

ТЕХНІЧНІ І РЕГУЛЯТОРНІ АСПЕКТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕФІРНИХ ВИМІРЮВАНЬ У МЕРЕЖАХ РУХОМОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G

Корсун В.І., Тичинський А.В.

Український державний центр радіочастот (УДЦР),
Україна

E-mail: korsun@ucrf.gov.ua,
tychinskij@ucrf.gov.ua

Abstract

License conditions should ensure interference-free operation or electromagnetic compatibility (EMC) for the radio equipment of MNO networks in the common frequency range, as well as set certain requirements for quality of service (QoS) levels. In most cases operators' compliance with these requirements is monitored by traditional methods using radio frequency monitoring systems and service quality control systems through radio measurements of the parameters of the 5G-NR base station's signal emission. The article provides an assessment of the radio environment around the 5G-NR base station, which is dynamically changing according to the adaptive frequency-time and energy-space modes operation of the base station. Possible methods of measuring radiation parameters (Block Edge Mask) and QoS levels in conditions of their dynamic changes are considered

До ефірних ОТА (Over-the-air) вимірювань, пов'язаних із дотриманням ліцензійних вимог щодо беззавадової роботи мереж операторів в країнах Євросоюзу, відносять [1, 2]:

- Перевірку обмежень випромінювань радіобладнання БС 5G-NR (або скорочено gNodeB / gNB) в межах смуги ліцензованих каналів (блоку ліцензування) і позасмугових випромінювань за критеріями маски краю блоку ліцензування (BEM – Block Edge Mask);
- Перевірку випромінювань у частині розслідувань випадків завад;
- Перевірку дотримання вимог координаційних угод мережами національних операторів і операторів сусідніх країн у прикордонних зонах щодо рівнів випромінювань.

До ефірних вимірювань, пов'язаних із перевіркою ліцензійних вимог щодо рівнів показників QoS, відносять [3]:

- Перевірку покриття визначеної території і населення послугами зв'язку, а саме: достатнього рівня сигналу приймача БС (доступності мережі);
- перепускної спроможності каналів зв'язку у низхідній (DL) і висхідній (UL) лініях зв'язку БС та інших ключових показників продуктивності мереж 5G [4, 5] в межах покриття, представлених в Таблиці 1.

У технологіях 5G застосовуються низка технологічних рішень, поява яких призвела до особливих технічних вимог щодо випромінювань БС, що, в свою чергу, зробило традиційні методи проведення ефірних вимірювань випромінювань БС такими, що не відповідають фізичним процесам, які відбуваються у радіоефірі, і тому результати вимірювань не можна визнавати надійними. Міжнародні і національні організації зв'язку, всі заінтересовані сторони проводять відповідні дослідження щодо пошуку ефективних підходів і методів проведення вимірювань, адекватних фізичним процесам, що відбуваються в радіоефірі мереж 5G. Нижче наводяться основні технологічні рішення 5G технологій, приклади регуляторних вимог щодо параметрів випромінювання БС і QoS і практичних методів проведення ефірних вимірювань [6, 7, 8].

Адаптація ліцензованого спектра оператора до мережевого навантаження. Об'єднання несучих (CA – Carrier Aggregation) підтримує функції об'єднання смуг TDD непарного спектру 3GPP з різними розподілами частот на лініях DL і UL, в залежності від загального стану трафіка у мережі, а

також набір функцій для підтримки численних удосконалень щодо синхронізації. Об'єднання несучих також підтримує функції об'єднання компонентних несучих FDD та TDD. Подвійне підключення (DC – Double Communication) дозволяє об'єднувати компонентні несучі різних вузлів БС, підключених через неідеальне транзитне з'єднання. Внаслідок такого об'єднання достатньо складно оцінити шляхом поточного вимірювання результуючу перепускную спроможність в каналах DL і UL. Через це ліцензійна вимога щодо швидкості передачі даних встановлюється як потенційно можлива в залежності від загального ліцензованого частотного ресурсу, що є у розпорядженні оператора, з урахуванням всіх смуг частот у різних ділянках спектру, задіяних у CA і особливостей локалізації БС. Як приклад, у [9, 10, 11] наводяться обов'язки операторів із забезпечення швидкості передачі даних при ліцензуванні РЧС в діапазоні 3,4-3,8 ГГц, що становили: у Франції 240 Мбіт/с на сектор у 90% секторів всіх сайтів до 31.12.2025 р.; у Німеччині 100 Мбіт/с для 98% домогосподарств до кінця 2022 р, у Румунії: 600 Мбіт/с, в окремих містах до 1,2 Гбіт/с.

