

УДК 621.371.3

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2023-1-1>

Олег ГАЛУШКО

кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, olegmih@i.ua
Researcher ID: D-4509-2019

Олена НІКОЛЬСЬКА

старший викладач, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, alena68nik@gmail.com
Researcher ID: D-2331-2019

Бібліографічний опис статті: Галушко, О., Нікольська, О. (2023). Експериментальне визначення параметрів замовної моделі втрат потужності радіосигналу на трасі в міських кварталах зі щільною забудовою. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 3–7, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-1-1>

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
ЗАМОВНОЇ МОДЕЛІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ РАДІОСИГНАЛУ НА ТРАСІ
В МІСЬКИХ КВАРТАЛАХ ЗІ ЩІЛЬНОЮ ЗАБУДОВОЮ**

Наведені результати експериментальних досліджень щодо вибору параметрів замовної моделі втрат потужності радіосигналу по трасі розповсюдження в міських кварталах із щільною забудовою. Отримано значення коефіцієнтів моделі, яка дозволяє без складних розрахунків визначати значення втрат як всередині, так зовні кварталів при відстані між БС та АС від сотні метрів до одиниць кілометрів. Результати дослідження актуальні при проектуванні та оптимізації мереж мобільного зв'язку.

Ключові слова: мобільний зв'язок, радіосигнал, потужність, втрати, траса, модель, параметри, експеримент, визначення, коефіцієнт.

Oleg GALUSHKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, olegmih@i.ua
Researcher ID: D-4509-2019

Olena NIKOLSKA

Senior Teacher, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, alena68nik@gmail.com
Researcher ID: D-2331-2019

To cite this article: Halushko, O., Nikolska, O. (2023). Eksperymentalne vyznachennia parametriv zamovnoi modeli vtrat potuzhnosti radiosyhnalu na trasi v miskykh kvartalakh zi shchilnoiu zabudovoiu [Experimental determination of parameters of the primary model of loss of power of radiosignal in traces in city quarters with a dynamic insurance]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 3–7, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-1-1>

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PARAMETERS
OF THE PRIMARY MODEL OF LOSS OF POWER OF RADIOSIGNAL IN TRACES
IN CITY QUARTERS WITH A DYNAMIC INSURANCE**

The results of experimental researches on the choice of parameters of the custom model of loss of power of radio signal along the route of distribution in urban quarters with dense buildings are presented. The value of the coefficients of the model is obtained, which allows, without difficult calculations, to determine the value of losses both inside and outside of the quarters at a distance between the BS and the AU from hundreds of meters to one kilometer. Research results are relevant for the design and optimization of mobile communication networks.

Key words: mobile communication, radio signal, power, losses, route, model, parameters, experiment, definition, coefficient.

Постановка проблеми. Одним із найважливіших питань у дослідженні процесу розповсюдження радіохвиль є визначення втрат потужності сигналу по трасі між базовою станцією – БС та абонентською – АС. Існує досить багато моделей втрат потужності в різних умовах, які відрізняються за складністю. Аналіз цих моделей показує, що всі вони мають різний ступінь точності оцінки та адекватності процесу поширення радіохвиль по трасі.

Так, серед всіх відомих моделей тільки дві: модель Ксіа-Бертоні та модель COST231-Уолфіш-Ікегамі дозволяють визначати втрати потужності по трасі при відстані між БС та АС менше одного кілометра.

Згідно моделі Ксіа-Бертоні, значення середніх втрат потужності радіосигналу розраховується за досить складною формулою (Бунин, Войтер, 1989), до якої входять наступні параметри: довжина радіохвилі; відстань між приймачем та передавачем; різниця висоти антени БС і середнього рівня дахів будівель; параметр, який враховує різницю висот середнього рівня дахів і висоти антени мобільної станції; відстань між антеною мобільної станції і кромкою дахів (на якій відбувається дифракція радіохвилі) по горизонталі, середня ширина вулиць; середня відстань між кварталами.

Модель Уолфіш-Ікегамі визнана найкращою для оцінки рівня сигналу в малих стільниках (Таранчук, Добровольский, 2011). Ця модель заснована на фізичному уявленні поля в точці прийому у вигляді двох складових: когерентної та розсіяної.

Когерентна складова визначається хвилею, що схильна до дифракції навколо будівель уздовж дороги з боку БС. Розсіяна компонента створює хвилі, які утворюються в результаті перевипромінювання будівлями падаючої на них хвилі від БС. Розсіяна компонента приходить з напрямів, які не збігаються з напрямом на БС і навіть протилежні цьому напрямку. Модель Уолфіш-Ікегамі задовільно працює в умовах міста з відносно невисокою, але щільною забудовою, де основним шляхом розповсюдження радіосигналу (в разі відсутності прямої видимості між вузлами) є шлях, що проходить через дахи будівель (які можуть бути описані як серії послідовних екранів), супроводжуваний багатозонним розсіюванням.

