

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, Т.С. ШЕВЧУК
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ВІД ПАРАМЕТРІВ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНО МОЖЛИВОГО РАДІУСА ЗОНИ ВПЕВНЕНОГО ПРИЙОМУ В МЕРЕЖІ LTE

Наукова стаття присвячена дослідженню впливу основних технічних параметрів базової станції (БС), мобільної станції (МС) та відстані між ними на рівень потужності сигналу, на вході приймача МС в мережах мобільного зв'язку з використанням технології LTE. Наводяться розрахункові формули для визначення максимально можливої відстані (максимального радіуса комірки) між базовою та мобільною станціями залежно від потужності передавача БС, коефіцієнта підсилення антени базової станції, середньої частоти сигналу, висоти антен базової та мобільної станцій за умови мінімально-допустимої потужності сигналу на вході приймача мобільної станції.

Ключові слова: технологія LTE, стандарт 4G, модель Окамури-Хати, технічні параметри базової станції, мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача мобільної станції, максимально можлива відстань між БС та МС.

V.I. LUZHANSKIY, L.V. KARPOVA, T.S. SHEVCHUK
Khmelnytskyi National University

INVESTIGATION OF THE SIGNAL POWER DEPENDENCE AT THE MOBILE STEER RECEIVER INPUT FROM THE BASIC STATION PARAMETERS AND THE DEFINITION OF THE MAXIMUM POSSIBLE RADIUS OF THE ADULT ENTRY INTO THE NETWORK OF LTE

Most radio wave propagation models were based on deterministic methods where straight and reflected rays can be described sufficiently accurately. However, in urban environments, where direct visibility between the antennas of the base station (BS) and the mobile station (MS) is usually absent, and instead of a single reflected ray, a larger number of them are observed when the reflected rays are independent, their intensity changes according to random law. Thus, accurate analytical calculation of the radio potential of the radio link for the actual conditions of operation of mobile communication systems is almost impossible, since there are many factors that are poorly mathematical description. The scientific article is devoted to the study of the influence of the basic technical parameters of the base station (BS), mobile station (MS) and the distance between them on the level of signal strength, at the input of the receiver MS in mobile networks using LTE technology. The calculation formulas are used to determine the maximum possible distance (maximum radius of the cell) between the base and mobile stations depending on the power of the BS transmitter, the base station antenna gain, the average signal frequency, the height of the antennas of the base and mobile stations at the minimum input power level mobile station receiver.

Keywords: LTE technology, 4G standard, Okumura-Khaty model, technical parameters of the base station, minimum allowable signal strength at the receiver input of the mobile station, maximum possible distance between the BS and the MC.

Вступ. Протягом останніх тридцяти років процес комунікації між людьми значно змінився та перейшов на значно вищий, у розумінні можливостей, рівень. Розвиток бездротових технологій дозволив користувачам мати зв'язок у будь-якій точці світу. Найближчим часом розвиток бездротових технологій матиме ще більший вплив на спілкування людей та їх взаємодію. Зростання досягнень в галузі досліджень і розробки технологій бездротового зв'язку, збільшення можливостей електронних пристроїв сприяють розповсюдженню послуг для мобільних користувачів. Бездротові мережі стають все більше взаємодіючими, безперервна мобільність в неоднорідних мережах стає основним принципом. Це покоління згадується як четверте покоління (4G).

Технологія LTE (Long-Term Evolution – довгостроковий розвиток) позначається як 4G LTE – стандарт бездротової високошвидкісної передачі даних для мобільних телефонів та інших терміналів.

LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування шляхом ортогональних несучих OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), багатокантентні системи MIMO (Multiple Input Multiple Output) і еволюційна системна архітектура мережі (System Architecture Evolution). Стандарт LTE був розроблений консорціумом 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Технологія LTE була офіційно визнана бездротовим стандартом зв'язку четвертого покоління 4G Міжнародним союзом електрозв'язку на конференції в Женеві у 2012 р.