Таблиця 1 Вимоги до показників продуктивності (KPI) 5G на рівні ITU [4]

Параметр вимог до KPI мережі 5G	Мінімальні вимоги до показників KPI	Категорія застосування мережі 5G
Пікова швидкість передачі даних (з CA)	Downlink: 20 ГГб/с Uplink: 10 ГГб/с	eMBB
Пікова спектральна ефективність	Downlink: 30 біт/сек/Гц Uplink: 15 біт/сек/Гц	eMBB
Швидкість передачі даних за оцінкою користувача (QoE)	Downlink: 100 Мбіт/с Uplink: 50 Мбіт/с	eMBB
Перепускна спроможність по ефіру	Downlink: 10 Мбіт/с/м ² внутрішнє щільне застосування (тестове середовище eMBB)	eMBB
Затримка передачі (для користувача)	• 4 мс для eMBB • 1 мс для URLLC	eMBB, URLLC
Затримка передачі (для управління)	• 20 мс (10 мс пропонується)	eMBB, URLLC
Щільність комунікацій	1 x 10 ⁶ засобів/км ²	mMTC
Середня спектральна ефективність	(Всі величини в одиницях біт/с/Гц/TRxP) Внутрішнє щільне (hotspot): DL:9/ UL:6.75 Щільне місто: DL: 7.8/ UL: 5.4 Сільське: DL: 3.3/UL: 1.6	eMBB
Енергетична ефективність	Ефективна передача даних (завантажений випадок): демонструється "середньою спектральною ефективністю". Низьке енергоспоживання (без передачі даних): цей тестовий приклад має підтримувати високий коефіцієнт мовчання/довгу тривалість мовчання	eMBB
Надійність передачі	Ймовірність успіху 1 x 10 ⁻⁵ для передачі PDU (protocol data unit) рівня 2 розміром 32 байти протягом 1мс (з якістю каналу на межі покриття для тестового середовища Urban Macro-URLLC)	URLLC
Швидкість руху терміналу	• Перевантажене місто: до 30 км/ч • Сільська місцевість: до 500 км/ч	eMBB
Час переривання передачі у русі терміналу	0 мс	eMBB, URLLC
Загальна ширина каналу (Максимально об'єднана система)	• Мінімально 100 MHz • До 1 ГГц для роботи у високих діапазонах (вище 6 ГГц)	IMT-2020

Адаптація частотно - часового ресурсу до локального трафіку і для мінімізації дії завад. Як у часовій, так і у частотній областях підтримується поканальне планування ліній DL і UL в режимі часового дуплексу (TDD), який є переважним для більшості частотних діапазонів, узгоджених 3GPP для обладнання 5G-NR. При цьому планувальник (scheduler) БС здійснює динамічний вибір

~~(перерозподіл) частотного ресурсу між DL і UL шляхом вибору відповідної до трафіку кадрової (frame) структури та швидкості передачі. Специфікаціями [5] передбачається підтримка~~ планування координат перешкод між стільниками (ICIC - Inter-cell interference coordination), коли сусідні стільники обмінюються інформацією, що допомагає здійснювати планування та зменшити дію перешкод. ICIC також може використовуватися для однорідного розгортання стільників, що не перекриваються і з однаковою потужністю передачі, а також для неоднорідного розгортання, при якому стільник з вищою потужністю накриває одну або кілька стільників із меншою потужністю. Це стає можливим за умови мережевої синхронізації і узгодженого переліку кадрових конфігурацій (структур) сигналу у власних мережах операторів. Також важливе значення планування набуває для вирішення питання мінімізації дії міжканальних ("cross-link", DL проти UL) завад між сусідніми частотними каналами різних операторів на національному рівні або соканальних завад між БС мереж операторів різних країн у прикордонних регіонах. Адаптивний режим використання частотно - часового ресурсу БС призвів до динамічної зміни загальних параметрів стільників мережі, у цілому, і ускладнив вимірювання параметрів БС у робочому режимі.

