споживачів з кожним роком стають дедалі вищими, орієнтуючись на «чисту» продукцію, суспільство обирає саме таку, яка несе меншу загрозу для здоров'я людей і добробуту довкілля. Найбільші вимоги до якості і безпечності продукції серед споживачів зосереджені на продукції щоденного вжитку та продукції побуту. У словнику С. І. Ожегова «чистий» визначається як «такий, що не містить нічого стороннього, без домішок», а отже, екологічно чистий продукт – це продукт без вмісту сторонніх домішок, в даному випадку – речовин, які могли б проникнути в цей продукт з забрудненого середовища, з упаковки або ж потрапити в продукт в процесі його виробництва [1].

Більшість товаровиробників прагнуть підкреслити якість своєї продукції, використовуючи такі позначення як: «екологічний», «натуральний», «екологічно чистий», «органічний», «біо» тощо. Як правило, ці твердження є оманливими. Лише оцінка відповідності та сертифікація свідчить про відповідність продукції, товарів, послуг вимогам екологічних критеріїв.