Дана модель використовується Міжнародним телекомунікаційним союзом (ITU) в якості стандартної моделі для систем рухомого зв'язку 3G і 4G, що працюють в діапазоні частот 800 <math><2000</math> МГц. В якості основної смуги частот для мереж UMTS/HSPA/HSPA+ визначена парна дуплексна смуга I (1920–1980/2110–2170 МГц).

Основні параметри моделі: частота передачі даних; висота передавальної антени; висота приймальної антени; відстань між приймачем і передавачем; середня висота будівель; середня ширина вулиць; відстань між будівлями, а також складова втрат, що залежить від орієнтації вулиць щодо направлення приходу сигналу.

Складність розрахунків за цими двома моделями, а також некоректність їх використання в сучасних умовах, для яких характерною особливістю районів міської забудови є відсутність явно виражених кварталів і вулиць, ускладнює розробку рекомендацій щодо їх практичного використання.

Наведений короткий аналіз показує, що існує необхідність отримання зручної практичної моделі для визначення втрат потужності сигналу в умовах щільної міської забудови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах (Зміївський, Краснокутський, Колодєєв, 2007; Трубчанінова, Жученко, Лисечко, 2022; Моделирование распространения радиоволн в городе с помощью эмпирических моделей) розглянуто відомі статистичні моделі втрат потужності сигналу в різних умовах та отримані підтвердження можливості їх використання в межах прийнятих значень параметрів. Але при цьому в проведених дослідженнях не встановлені вимоги щодо їх практичного застосування.

Формулювання мети статті. В даній публікації поставлено мету визначення вимог до параметрів однієї з існуючих моделей шляхом експериментальних вимірювань рівня сигналів в точках прийому в реальних умовах міської забудови та поширення діапазону її використання при спрощенні розрахунків втрат потужності.

Найбільш простою за побудовою та універсальною у використанні є модель втрат COST231-Хата – (Бунин, Войтер, 1989), але вона рекомендована для відстані між АС та БС більше одного кілометра (Гайдук та ін., 2007). Згідно цієї моделі втрати по трасі поширення радіохвиль у місті дорівнюють:

$$L_m = 46,3 + 33,9 \lg f - 13,82 \lg h_b - ah_m + (44,9 - 6,55 \lg h_b) \lg d + C_m \quad (1)$$

де: $ah_m = (1,1 \lg f - 0,7)h_m - (1,56 \lg f - 0,8)$;

$C_m = 0$ дБ – для передмість і міст з невисокою забудовою;

$C_m = 3$ дБ – для міст із щільною та високою забудовою.

Як видно з формули (1), для використання моделі досить мати лише чотири параметри: несучу частоту, висоти антен базової та мобільної станції і відстань між ними.

Формат цієї моделі прийнято для так званої «замовної моделі» втрат потужності по трасі розповсюдження радіосигналу (Гайдук та ін., 2007) так, що вона дозволяє незалежно коригувати кожен з основних параметрів C1-C10:

$$L_M = C1 + C2 \lg f - C3 \lg h_b - ah_m + (C4 - C5 \lg h_b) \lg d + C6 \quad (2)$$

де: $ah_m = (C7 \lg f - C8)h_m - (C9 \lg f - C10)$.

У випадку стандартної моделі для систем рухомого зв'язку 3G і 4G, для яких несуча частота становить близько 2000 МГц, а висота розташування мобільної станції користувачів як зазвичай – 1 ... 1,5 м, параметр ah_m знаходиться у межах від 0 до – 1,5 дБ, тому у замовній моделі його можна залишити без змін відносно моделі COST231-Хата.

Висоти базових станцій в міських забудовах, як правило, мають значення 30–40 м. Для щільної забудови з 9-ти поверховими будинками треба прийняти параметр $C6 = C_m = 3$ дБ. При вказаних висотах БС логічно прийняти коефіцієнт $C3$ саме таким, як у моделі COST231-Хата, особливо на відстанях між БС та АС від сотні метрів до 2–3 км.

Коефіцієнти $C4$ і $C5$ разом впливають на значення втрат потужності сигналу в залежності від відстані між БС та АС, але коефіцієнт $C5$ визначає вплив від висоти БС, що в конкретних умовах дослідження можливо прийняти також незмінним відносно моделі COST231-Хата.

Вплив частоти несучої, який визначається коефіцієнтом $C2$, на відстанях як до, так і більше одного кілометра, можна прийняти ідентичним, тому доцільно залишити його також незмінним відносно моделі COST231-Хата.

Таким чином, необхідними для побудови замовної моделі втрат радіосигналу є параметри $C1$ та $C4$.

Визначення параметрів замовної моделі доцільно здійснити шляхом практичного вимірювання рівня сигналів в точках прийому сигналів всередині та поблизу районів зі щільною забудовою будинками однакової та близької конфігурації.