Адаптація енергетичного ресурсу на потребу користувача. Активні антенні системи (AAS – Active Antenna System) 5G на основі технології масованих MIMO (Multiple Input Multiple Output) та динамічного формування променів у двох площинах простору. Потужність випромінювання для AAS оцінюється загальною потужністю випромінювання (TRP – Total Radiated Power), що визначається як інтеграл потужності, яка передається в різних напрямках по всій сфері випромінювання AAS. Це ускладнює виконання вимірювань по ефіру, у порівнянні з ЕІВП від направленої антени із статичним променем. Польові ефірні вимірювання відокремлені від тестування на відповідність, яке зазвичай проводиться в лабораторії відповідно до гармонізованих стандартів ETSI. Тому для проведення вимірювань можуть застосовуватись спеціальні методи [1] для визначення або оцінки TRP (з еквівалентними показниками вимірювання) за допомогою OTA вимірювань для внутрішньоблокових (in-block) ліцензованих випромінювань AAS 5G. Обмеження на потужність внутрішньоблокових випромінювань (маска BEM) є частиною ліцензійних вимог щодо використання ліцензованого спектру.

Визначення величини TRP у 5G NR базується на вимірюванні потужності блоку сигналу синхронізації SSB (Synchronisation Signal Block) в режимі роботи IDLE (доступність). Сигнал SSB є складовою частиною OFDM сигналу із 4-х символів, його потужність є фіксованою і може бути виміряна до переходу БС в робочий режим (CONNECTED). Оскільки у 5G NR загальні канали та канали даних роз'єднані з точки зору діаграми спрямованості антени, тобто є незалежними, то розрізняють дві різні концепції покриття: покриття в режимі IDLE і покриття в режимі CONNECTED. Крім того, можуть реалізовуватись два типи діаграм випромінювання для сигналу SSB (фіксований промінь або багатопрімінь із розгорткою променю у одній або 2-х площинах), що впливатиме на значення потужності SS-RSRP (Reference Signal Received Power), але без остаточного впливу на досвід кінцевого користувача.

Оскільки, наприклад, в горизонтальній площині AAS формує певну кількість промінів, то виникає можливість виміряти потужність SSB у кожному із промінів в секторі, просумувати ці потужності і перерахувати їх у потужність TRP. У звіті [1] наводяться 3 способи практичного вимірювання TRP:

- Наземне вимірювання сигналу ширококомплексного (broadcasting) і SSB в нормальному режимі роботи БС (Рис.1);
- Повітряне (на борту) вимірювання сигналу ширококомплексного і SSB, а також сигналів трафіку за допомогою дрону в умовах, коли БС знаходиться в тестовому режимі, а промінь у статичному положенні;
- Наземне вимірювання шляхом послідовного переміщення променю і терміналу в активному режимі і за умови роботи БС в робочому режимі.

Ефірні вимірювання в польових умовах, як правило, ускладнені через невизначеності, спричинені реальними змінними умовами динамічної продуктивності AAS: реального стану трафіку (кількості активних UE, навантаження трафіку тощо); середовища розповсюдження (багатопріменевість, погодні умови тощо); динамічного коригування частотного ресурсу і напрямку переміщення променю; реальних характеристик БС 5G). Ідеального єдиного показника не існує як для режиму IDLE, так і для режиму CONNECTED, і в дослідженнях [1] зазначаються переваги та недоліки для всіх розглянутих підходів. Рекомендується комбінований підхід різних показників

(отриманих від застосування одного, чи іншого режиму), щоб отримати більш чітку картину покриття 5G.

