

# МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ У МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ 5G

Коляденко Ю.Ю., Чурсанов М.О., Водолажченко О.В.

Кафедра «Інфокомунікаційної інженерії  
ім. В.В. Поповського», ХНУРЕ, Україна

E-mail: [yuliia.koliadenko@nure.ua](mailto:yuliia.koliadenko@nure.ua)

## Abstract

*The scientific problem of determining the directions of increasing the efficiency of voice authentication systems is being solved. As the main direction, it is proposed to use the phase data of the voice signal, which is currently ignored. In this case, the main attention is paid to the procedures for preprocessing the registration materials and the linear prediction coefficients, which are calculated based on the phase data.*

Технологія нового покоління 5G / IMT-2020, як і будь-яка нова технологія, привносить свої специфічні особливості в усі аспекти, що стосуються практики її застосування [1-10]. Одним з таких особливо важливих аспектів є електромагнітна сумісність (ЕМС). На етапі підготовки до впровадження радіомереж технології 5G, названої NewRadio, необхідно завчасно подбати про вжиття заходів щодо ефективної оцінки умов ЕМС для цих мереж на основі ретельного аналізу особливостей технології 5G, а правильно і точно оцінивши ці умови - успішно забезпечити ЕМС радіозасобів нових мереж.

МСЕ з 1995 року став міжнародним координатором робіт з електрозв'язку, спрямованих на створення глобального інформаційного суспільства. Створивши Регламент радіозв'язку і розділивши поверхню Землі на три регіони, МСЕ організував певний порядок в частотному користуванні. Однак, виключно активно використовуються частотні діапазони нижче 5 ГГц. Присвоєння радіочастот і радіочастотних каналів для радіоелектронних засобів в цих діапазонах здійснюється за технологіями частотно-територіального планування з обов'язковим розрахунком ЕМС радіозасобів. Тому одне з основних напрямків по створенню нового покоління мобільного зв'язку 5G це освоєння частотних діапазонів вище 5 ГГц, які поки ще недостатньо використовуються.

Аналіз головних особливостей радіоінтерфейсу 5G дозволяє вказати на очікувані особливості процедур оцінки умов ЕМС для цих мереж. Головними недоліками сигналів міліметрового діапазону (ММД) є:

- 1) сильне загасання міліметрових хвиль при поширенні;
- 2) рівень сигналу істотно залежить від впливу гідрометеорів (краплі дощу, сніг, град, туман) і від присутності в атмосфері твердих неоднорідностей (листя дерев, зграї птахів, пил);
- 3) високий ступінь впливу на рівень сигналу перешкод, які закривають трасу.

Як і у всіх лініях зв'язку і радіоелектронних системах, в лініях зв'язку ММД радіохвилі, які поширюються мають складну, випадково-детерміновану структуру і підкоряються законам електродинаміки, а параметри радіохвиль описуються рівняннями Максвелла. Однак, таке представлення є досить складним, що може привести до ускладнення моделі, а, отже, до труднощів роботи з нею, до збільшення похибок розрахунків. Тому в якості моделі поширення сигналів в радіолініях скористаємося відомою моделлю, яка заснована на рівнянні передачі [11,12]:

$$P_{np} = P_{nep} + G_{nep} + G_{np} - \eta_{nep} - \eta_{np} - W, \quad (1)$$

де  $P_{np}$  - потужність сигналу, що приймається (дБ);  $P_{nep}$  - потужність передавача;  $G_{nep}, G_{np}$  - відповідно: коефіцієнти підсилення передавальної і приймальної антен;  $\eta_{np}, \eta_{nep}$  - коефіцієнти корисної дії приймального і передавального фідерів;  $W$  - втрати (ослаблення) електромагнітного поля (дБ).

У загальному вигляді ослаблення сигналу (завади)  $W$  визначаються виразом:

$$W = W_{PE3} + W_{cp}, \quad (2)$$

де  $W_{PE3}$  - ослаблення завади, яке визначається характеристиками радіоелектронного засобу (РЕЗ). При розрахунку ослаблення корисного сигналу можна вважати  $W_{PE3} = 0$ ;  $W_{cp}$  - ослаблення сигналу (завади), яке визначається умовами середовища поширення радіохвиль.

$W_{cp}$ , яке визначається умовами середовища поширення, розраховується відповідно до виразу, дБ:

$$W_{cp} = W_{en} + W_{\text{dod}}^{(1)} + W_{\text{dod}}^{(2)} + W_{\text{dod}}^{(3)} + W_{\text{dod}}^{(4)} + W_{\text{dod}}^{(5)} + W_{\text{dod}}^{(6)}, \quad (3)$$

де  $W_{en}$  - ослаблення у вільному просторі (дБ)

$$W_{en} = 92,4 + 20 \lg(f) + 20 \lg(d) \text{ , [дБ]} \quad (4)$$

де  $d$  - відстань між передавачем і приймачем,  $f$  - частота.