Для проведення досліджень у місті Дніпро був обраний мікрорайон «Лівобережний-3», який забудовано переважно 9–10-ти поверховими будинками.

Для цього району характерна висока щільність розташування не тільки будівель, а також і базових станцій, що визначається необхідністю обслуговування значного за інтенсивністю як мовного трафіка, так і трафіка бездротового доступу до ресурсів Інтернет.

Вимірювання рівня потужності сигналів у точках доступу здійснювалось за допомогою

додатків Network Signal Info та Network Cell Info, які показують місцезнаходження базових станцій на карті та вимірюють рівень сигналу як обслуговуючого стільника, так і сусідніх стільникових мереж, включаючи LTE, HSPA, HSPA+, WCDMA, EDGE, GSM, CDMA (Network Signal Info; Network Cell Info). У кожній точці прийому здійснювалось три вимірювання. Для аналізу отриманих результатів використовувалось їх середнє значення.

Для зіставлення результатів вимірювань рівня сигналів та розрахунків згідно моделі COST231-Хата, необхідно для моделі прийняти діапазони можливих змін параметрів, а саме: потужність передавальних пристроїв БС, яка може коливатись від 28 до 50 Вт, та висоти розташування БС для конкретного типу забудови – від 30 до 40 м.

Рівень сигналу в точці прийому визначається у відповідності з балансом втрат при передачі сигналу у напрямку від БС до АС згідно виразу:

$$P_{inAC} = P_{outBC} - L_{fBC} + G_{aBC} - L_C - (L_M + P_\sigma) + G_{aAC} - L_{fAC} \quad (3)$$

де: $P_{outBC} = (28...50)$ Вт = (44,47...46,99) дБм – потужність передавальної (базової) станції;

L_{fBC} – втрати у комбайнері передавача, які можна прийняти рівним 2 дБ;

G_{aBC} – коефіцієнт підсилювання передавача, зазвичай складає 16 дБ;

для приймача $G_{aAC} = 0$ дБ, і втрати приймача – також $L_{fAC} = 0$ дБ;

втрати у стільнику при 3–4 частотах $L_C = 0$ дБ;

L_M – загальні втрати по трасі розповсюдження сигналу в місті;

P_σ – середнє квадратичне відхилення рівня сигналу, яке приймається у розрахунках для створення запасу потужності передавача при проектуванні мереж стільникового зв'язку.

Таким чином, рівень сигналу в точці прийому складає:

$$P_{inAC} = P_{outBC} - L_{fBC} + G_{aBC} - L_M = (44,47...46,99) + +14 \text{ дБ} - L_M = [(58,5...61) - L_M] \text{ дБм,}$$

З урахуванням втрат по трасі в місті (L_M) згідно моделі COST231-Хата рівень сигналу в точці прийому для вказаних вище значень параметрів дорівнює:

$$P_{inAC} \approx - (82,17...79,67) - (35,23...34,41) \text{ дБм.}$$

Результати вимірювань P_{inAC} в точках прийому та їх статистична обробка, а також залежність рівня сигналу від відстані між АС та БС, визначеного згідно моделі COST231-Хата, наведено на рисунку 1.

Аналіз отриманих результатів. 1. Достовірність апроксимації експериментальної залеж-

ності потужності в точці прийому від відстані між БС та АС в діапазоні 100–1900 м для мікрорайону з переважно 9-ти поверховими будинками має значення $R^2 = 0,97$.

2. Існує суттєва різниця між експериментальними значеннями рівня сигналів у порівнянні з розрахунковими за моделлю COST231-Хата, яка складає 7...15 дБм на відстанях між БС та АС від 100 до 1000 м.

3. Починаючи з відстані 1500 м між БС та АС експериментальні значення рівня сигналів практично співпадають з розрахованими значеннями за моделлю COST231-Хата.

Для визначення коефіцієнтів $C1$ та $C4$ замовної моделі втрат потужності по трасі необхідно при використанні отриманого рівняння регресії – рис. 1 – перейти від натурального логарифму до десяткового, тоді маємо:

$$Y = -11,6 \ln X - 4,498 = P_{inAC} = -26,71 \lg d - 4,498$$

Після виконання необхідних перетворень отримаємо параметри замовної моделі:

$$C1 \approx 61,5; \quad C4 \approx 36,7$$

Остаточну рівняння замовної моделі втрат сигналу по трасі на базі формату моделі COST231-Хата, яка може бути використана при відстані між БС та АС менше 1 км, для практичних розрахунків має вигляд:

$$L_m = \underline{61,5} + 33,9 \lg f - 13,82 \lg h_b - ah_m + (\underline{36,7} - 6,55 \lg h_b) \lg d + C_m \quad (4)$$