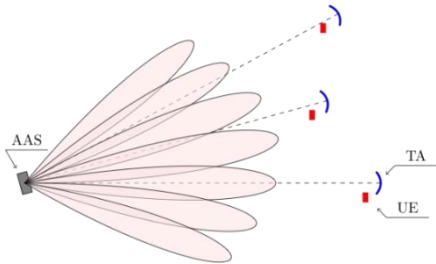


Рис. 1 Положення тестової антени (ТА) і терміналу користувача (UA) відносно променя AAS в горизонтальній площині [1].

Що стосується можливості вимірювання рівня позасмугових/небажаних (*transitional* і *baseline* ділянки ВЕМ) випромінювань, то проведення коректних вимірювань додатково обмежуються, серед іншого [2], тим фактом, що для забезпечення дотримання обмежень базова станція повинна передавати на повній потужності та у смузі пропускання, що не може бути гарантовано а ні під час звичайної роботи БС, а ні у тестовому режимі. Конструкція і принцип роботи AAS не передбачають місця підключення вимірювального засобу, особливо у високих діапазонах частот, а специфікації 3GPP не визначають чітко тестовий режим або тестовий сигнал. Крім того, коефіцієнт підсилення антени та діаграми спрямованості в небажаних частотних областях невідомі, хоча ці дані є однією з передумов більшості методів вимірювання, що є предметом дослідження міжнародних заінтересованих організацій [2].

Висновки

Адаптивні режими використання частотно-часових ресурсів і енергетично-просторових характеристик базових станцій 5G передбачають динамічну зміну параметрів випромінювання, що призводить до утворення змінних умов стану радіоефіру в межах зони проведення польових вимірювань щодо випромінювання базових станцій 5G. В таких умовах результати проведення вимірювань традиційними методами радіочастотного моніторингу і перевірки параметрів якості послуг зв'язку уявляються недостатніми і не можуть вважатись остаточними.

Діючі специфікації і результати досліджень, проведених заінтересованими міжнародними організаціями, представляють ряд методів проведення ефірних вимірювань, але остаточно не визначають єдині підходи, а рекомендують визначитись з обраними підходами на національному рівні, враховуючи національну політику та цілі покриття. За таких умов вирішити питання обрання єдиних підходів можливо шляхом проведення власних досліджень на національному рівні, а отримані результати можуть бути покладені в основу регуляторних документів і єдиних методів проведення ефірних вимірювань.

Література

1. ECC Report 345: In-band measurement methodologies for 5G AAS base stations in the field, October 2022, www.cept.org
2. ECC Report 249: Unwanted emissions of common radio systems: measurements and use in sharing/compatibility studies, October 2022
3. ECC Report 341: Coverage availability and performance aspects for 5G NR, July 2022
4. Report ITU-R M.2410-0 (11/2017): Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)
5. 3GPP TS 38.104 V16.6.0 Release 16 (2021-01): 5G; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception.
6. Recommendation ITU-R M.2150-1(02/2022): Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2020 (IMT-2020)
7. Report ITU-R M.2412-0 (10/2017): Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020
8. ETSI TS 128 552 V16.9.0 (2021-05): 5G; Management and orchestration; 5G performance measurements (3GPP TS 28.552 version 16.9.0 Release 16)
9. Draft Decision proposing the procedure for awarding the 3490 - 3800 MHz band in Metropolitan France, July 2019, <https://3.5.GHz.frequency.awards-call-for-tender.pdf>
10. [Decision of the President's Chamber of the Bundesnetzagentur](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/Areas/Telecommunications/Companies/TelecomRegulation/FrequencyManagement/ElectronicCommunicationsServices/), <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/Areas/Telecommunications/Companies/TelecomRegulation/FrequencyManagement/ElectronicCommunicationsServices/>
11. Romania mobile network experience, <https://www.opensignal.com/reports/2022/01/romania/mobile-network-experience>, <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-5g-regulation-and-law/romania>