$W_{\text{dod}}^{(1)}$  - додаткове ослаблення, викликане впливом стін і перекриттів поверхів:

$$W_{\text{dod}}^{(1)} = W_{0c} \cdot N_{cm} \left( \frac{N_{cm} + 2}{N_{cm} + 1} - c \right) + W_{0n} \cdot N_n \left( \frac{N_n + 2}{N_n + 1} - c \right), \quad (5)$$

де  $W_{0c}$  - ослаблення за рахунок впливу стіни або міжповерхового перекриття. Зазвичай [11,12] для стіни  $W_{0c} = 8,38$  дБ і  $c = 0,51$ , міжповерхового перекриття  $W_{0n} = 18,3$  дБ і  $c = 0,46$ ,  $N_{cm}$  - кількість стін;  $N_n$  - кількість міжповерхових перекриттів.

$W_{\text{dod}}^{(2)}$  - додаткові втрати енергії сигналу при заповненні простору різними предметами, дБ [11,12]:

$$W_{\text{dod}}^{(2)} = \delta \cdot d, \quad (6)$$

де  $\delta$  - коефіцієнт погонного ослаблення, що враховує заповнення простору предметами. Для майже порожнього простору  $\delta = 0,2$  дБ / м, для переповненого простору  $\delta = 0,6$  дБ / м.

$W_{\text{dod}}^{(3)}$  - додаткове ослаблення, викликане втратою енергії радіохвиль при поширенні через дощі;

$$W_{\text{dod}}^{(3)} = kdK_d Y^a \quad (7)$$

де  $k$  - коефіцієнт, який визначає наявність або відсутність опадів,  $Y$  - інтенсивність опадів, мм/год,  $K_d$  - параметр, що залежить від частоти, температури, поляризації дБ год/мм,  $a$  - безрозмірний параметр, що залежить від частоти, температури, поляризації.

$W_{\text{dod}}^{(4)}$  - додаткове ослаблення, викликане втратою енергії радіохвиль через туман:

$$W_{\partial\partial\partial}^{(4)} = kd l_T V_T,$$

$l_T$  - питомий погонний коефіцієнт ослаблення сигналу ММД в тумані,  $V_T$  - коефіцієнт вмісту води в атмосфері, який визначається по оптичній видимості.

$W_{\partial\partial\partial}^{(5)}$  - додаткове ослаблення сигналу при поширенні крізь листя дерев:

$$W_{\partial\partial\partial}^{(5)} = 0,2 f^{0,3} r^{0,6},$$

де  $r$  - глибина шару листя, що перекриває, м,

Випадкова компонента додаткового ослаблення:

$$W_{\partial\partial\partial}^{(6)} = W_e^{(n)} + W_e^{(u)}, \quad (8)$$

де  $W_e^{(n)}$ ,  $W_e^{(u)}$  - відображають відповідно: повільні і швидкі випадкові завмирання.

У розрахункових задачах з енергетики радіоліній малих відстаней швидкими завмираннями зазвичай нехтують, бо вони характерні для досить протяжних, ( $d > 30 \dots 50$  км), переважно закритих, або напівзакритих радіотрас. Для офісних радіоліній або радіоліній в межах мікрорайону прийнято вважати  $W_e^{(u)}(t) \rightarrow 0$ . Повільні завмирання  $W_e^{(n)}$  складають 10 ... 16 дБ. Повільні завмирання підкоряються випадковому логарифмічно-нормальному закону, тоді:

$$W_e^{(n)}\{u(t)\} = \rho W_e^{(n)}\{u(t - \Delta t)\} + \sqrt{1 - \rho^2} \cdot N(0, \sigma), \quad [дБ], \quad (9)$$

де  $\rho$  - коефіцієнт кореляції між двома перетинами випадкового процесу зміни  $W_e^{(n)}\{u(t)\}$ , рознесених на інтервал  $\Delta t$ .

В умовах використання мобільних мереж зв'язку поза будівлею вважають, що основними механізмами поширення радіохвиль є: дифракція, рефракція, поширення у вільному просторі і уздовж земної поверхні. Дані механізми можуть діяти спільно або в різній комбінації, в залежності від фізико-географічних умов. Є ряд рекомендацій ІТУ [11-17], які дозволяють враховувати ті чи інші механізми поширення радіохвиль: розрахунок ослаблення у вільному просторі, поширення радіохвиль з урахуванням дифракції.

У рекомендаціях ІТУ з обліку втрат при поширенні радіохвиль для частот понад 1 ГГц пропонується використовувати напівемпіричну модель, викладену в рекомендації ІТУ-R P.1146 [16]. Ця модель дозволяє розраховувати напруженість поля в точці прийому в діапазоні частот 1..3 ГГц для стаціонарних і мобільних систем зв'язку. Недоліком цієї моделі є те, що вона не дозволяє розраховувати втрати при поширенні радіохвиль, якщо висоти передавальної і приймальної антен вище 30м. У цих випадках рекомендується використовувати модель, викладену в рекомендації ІТУ-R P.452-8 [17].

