

ПАРАМЕТРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРИТТЯ МЕРЕЖІ 5G NR FR1 У ЩІЛЬНІЙ МІСЬКІЙ ЗАБУДОВІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Розглянуто задачу параметричного дослідження характеристик покриття мережі 5G NR FR1 у щільній міській забудові на прикладі мікрорайону Вишенька м. Вінниця. Виконано аналітичний розрахунок бюджету радіолінії за рекомендаціями 3GPP TR 38.901 та комп'ютерне моделювання покриття у програмному засобі RadioPlanner 3.0 з використанням моделі поширення ITU-R P.1812-6. Встановлено ранжування ефективності параметрів базової станції за впливом на покриття. Доведено стабільність конфігурації MIMO 4×4-B при різних рівнях завантаженості сусідніх стільників. Сформульовано практичні рекомендації для розгортання 5G NR FR1 у щільній міській забудові.

Ключові слова: 5G NR, Massive MIMO, радіопланування, RadioPlanner, ITU-R P.1812-6, бюджет радіолінії, щільна міська забудова.

Abstract. The paper presents a parametric study of 5G NR FR1 coverage characteristics in dense urban environments using the Vyshenka district of Vinnytsia as a case study. An analytical link budget calculation according to 3GPP TR 38.901 recommendations was performed, followed by computer simulation of coverage in RadioPlanner 3.0 software using the ITU-R P.1812-6 propagation model. The ranking of base station parameters by impact on coverage was established. The stability of the MIMO 4×4-B configuration at various neighbor cell load levels was demonstrated. Practical recommendations for 5G NR FR1 deployment in dense urban areas were formulated.

Keywords: 5G NR, Massive MIMO, radio planning, RadioPlanner, ITU-R P.1812-6, link budget, dense urban.

Розгортання мереж п'ятого покоління мобільного зв'язку (5G NR) в Україні з січня 2026 року перейшло у фазу пілотного впровадження: пілотні зони запущені у Львові, Бородянці, Харкові та Києві провідними операторами «Київстар», «Vodafone Україна» та «lifecell» [1]. Постановою Кабінету Міністрів України № 1340 від 19.12.2023 виділено частотні смуги 3300–3800 МГц для рухомих служб ІМТ, що відкриває можливості для комерційного розгортання 5G NR у діапазоні FR1 [2]. Технологія Massive MIMO та висока щільність сайтів суттєво ускладнюють традиційні підходи до радіопланування, тому актуальним є параметричне дослідження характеристик покриття 5G NR FR1 з використанням стандартизованих моделей поширення радіохвиль.

Метою роботи є порівняльний аналіз програмних засобів проектування мобільних мереж та параметричне дослідження характеристик покриття мережі 5G NR FR1 у щільній міській забудові методом комп'ютерного моделювання з формулюванням практичних рекомендацій щодо оптимальної конфігурації базової станції gNodeB.

Об'єктом дослідження обрано мікрорайон Вишенька м. Вінниця площею близько 5 км² з характерною 5–25-поверховою забудовою — типовий приклад сценарію Dense Urban (UMa) за класифікацією 3GPP TR 38.901 [3]. Базова конфігурація 5G NR: несна частота 3500 МГц у діапазоні n78, смуга 60 МГц, висота антени 20 м, потужність передавача 5 Вт, EIRP 47 дБм, активна антенна система Massive MIMO 4×4-B [4].

Дослідження побудовано у два етапи. На першому виконано аналітичний розрахунок бюджету радіолінії для низхідного каналу (DL) на частоті 3500 МГц. Розраховані параметри: EIRP базової станції 47 дБм, мінімальна чутливість абонентського пристрою –88,7 дБм, сумарний запас на завмирання та інтерференцію 12,7 дБ. Отримано максимально допустимі втрати поширення MAPL = 123 дБ, що відповідає максимальному радіусу стільника $R \approx 333$ м у сценарії UMa NLOS за моделлю 3GPP TR 38.901 [3].

