

ТЕХНІЧНІ І РЕГУЛЯТОРНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИВАТНИХ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 5G

Корсун В.І., Тичинський А.В.

Український державний центр радіочастот (УДЦР),
Україна

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

Abstract

Search for spectrum suitable for commercial licensed use is one of modern trends in development of mobile communications area, especially for the medium frequency band. This was a reaction on development of communication technologies, as the demand for mobile data growing. On the other hand, in conditions of long-term compensation for the expensive 5G deployment all interested parties are in search of business - effective models for the service provision. The PMN (Private Mobile Network) for 5GC (Core) networks, regardless of the industry or company where they are implementing, open the way to greater opportunities and new way for income to operators and enterprises. This article presents the main technical and regulatory aspects and possible ways to overcome challenging in PMN implementation

Реалізація концепції спільного доступу до спектру для 5G приватних мобільних мереж PMN [1] передбачає перетворити спосіб управління та використання радіочастот у бік більш ефективного використання спектру, дозволяючи кільком користувачам мати доступ до тих самих частот. Моделі мереж PMN можуть включати ту саму технологію, або кілька технологій, які спільно використовують спектр за рахунок притаманним технології 5G та іншим сучасним технологіям нових можливостей і за допомогою передових програмно-апаратних і моніторингових систем узгодження (координації) використання частот.

Діюче законодавство України [2], інші джерела [3, 4] впроваджують можливість, умови і порядок спільного користування спектром, але на основі договірних відносин операторів у ліцензованому спектрі. Проте, не передбачено окремих регуляторних положень щодо утворення автономних приватних мобільних мереж і особливих умов щодо ліцензування і користування спектром для таких мереж. Основними здобутками 5G PMN є:

- можливість нарізки або розшарування (slicing) мережі за типом застосування (mMTC, URLLC або mMTC);
- забезпечення широкосмуговими мобільними послугами на краю зони покриття і в сільській місцевості;
- заміна провідних і оптичних ліній зв'язку на безпроводову. Для ноутбуків, датчиків IoT, мобільних телефонів, планшетів або настільних комп'ютерів;
- у контексті розвитку Industry 4.0 мережі 5G PMN мають вирішальне значення для впровадження таких технологій, як IoT, автоматизації та штучного інтелекту (ШІ).
- PMN надають підприємствам більше переваг порівняно з комерційними операторами у гнучкості, контролі ресурсів і конфіденційності.

Всесвітня асоціація мобільних постачальників GSA відмічає стабільне зростання кількості мереж 5G PMN. З часу появи мереж за період 2020 – 2022 років кількість мереж зросла у 2 рази, а кількість з'єднань зросла до 100 млн. та перевищила кількість з'єднань у безпроводову доступі на основі LTE, WiFi та інших технологій. За прогнозом GSA до 2028 р. таке перевищення сягне 5-ти разів.

Чи не головним важливим питанням у впровадженні 5G PMN є визначення доступного спектру, достатнього для вирішення задачі. Для цього національні регулятори намагаються забезпечити необхідні ресурси, гарантуючи, що кожне покоління стільникових технологій буде мати смугу пропускання, необхідну для прогресу.

Розглядається декілька варіантів забезпечення спектром мереж 5G PMN:

Спеціалізований корпоративний спектр. Деякі регулятори виділяють компаніям призначений, ліцензований спектр для приватних мереж. Компанії можуть створити приватну мережеву інфраструктуру для управління власною безпекою даних, щоб уникнути промислового шпівонажу, не покладаючись на мережевих операторів. Промислова автоматизація, сільське та лісове господарство - це лише деякі з галузей, які, на думку регуляторів, можуть виграти з 5G. Наводиться [1, 5] приклад регулятора США, який у 2012 р. впровадив спеціальний спектр обсягом 150 МГц у смузі частот 3550-3700 МГц для громадської широкопasmової радіослужби CBRS (Citizens Broadband Radio Service), що включає фіксований безпроводовий доступ (FWA), ущільнення мобільної мережі, нейтральну хост-інфраструктуру та приватні мережі. Виділений корпоративний спектр для приватних мереж 5G використовується великими промисловими компаніями IoT, забезпечуючи їм безпеку, передбачення і контроль над продуктивністю своїх мереж. Яскравим прикладом активності розгортання приватних мереж 5G PMN може бути Індія, яка, за рахунок активного впровадження мереж на протязі 2023 р. піднялась у світовому рейтингу з швидкості передачі даних з 18 Мбіт/с (105 місце) до 95 Мбіт/с (18 місце).