Рівень сигналу на вході приймача в діапазоні 0,03-3 ГГц, особливо в разі використання мобільних абонентських станцій, залежить від багатьох чинників: типу місцевості, висоти будівель і щільності забудови міста, висот приймальних і передавальних антен, наявності рослинності і багатьох інших факторів. Тому при розрахунку отримують медіанне значення напруженості поля в точці прийому з певною ймовірністю. Таким чином, висновок про наявність чи відсутність завади також має імовірнісний характер.

## Висновки

Технологія нового покоління 5G / IMT-2020, як і будь-яка нова технологія, привносить свої специфічні особливості в усі аспекти, що стосуються практики її застосування. Одним з таких особливо важливих аспектів є EMC. На етапі підготовки до впровадження радіомереж технології 5G необхідно завчасно подбати про вжиття заходів щодо ефективної оцінки умов EMC для цих мереж на основі ретельного аналізу особливостей технології 5G, а правильно і точно оцінивши ці умови - успішно забезпечити електромагнітну сумісність радіозасобів нових мереж.

Розроблено математичну модель поширення сигналів мереж зв'язку 5 G, яка враховує ослаблення сигналів у вільному просторі, ослаблення сигналів, викликане впливом стін і

перекриттів поверхів, втрати енергії сигналу при заповненні простору різними предметами, ослаблення сигналів, викликане втратою енергії радіохвиль при розповсюдженні через дощі, ослаблення сигналів, викликане втратою енергії радіохвиль через туман, ослаблення сигналів при поширенні через листя дерев, повільні і швидкі випадкові завмирання.

## Література:

1. 3GPP TS 28.554. Management and orchestration; 5G end to end Key Performance Indicators (KPI). Ver. 2.0.0, release 15, Sep 2018.
2. Abuarqoub A. Behaviour Profiling in Healthcare Applications Using the Internet of Things Technology / Abuarqoub A., Hammoudeh M. H. // Proceedings of Fourth International Conference on Advances in Information Processing and Communication Technology. - 2016. - PP. 1-4. DOI:<https://doi.org/10.15224/978-1-63248-099-6-25>
3. Agiwal M. Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey / Agiwal, M., Roy, A., Saxena, N // IEEE Communications Surveys & Tutorials. - №18(3). - 2016. -pp.1617-1655. DOI:<https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2532458>
4. Бородин А. С. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики / А.С. Бородин, А.Е. Кучерявый // Электросвязь .— 2017. — №5. — С. 47-51.
5. Radio Regulations. - Ed. ITU, in 4 volumes. - 2016.
6. Resolution COM 6/20 (WRC-15) Studies on frequency-related matters for International Mobile Telecommunications identification including possible additional allocations to the mobile services on a primary basis in portion(s) of the frequency range between 24.25 and 86 GHz for the future development of International Mobile Telecommunications for 2020 and beyond.
7. Тихвинский В.О. Технологии 5G – базис мобильной инфраструктуры цифровой экономики/ В.О. Тихвинский // Электросвязь. – 2018. – № 3. С. 49–55.
8. Kurakova T. How ITU can help develop future networks/ Т. Kurakova, M.Valdburger // ITU News. - 2013, № 1. - p. 38-41. DOI:<https://doi.org/10.1525/aft.2013.41.3.38>
9. Молчанов Д.А. Разработка подходов, методов исследования и моделей обеспечения показателей качества обслуживания в беспроводных сетях пятого поколения. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Российский университет дружбы народов. – Москва. — 2019. – 306 с.
10. Кременецька Я.А. Аналіз обмежуючих та компенсуючих факторів при розрахунку енергетичної ефективності радіосистем в міліметровому діапазоні /Я.А. Кременецька, С.Ю. Марков, Н.В. Градобоева, Є.М. Харченко // Телекомунікаційні та інформаційні технології.-2019.- №1.- С. 12-21. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduikt\\_2019\\_1\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduikt_2019_1_4) . -DOI: 10.31673/2412-4338.2019.011221
- 11.Коляденко Ю.Ю. Методика вибору критерію і аналізу електромагнітної сумісності угруповань радіоелектронних засобів в мережах мобільного зв'язку/ Ю.Ю. Коляденко, Н.А.Чурсанов //Радиотехника Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. 2020. Вып. 201, с.153-163. DOI:10.30837/rt.2020.2.201.14
12. Коляденко Ю.Ю. Математическая модель взаимодействия элементов системы абонентского радиодоступа // Праці УНДІРТ, Теоретичний та науково-практичний журнал радіозв'язку, радіомовлення і телебачення. - 2004. - №1 (37). - С. 31-35.
13. Recommendation ITU-R PN.452.
14. Recommendation ITU-R PN.525.
15. Recommendation ITU-R PN.526.
16. Recommendation ITU-R P.1146.
17. Recommendation ITU-R PN.452-8.