На другому етапі виконано 18 симуляцій у програмному засобі RadioPlanner 3.0 з використанням моделі поширення ITU-R P.1812-6 [5] на реальній геопросторовій основі (геодані OpenStreetMap, цифрова модель рельєфу SRTM). Досліджено вплив чотирьох параметрів базової станції: висоти підвісу антени (15, 20, 30 м), потужності передавача (2, 5, 10 Вт), конфігурації Massive MIMO (2×2, 4×4, 8×8) та кута нахилу променя (0°, 15°, 25°). У багатостанційному сценарії з трисекторним сайтом

«Маяк» проаналізовано вплив завантаженості сусідніх стільників (cell load 0 %, 50 %, 100 %) на покриття для конфігурацій MIMO 2×2-B та 4×4-B.

За результатами дослідження встановлено ранжування ефективності параметрів базової станції за впливом на покриття: висота антени → конфігурація MIMO → потужність передавача → кут нахилу променя. Висота антени демонструє безперервний вплив у всьому досліджуваному діапазоні: збільшення з 15 до 30 м істотно зменшує локальні провали покриття у зонах затінення будівлями та підвищує рівномірність розподілу пропускну здатності в межах досліджуваної ділянки. Конфігурація MIMO виявляє дискретний характер впливу: перехід 2×2 → 4×4 дає значний приріст завдяки просторовому мультиплексуванню, тоді як подальший перехід 4×4 → 8×8 — істотно менший вигравш через насичення Massive MIMO у single-user сценарії.

Ключовим результатом є експериментальне підтвердження стабільності конфігурації MIMO 4×4-B при різних рівнях завантаженості сусідніх стільників. Просторове мультиплексування забезпечує запас по пропускну здатності, що компенсує деградацію SINR від міжстільникової інтерференції. На відміну від цього, конфігурація MIMO 2×2-B демонструє суттєву деградацію покриття при cell load ≥ 50 %, переходячи у interference-limited режим.

На основі отриманих результатів сформульовано практичні рекомендації для розгортання 5G NR FR1 у щільній міській забудові: висота підвісу антени 25–30 м; конфігурація Massive MIMO 4×4-B; EIRP 47–50 дБм; кут нахилу променя 10–15°; міжсайтова відстань (ISD) 400–450 м; модель поширення ITU-R P.1812-6.

Висновки. Виконано параметричне дослідження характеристик покриття 5G NR FR1 на прикладі реального українського мікрорайону Dense Urban. Експериментально підтверджено перевагу конфігурації MIMO 4×4-B для забезпечення стабільного покриття при будь-якому рівні завантаженості мережі. Сформульовані практичні рекомендації можуть використовуватися операторами мобільного зв'язку при попередньому плануванні розгортання 5G NR у щільній міській забудові на території України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Київстар запустив пілот 5G у Львові [Електронний ресурс] // VEON. – 12.01.2026. – Режим доступу: <https://www.veon.com/newsroom/press-releases/veons-kyivstar-launches-5g-pilot-in-lviv> (дата звернення: 17.06.2026).
2. Про затвердження плану розподілу і користування радіочастотним спектром України : Постанова Кабінету Міністрів України від 19.12.2023 № 1340 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1340-2023-п> (дата звернення: 17.06.2026).
3. 3GPP TR 38.901. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. V17.0.0. – Sophia Antipolis : 3GPP, 2022. – 105 р.
4. 3GPP TS 38.101-1. NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone. V18.9.0 (Release 18). – Sophia Antipolis : 3GPP, 2025. – 360 р.
5. ITU-R Recommendation P.1812-6. A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 6 GHz. – Geneva : ITU, 2021. – 38 р.
6. ITU-R Recommendation M.2410-0. Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s). – Geneva : ITU, 2017. – 11 р.

Мельниченко Владислав Павлович – студент групи ПЗТ-22б факультету інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vmelnichenko00088@gmail.com.

Науковий керівник: Васильківський Микола Володимирович – кандидат технічних наук, професор кафедри інформаційних комунікаційних систем та технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Melnychenko Vladyslav Pavlovych – student of group PZT-22b, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vmelnichenko00088@gmail.com.

Supervisor: Vasykivskiy Mykola Volodymyrovych – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.