Ще однією метою розроблення технології LTE була реконструкція та спрощення архітектури мереж, заснованих на IP, значно зменшити затримки при передачі даних у порівнянні з архітектурою 3G мереж.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Більшість моделей розповсюдження радіохвиль базувались на детермінованих методах, коли прямі і відбиті промені можуть бути описані достатньо точно. Однак, в міських умовах, коли пряма видимість між антенами базової станції (БС) і мобільної станції (МС) зазвичай відсутня, і замість одного відбитого променя спостерігається більша їх кількість, коли відбиті промені незалежні, їх інтенсивність змінюється згідно з випадковим законом. Таким чином, точний аналітичний розрахунок енергетичного потенціалу радіолінії для реальних умов функціонування систем

мобільного зв'язку практично неможливий, оскільки існує безліч факторів, що погано піддаються математичному опису.

В таких умовах прийнято використовувати статистичні методи, в основу яких покладено усереднення експериментальних даних. Найбільш відомою є модель Окамури-Хати, яка заснована на графічній і аналітичній апроксимації результатів натурних вимірів.

Постановка задачі. Метою даної статті є дослідження впливу основних параметрів базової станції та відстані між БС та МС на якість зв'язку в системах рухомого радіозв'язку в умовах забудови міста.

Результати дослідження. Мінімальна потужність сигналу на вході приймача мобільної станції при застосуванні технології LTE повинна бути не нижчою $P_{\text{пр.мінМС}} = -104,91$ дБм.

Виразимо цю величину у ватах з врахуванням відомого співвідношення $10^{\lg N} = N$:

$$10 \lg P_{\text{пр.мінМС}} = -104,91; P_{\text{пр.мінМС}} = 3,228 \cdot 10^{-14} \text{ Вт.}$$

Тепер виразимо цю величину у децибел-ватах:

$$P_{\text{пр.мінМС}} = 10 \lg 3,228 \cdot 10^{-14}; P_{\text{пр.мінМС}} = -134,91 \text{ дБВт.}$$

Для подальших розрахунків виразимо у децибел-ватах три варіанти вихідної потужності передавача базової станції: 20 Вт (13,01 дБВт); 30 Вт (14,77 дБВт); 40Вт(16,02 дБВт) [1].

Застосуємо відому емпіричну формулу моделі Окамури-Хати для розрахунку середнього рівня сигналу на вході приймача мобільної станції при всепрямованих антенах БС і МС [2, 3]:

$$P_{\text{прМС}} = P_{\text{перБС}} + G_{\text{БС}} - 69,55 - 26,161 \lg f(\text{МГц}) + 13,82 \lg h_{\text{БС}}(\text{м}) - [45 - 6,55 \lg h_{\text{БС}}(\text{м})] \lg r(\text{км}), \text{дБВт}, \quad (1)$$

де $P_{\text{пр.БС}}$ – потужність сигналу на виході передавача базової станції; $G_{\text{БС}}$ – коефіцієнт підсилення антени базової станції; f – середня частота; $h_{\text{БС}}$ – висота антени базової станції; r – відстань від МС до БС.

В даних розрахунках прийнято, що антена МС знаходиться на висоті 1,7 м. На основі формули (1) потужність сигналу на вході приймача МС виражається у ватах, і може бути розрахована за формулою:

$$P_{\text{прМС}} = 10^{0,1 P_{\text{перБС}}} \cdot 10^{0,1 G_{\text{БС}}} \cdot 10^{-6,955} \cdot 10^{-2,616 \lg f} \cdot 10^{1,382 \lg h_{\text{БС}}} \cdot 10^{-[4,5 - 0,655 \lg h_{\text{БС}}] \lg r}, \text{Вт.} \quad (2)$$

З урахуванням відомого співвідношення $10^{\lg N} = N$, вираз (2) приймає вигляд:

$$P_{\text{прМС}} = P_{\text{перБС}} \cdot G_{\text{БС}} \cdot 10^{-6,955} \cdot f^{-2,616} \cdot h_{\text{БС}}^{1,382} \cdot r^{-[4,5 - 0,655 \lg h_{\text{БС}}]}, \text{Вт.} \quad (3)$$