В Євросоюзі, загалом, очікується, що спеціальний, гармонізований (узгоджений) для 5G PMN спектр [6], буде доступний у діапазоні 3,8-4,2 ГГц після прийняття відповідного рішення ECC (і надалі ЄС) для малопотужних/середньопотужних локальних мереж 5G WBB LMP (Terrestrial wireless broadband low/medium power systems providing local-area network connectivity) в інтересах приватних мобільних мереж короткого/середнього радіусу дії. Такий вибір був прийнятий через неоднорідність розподілу спектру у діапазоні 3,4-3,8 ГГц серед європейських країн, а також на основі тривалого дослідження (наразі Звіт ECC 362 [7] з узгодження цього питання проходить публічні консультації, а фінальний звіт очікується у листопаді 2024 р.) щодо можливості використання смуги частот 3,8-4,2 ГГц, суміжної із смугою 4,2-4,4 ГГц, яка у світі розподілена глобально для повітряної радіонавігаційної служби (ПРНС), а саме для бортових радіовисотомірів. За результатами досліджень компанії Gullen International [1] в країнах ЄС на цей час для PMN використовуються наступні середні діапазони частот: 2,3-2,6 ГГц; 3,4-3,8 ГГц і 3,8-4,2 ГГц. Історія і схема ліцензування загалом виглядає наступним чином: проведено локальне (прив'язане до місця розміщення інфраструктури аеропортів, морських портів, нерухомості, виробництв, офісних і складських приміщень, сільськогосподарських ферм і ділянок, університетських кампусів тощо) ліцензування у смузі частот 3,4-3,8 ГГц; термін початку ліцензування від листопаду 2019 до березня 2024; смуга ліцензування від 10 до 100 МГц на ліцензії з терміном дії ліцензії 10-20 років; умови ліцензії побудовані за принципом «використовуєш або втрачаєш». Приблизно ті ж умови для ліцензій локального спільного доступу LSA (local shared access) наданих у ряді країн Європи у діапазоні 3,8-4,2 ГГц, але на коротший термін дії.

Загальний ліцензований спектр. Модель комерційного загального ліцензованого доступу до спектру все ще забезпечує найкраще, оптимальне рішення для надання послуг стільникового радіозв'язку. Однак пошук спектра, придатного для комерційного ліцензованого використання, особливо в середніх діапазонах частот, став гострою та постійною проблемою для багатьох країн. Національні регулятори самостійно переформатують і перепаковують ліцензований спектр у різних ділянках для отримання більш ефективних і гнучких моделей доступу (ліцензування) до спектру. Так, наприклад, з початку 2019 р. німецький регулятор оголосив, що буде видавати місцеві ліцензії 5G для задоволення потреб промислових підприємств і підприємств малого та середнього бізнесу. Замість мобільного аукціону спектр видається за запитом. Регулятор Румунії [1], працює безпосередньо з постачальниками послуг 5G у ліцензованому спектрі для розгортання приватних мереж 5G по всій країні. В іншому випадку [1], у грудні 2019 року, регулятор Японії і компанія Nokia оголосили про стратегічну партнерську екосистему для розгортання приватних мереж 5G промисловим і державним клієнтам. Це державне партнерство, яке працює над технологіями та рішеннями 5G від Nokia і надає корпоративним клієнтам в Японії приватний, безпечний і надійний зв'язок 5G.

На цей час розглядається низка моделей спільного використання спектру для 5G PMN, що різняться за віднесенням до певного статусу служб і систем у діапазоні/смузі частот спільного доступу до спектру і умовами використання частот. Наприклад, діючі моделі спільного використання спектру у діапазоні CBRS (3550-3700 МГц) у США представляють трирівневу систему авторизації доступу до спектру [5,9]: діючий, пріоритетний і загальний авторизований.

Рівень діючого доступу (*Incumbent Access*) передбачає спільне комерційне використання спектру 3650-3700 МГц поряд з діючими урядовими і неурядовими користувачами, захищеними від дії користувачів пріоритетного і загального доступу. Доступом керуватиме система динамічного доступу до спектру (DSS), концептуально подібна до баз даних, які використовуються для керування пристроями Television White Spaces (білі «плями» у телебаченні) або датчиками поточної активності використання спектру у визначених локаціях.

Рівень пріоритетного доступу складається з ліцензій пріоритетного доступу (PAL - Priority Access Licenses), які будуть призначені аукціонами за допомогою конкурентних ставок у межах 3550-3650 МГц діапазону. Кожен PAL визначається як дозвіл на використання 10-мегагерцевого каналу в одній зареєстрованій ділянці протягом трьох років, який не підлягає поновленню. У будь-якій зареєстрованій ділянці може бути призначено до семи загалом PAL, причому до чотирьох PAL кожному заявнику. Заявники можуть придбати до двох PAL поспіль у будь-якій зоні ліцензії під час першого аукціону.