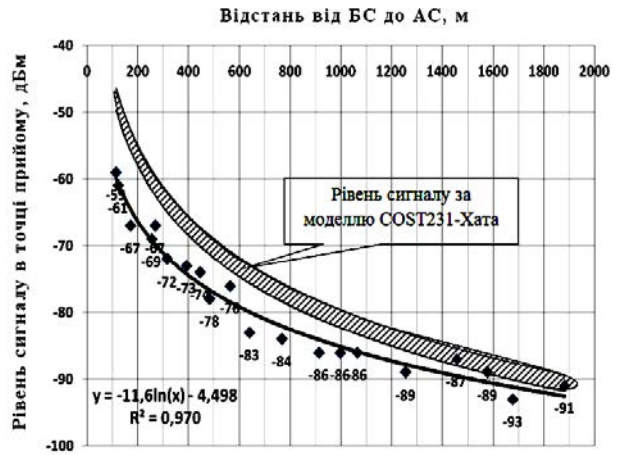


Рис. 1. Результати вимірювань рівня сигналів в точках прийому та значення цих параметрів, визначених згідно статистичної моделі COST231-Хата

Висновки. Результатом проведених досліджень є методика розрахунку параметрів замовної моделі втрат рівня сигналу по трасі розповсюдження, що дозволяє поширити можливість визначення втрат в міських умовах щільної забудови при відстанях між АС та БС, менших одного кілометра, з розміщенням базових станцій та абонентських пристроїв як всередині кварталів, так і поблизу їх. Отриманий розрахунковий вираз є досить простим і практичним для використання, доцільним для виконання первинних розрахунків

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бунин С. Г., Войтер А. П. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью. Київ : Техника, 1989. 223 с.
2. Таранчук А.А., Добровольский А.В. Методи розрахунку затухання електромагнітних хвиль при їх поширенні на трасах рухомого зв'язку. Вісник Хмельницького національного університету. № 3, 2011, с. 200–205.
3. Зміївський Г.А., Краснокутський В.М., Колодєєв М.М. Аналіз моделей і методів розрахунку зон радіопокриття систем мобільного зв'язку при їх використанні для забезпечення управління повсякденною діяльністю військ (сил). Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, випуск 1(13), 2007, с. 30–32. URL: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/3596>
4. Трубочанінова К. А., Жученко О. С., Лисечко В. П. Бездротові телекомунікаційні системи: Навч. посібник. Харків: УкрДУЗТ, 2022. 86 с.
5. Моделирование распространения радиоволн в городе с помощью эмпирических моделей. URL: https://studbooks.net/2346236/tehnika/modelirovanie_rasprostraneniya_radiovoln_gorode_pomoschyu_empiricheskikh_modeley
6. Гайдук О.В. та ін. Радіотелекомунікаційні технології: Радіопередавальні та радіоприймальні пристрої. Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2007. 320 с.
7. Додаток для смартфона – Network Signal Info. URL: <https://trashbox.ru/link/network-signal-info-android>
8. Додаток для смартфона – Network Cell Info. URL: <https://android.bibliprog.org.ua/ru/network-cellinfo-lite/>

REFERENCES:

1. Bunin S. G., Voiter A. P. Computer networks with packet radio communication. Kiev: Technique, 1989. 223 p.
2. Taranchuk A.A., Dobrovolsky A.V. Methods for spreading the attenuation of electromagnetic feathers with their widening on the tracks of a crumbly knot. Bulletin of Khmelnytsky National University. No. 3, 2011, p. 200–205.

3. Zmiivskiy G.A., Krasnokutskiy V.M., Kolodiev M.M. Analysis of models and methods for rozrahunka zones of radio coverage of mobile communication systems with ix vikoristanny for secure management of everyday activities of the military (forces). Collection of scientific works of Kharkiv University of the Povitryanyh Forces im. I. Kozhedub, issue 1(13), 2007, p. 30–32 [Electronic resource] – Access mode for the address: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/3596>
4. Trubchaninova K.A., Zhuchenko O.S., Lisechko V.P. helper. Kharkiv: UkrDUZT, 2022. 86 p.
5. Modeling of radio wave propagation in the city using empirical models. [Electronic resource] – Access mode at: https://studbooks.net/2346236/tehnika/modelirovanie_rasprostraneniya_radiovoln_gorode_pomoschyu_empiricheskikh_modeley
6. Hayduk O.V. etc. Radio telecommunication technologies: Radio transmitting and receiving devices. – Nizhyn: LLC "Aspect-Polygraph Publishing House", 2007. 320 p.
7. Smartphone application – Network Signal Info [Electronic resource] – Access mode at: <https://trashbox.ru/link/network-signal-info-android>
8. Smartphone application – Network Cell Info [Electronic resource] – Access mode at: <https://android.biblprog.org.ua/ru/network-cellinfo-lite/>