Дані для подальших розрахунків наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Дані для розрахунків потужності сигналу на вході приймача МС

r , км					$P_{\text{перБС}}$, дБВт			f , МГц	$h_{\text{БС}}$, м	$G_{\text{БС}}$, дБ
B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_1	B_2	B_3	1800	30	18
1	2	3	4	5	13	14,77	16			

Використовуючи формулу (1), здійснимо розрахунки потужності сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 1$ км:

$$P_{\text{прМС1.1}} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 1 = -103,29, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС1.2}} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 1 = -101,52, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС1.3}} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 1 = -100,29, \text{ дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 2$ км:

$$P_{\text{прМС2.1}} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 2 = -113,89, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС2.2}} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 2 = -112,12, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС2.3}} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 2 = -110,89, \text{ дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 3$ км;

$$P_{\text{прМС3.1}} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 3 = -120,25, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС3.2}} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 3 = -118,48, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС3.3}} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 3 = -117,25, \text{ дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 4$ км.

$$P_{\text{прМС4.1}} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 4 = -124,49, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС4.2}} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 4 = -122,72, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС4.3}} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 4 = -121,49, \text{ дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 5$ км.

$$P_{\text{прМС5.1}} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 5 = -128,02, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС5.2}} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 5 = -126,25, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС5.3}} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 5 = -125,02, \text{ дБВт.}$$

Результати обчислень зведено до таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків потужності сигналу (дБВт) на вході приймача МС

$h_{\text{БС}} = 30 \text{ м}$					
$P_{\text{пр.БС}}, \text{дБВт}$	$r = 1 \text{ км}$	$r = 2 \text{ км}$	$r = 3 \text{ км}$	$r = 4 \text{ км}$	$r = 5 \text{ км}$
13	-103,29	-113,89	-120,25	-124,49	-128,02
14,77	-101,52	-112,12	-118,48	-122,72	-126,25
16	-100,29	-110,89	-117,25	-121,49	-125,02

На основі отриманих результатів (табл. 2) побудуємо графік залежності потужності сигналу на вході приймача МС від потужності передавача БС та відстані між ними (рис. 1).

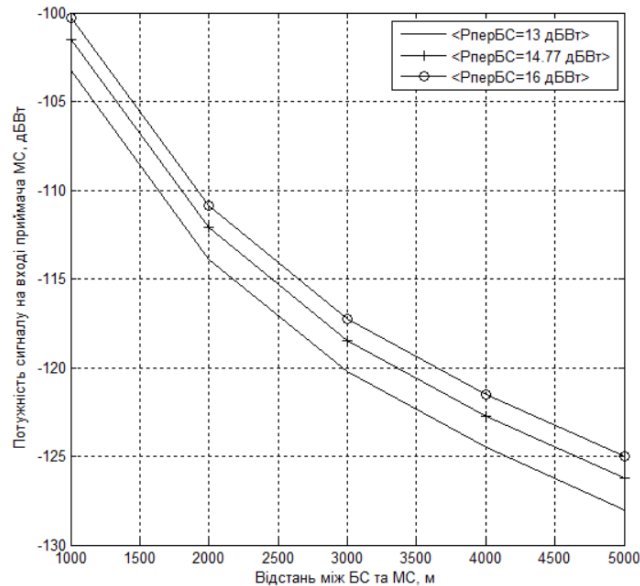


Рис. 1. Залежність потужності сигналу на вході приймача МС від потужності передавача БС та відстані між ними

Визначимо максимально можливі відстані між базовою та мобільною станціями при мінімальній потужності сигналу на вході приймача МС.