Рівень загального авторизованого доступу (GAA - General Authorized Access) ліцензується за правилом надати відкритий, гнучкий доступ до діапазону для найширшої групи потенційних користувачів. Користувачам із загальним авторизованим доступом дозволено використовувати будь-яку частину діапазону 3550-3700 МГц, не призначену користувачеві вищого рівня, а також працювати на невикористаних каналах пріоритетного доступу за умови відповідності обладнання *стандарту* CBRS. Використання діапазону CBRS в цьому випадку не вимагатиме ліцензії на спектр. Однак користувачі повинні будуть сплачувати своїй системі доступу до спектру SAS «розумну» плату за доступ, навіть якщо використовують лише канали GAA, а також платитимуть плату за використання спектру.

Британський Регулятор OFCOM розробив і тестує дворівневу систему доступу до ліцензованого зонально – частотно – часового ресурсу [8] для 5G PMN, в тому числі, у діапазоні частот 3,8-4,2 ГГц. Спільний доступ до спектру оснований на аналізі попередніх заяв приватних користувачів за місцем користування спектром 5G PMN. Аналіз дозволяє визначити можливість реалізації проекту за умовами забезпечення EMC у загальній смузі частот відносно діючих систем і локальної сумісності з іншими ліцензованими зонами 5G PMN навколо той, що заявляється.

Технічними умовами визначено наступні обмеження для рівня малопотужних БС:

- обмеження потужності (ЕІВП до рівня 24 дБм/≤20 МГц) для малопотужних БС;
- дозволяється як внутрішнє, так і зовнішнє застосування БС для обмежених зон;
- висота антен БС внутрішнього і зовнішнього застосування не вище 10 м;
- радіус зони покриття БС не повинен перевищувати 50 м;
- рівень позасмугових (для усього діапазону) випромінювань: ЕІВП на антену: (Р макс -40) дБм/ 5 МГц для смуг 3795-3800 і 4200-4205 МГц і позаканальних (для каналу зв'язку) випромінювань для смуг частот від -5 до 0 МГц від нижнього краю каналу і від 0 до +5 МГц для верхнього краю каналу [8];
- для забезпечення EMC із мережами сусідніх ліцензованих зон застосовувати синхронізацію мереж і узгоджені фреймові структури сигналів, наприклад, DDSUDDDSU або DDSUUDDDD (конфігурація фреймів 3:1) [10] або інші взаємно узгоджені структури фреймів та інші заходи;
- використання рівня малопотужних БС поширюється на невеликі зони покриття (зони офісних приміщень, приватної власності, виробництва тощо). Приклад інфраструктури ліцензованої малопотужної мережі наведений на рис.1.

Просте розміщення з однією зареєстрованою ліцензованою зоною малої потужності. Ліцензіати обирають тільки внутрішнє застосування терміналів оскільки не передбачають необхідність розміщення обладнання БС зовні приміщення.

Більш складне розміщення з чотирма ліцензованими зонами для того, аби надати користувачу гнучкість у розміщенні БС у будь-якому місці приміщення, яке має вигляд будівлі Т-форми, відкритої зони зліва і дві відкритих дворових зони зліва і справа. Ліцензія передбачає встановлення БС у подвір'ї, тобто обрана ліцензія як для внутрішнього так і для зовнішнього використання.

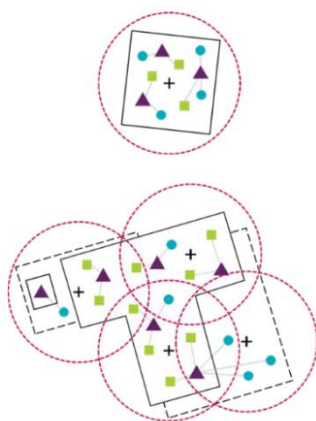


Рис. 1. Приклади використання ліцензій малопотужного спільного доступу [8]

Позначення

- | | | | |
|-------|--|---|-------------------------------------|
| + | Зареєстроване розміщення БС | ▲ | Базова станція |
| ----- | 50 м радіус від зареєстрованого розміщення | ■ | Фіксований/інстальований термінал |
| — | Стіна приміщення | ● | Мобільний/пересувний термінал |
| ---- | Периметр зовнішнього подвір'я | — | Зв'язок базової станції і терміналу |

На практиці покриття, що забезпечується БС, ймовірно, перевищуватиме 50-метровий дозволений радіус ліцензованої зони, особливо при розгортанні поза приміщенням. Таким чином, можна буде підключати термінали на більшій території без необхідності отримувати ліцензії на низьку потужність для покриття всієї території, якщо не передбачається гнучкість для переміщення БС у будь-яке місце в зоні покриття.

Аналогічним чином обмежуються параметри другого рівня доступу для середньопотужних БС з потужністю ЕІВП не вище 42 дБм / ≤ 20 МГц. Другий рівень ліцензування призначений для покриття розширених зон (аеропорти, морські порти, фермерські, лісові господарства тощо).