На основі формули (3) визначимо максимально можливу відстань r_{max} між БС та МС:

$$r_{\text{max}} = -[4.5 - 0.655 \lg h_{\text{БС}}] \sqrt{\frac{P_{\text{прminМС}}}{P_{\text{перБС}} G_{\text{БС}} 10^{-6.955} f^{-2.616} h_{\text{БС}}^{1.382}}}, \text{ км.} \quad (4)$$

Таблиця 3

Дані для розрахунків максимальної відстані між БС та МС при мінімальній потужності сигналу на вході приймача МС

$h_{\text{БС}}, \text{м}$	$G_{\text{перБС}}$			$P_{\text{пр.БС}}, \text{Вт}$					$f, \text{МГц}$	$P_{\text{пр.minМС}}, \text{Вт}$
30	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	1800	$3,228 \cdot 10^{-14}$ (-104,91 дБм)
	10	25	63	20	25	30	35	40		

Використовуючи формулу (4) і дані з таблиці 3, розрахуємо r_{max} для першого варіанту, при $G_{\text{БС}}=10$:

$$r_{\text{max11}} = -[4.5 - 0.655 \lg 30] \sqrt{\frac{3,228 \cdot 10^{-14}}{20 \cdot 10 \cdot 10^{-6.955} \cdot 1800^{-2.616} \cdot 30^{1.382}}} = 4.67, \text{ км.} \quad (5)$$

Для всіх інших варіантів (табл. 3) проведемо аналогічні розрахунки максимальної відстані між БС та МС при мінімальній потужності сигналу на вході приймача МС: $r_{\text{max1.2}} = 4,97, \text{ км}$; $r_{\text{max1.3}} = 5,24, \text{ км}$; $r_{\text{max1.4}} = 5,47, \text{ км}$; $r_{\text{max1.5}} = 5,68, \text{ км}$.

Розрахуємо r_{max} для другого варіанту, при $G_{\text{БС}}=25$: $r_{\text{max2.1}} = 6,05, \text{ км}$; $r_{\text{max2.2}} = 6,44, \text{ км}$; $r_{\text{max2.3}} = 6,78, \text{ км}$; $r_{\text{max2.4}} = 7,09, \text{ км}$; $r_{\text{max2.5}} = 7,36, \text{ км}$.

Розрахуємо r_{max} для третього варіанту, при $G_{\text{БС}}=63$: $r_{\text{max3.1}} = 7,86, \text{ км}$; $r_{\text{max3.2}} = 8,38, \text{ км}$; $r_{\text{max3.3}} = 8,82, \text{ км}$; $r_{\text{max3.4}} = 9,24, \text{ км}$; $r_{\text{max3.5}} = 9,6, \text{ км}$.

Результати розрахунків максимальної відстані r_{max} між БС та МС при мінімальній потужності сигналу на вході приймача МС наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати розрахунків максимальної відстані $r_{\max}$ між базовою та мобільною станціями при відповідних потужностях передавача БС та коефіцієнтів підсилення передавальної антени БС

$P_{\text{перБС}}, \text{Вт}$	$G_{\text{перБС1}}=10 \text{ дБ}$	$G_{\text{перБС2}}=14 \text{ дБ}$	$G_{\text{перБС3}}=18 \text{ дБ}$
20	4,67 км	6,05 км	7,86 км
25	4,97 км	6,44 км	8,38 км
30	5,24 км	6,78 км	8,82 км
35	5,47 км	7,09 км	9,24 км
40	5,68 км	7,36 км	9,6 км

Побудуємо графік залежності максимальної відстані між БС та МС від потужності передавача базової станції та коефіцієнта підсилення антени БС (рис. 2) згідно з даними таблиці 4.

Висновки

1. В мережах LTE при потужностях передавача базової станції 13 дБВт, 14,77 дБВт та 16 дБВт, висоті БС 30 м, висоті антени МС 1,7 м, коефіцієнтів підсилення антени БС 10 дБ, 14 дБ та 18 дБ, середньої частоти 1800 МГц на дальності від базової до мобільної станцій в межах 1–5 км потужність сигналу на вході приймача МС зменшиться на 24,73 дБВт.