Спільне використання спектру приховує потенційні численні *технічні перешкоди*. Тому окрім досконалих технічних методів забезпечення беззавадової роботи мереж 5G PMN значна увага приділяється *регуляторному забезпеченню спільного доступу*, наприклад, таких як:

Спрощення або забезпечення гнучкості процедури узгодження параметрів мережі, таких як

розробка і впровадження положення про спільну угоду між користувачами спільного доступу в сусідніх ліцензованих зонах. Британський Регулятор OFCOM включив до Керівного документу [8] статтю щодо необхідності складання координаційної угоди (User Led coordination) в разі вирішення спірних питань або необхідності зміни параметрів мережі одним із сусідніх користувачів;

Введення ліцензійних вимог щодо:

- наявності і супроводу користувачем відомостей стосовно складу мережі і параметрів БС і терміналів (паспорт мережі);
- обмеження терміну (6 місяців) невикористання мережі, після якого ліцензія анулюється;
- обмеження використання мережі або зміна параметрів в разі появи завад діючим системам стільникового зв'язку, іншим системам зв'язку діючих користувачів спектру.

Швидкість впровадження мереж 5G PMN суттєво залежить від спрощення самої інфраструктури спільного доступу, вибору найпростішої форми спільного використання спектру. Наприклад, статичні або напівстатичні моделі спільного використання можуть бути більш практичними, ніж повністю динамічні системи [5], особливо на ранніх стадіях впровадження 5G PMN. Досконалі автоматизовані пристрої контролю активності використання спектру грають важливу роль у розробці методів спільного доступу до спектру. Гнучкі регуляторні рамки можуть адаптуватися до нових технологій і мінливих моделей використання, наприклад, включати можливість роботи з високою потужністю для максимізації покриття та пропускну здатності.

Висновки

Спільний доступ до спектру з використанням передових технологій та гнучких нормативних рамок надають можливість підвищити ефективність доступного спектру та забезпечити гармоній-

не співіснування як старих, так і нових користувачів спектру. Зацікавленість у впровадженні мереж 5G PMN свідчить про важливість здійснення на національному рівні досліджень з удосконалення існуючих і розробки нових моделей спільного доступу до спектру, включаючи моделі інфраструктури і ліцензування мереж, розробку національних вимог щодо забезпечення ЕМС в смугах частот спільного доступу, визначення порядку розгляду заяв на ліцензування з використанням елементів планування зонально-частотно-часового ресурсу, розробку методів контролю тощо.

Література

1. 5G spectrum for private local networks: which bands?, Матеріали Семінару НКЕК, УДЦР – Gullen International з питань розгортання приватних мереж 5G у рамках проекту ЄС “Підтримка цифрової політики України”, 20 вересня 2024, <https://www.cullen-international.com/radiospectrum.html>
2. Закон України «Про електронні комунікації», <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#Text>
3. Планування та електромагнітна сумісність в безпроводних інфокомунікаціях: навч. посіб./М.Ю. Ільченко, С.В. Капштик, Г.Л. Авдеєнко, В.І. Корсун, В.І. Присяжний. –Київ:КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. -348 с.
4. Довідник з управління використанням спектра на національному рівні [Електронний ресурс]: навч. посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»/ Т.М. Наритнік, Г.Л. Авдеєнко, В.І. Корсун та ін., КПІ ім. Сікорського. - Київ: Талком, 2022. – 320 с.
5. 5G Americas, an industry trade organization, July 2024, <https://www.5gamericas.org/spectrum-sharing-navigating-the-challenges-and-opportunities/>
6. ECC Report 358 In-band and adjacent bands sharing studies to assess the feasibility of the shared use of the 3.8-4.2 GHz frequency band by terrestrial wireless broadband low/medium power (WBB LMP) systems providing local-area network connectivity, approved 28 June 2024, www.cept.org
7. [draft] ECC Report 362, part I, part II: “Compatibility between mobile or fixed communications networks (MFCN) operating in 3400-3800 MHz and wireless broadband systems in low/medium power (WBB LMP) operating in the frequency band 3800-4200 MHz with Radio Altimeters (RA) operating in 4200-4400 MHz”, ECC approved for public consultations, www.cept.org
8. Shared Access Licence, Guidance document, OFCOM, Published 24 July 2024, p. 41: <https://www.ofcom.org.uk/siteassets/resources/documents/consultations/category-1-10-weeks/consultation-supporting-increased-use-of-shared-spectrum/associated-documents/shared-access-licence-guidance.pdf?v=370915>
9. Citizens Broadband Radio Service (CBRS), https://en.wikipedia.org/wiki/Citizens_Broadband_Radio_Service
10. [ECC Recommendation \(20\)03](#): “Frame structures to facilitate cross-border coordination of TDD MFCN in the frequency band 3400-3800 MHz”, approved 23 October 2020