При зростанні відстані між базовою та мобільною станціями з 1–5 км (через кожний кілометр) потужність сигналу на вході приймача мобільної станції буде зменшуватись на 10,6 дБВт, 6,36 дБВт, 4,24 дБВт та 3,53 дБВт відповідно.

Потужність сигналу на вході приймача мобільної станції не буде нижчою за мінімально-допустиму потужність сигналу МС (-134,91 дБВт), що забезпечує високу якість мобільного зв'язку.

2. Максимально можлива відстань від базової до мобільної станції (максимальний радіус комірки) за умови мінімально-допустимої потужності сигналу на вході приймача МС (-134,91 дБВт), при збільшенні потужності передавача БС з 20 до 40 Вт коефіцієнтів підсилення антени $G_{\text{перБС}}=10$ дБ збільшується максимально можлива відстань від БС до МС на 1,01 км; при $G_{\text{перБС}}=14$ дБ збільшується максимально можлива відстань від БС до МС на 1,31 км; при $G_{\text{перБС}}=18$ дБ збільшується максимально можлива відстань від БС до МС на 1,74 км.

3. Надані наукові обґрунтовані рекомендації щодо побудови розмірів комірок мобільного зв'язку за технологією LTE в умовах забудови міста. Разом з тим, на максимально можливу відстань між базовою та мобільною станціями будуть впливати міжсистемні завади, втрати сигналу на проникнення в приміщення, втрати на затемнення, а також очікувана максимальна кількість активних абонентів, що потребує подальших наукових досліджень.

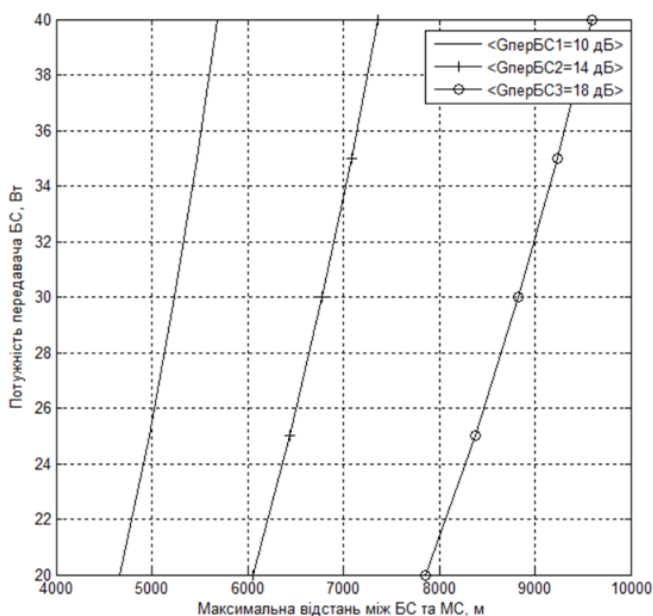


Рис. 2. Залежність максимальної відстані $r_{\max}$ між БС та МС від потужності передавача базової станції та коефіцієнта підсилення антени БС

Література

1. Базит А. Расчет сетей LTE / Абдул Базит. – Хельсенский технологический университет, 2009.
2. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
3. Берлин А.Н. Сотовые системы связи : учеб. пособ. / Берлин А.Н. – М. : БИНОМ, 2009. – 360 с.

References

1. Bazit A. Raschet setej LTE / Abdul Bazit. – Helsenjskij tehnologicheskij universitet, 2009.
2. Sukachev E.A. Sotovye seti radiosvyazi s podvizhnymi obektami : ucheb. posob. / Sukachev E.A. – [3-e izd., pererab. i dopoln.]. – Odessa : ONAS im. A.S. Popova, 2013. – 256 s.
3. Berlin A.N. Sotovye sistemy svyazi : ucheb. posob. / Berlin A.N. – M. : BINOM, 2009. – 360 s.

Рецензія/Peer review : 15.10.2019 р.

Надрукована/Printed :25.10.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк