

УДК 621.396.39 (045)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МЕРЕЖ СТАНДАРТУ IEEE 802.11n

Р. С. Одарченко, канд. техн. наук, *О. П. Ткаліч*, канд. техн. наук, доц.,
О. О. Полігенько

Національний авіаційний університет

o.polihenko@ukr.net

Розглянуто дані проведеного експериментального дослідження для перевірки запропонованого авторами методу оцінки ефективної пропускної здатності антенних систем MIMO в конфігураціях (2xM) та (Nx2), який дає змогу визначити пропускну здатність, залежно від необхідного співвідношення сигнал/шум на вході приймачів, імовірності виникнення бітових помилок, дальності зв'язку, кількості та характеру перешкод на шляху розповсюдження радіосигналу, метеорологічних умов, потужності передавачів, частоти радіосигналу, типу місцевості.

Ключові слова: мережі Wi-Fi, пропускна здатність, потужність радіосигналу, MIMO-система, затухання, експериментальні дослідження.

This paper examined data conducted an experimental study to test the authors proposed an effective method for assessing the capacity of MIMO antenna configurations in (2hM) and (Nx2), which allows to determine the bandwidth , depending on the required signal / noise ratio at the receiver input , the probability of bit error rate, communication range , the number and nature of obstacles to the spread of radio , weather conditions , power transmitters, radio frequency , the type locality.

Keywords: network Wi-Fi, bandwidth, signal strength, a MIMO system, damping, experimental study.

Вступ

Прогнозування параметрів розповсюдження для радіосистем, що працюють усередині приміщень, відрізняється від зовнішніх систем. Що стосується зовнішніх систем, то для них кінцевою метою є забезпечення ефективного охоплення необхідної зони (або забезпечення надійної передачі у випадку систем зв'язку пункту до пункту), а також боротьба з перешкодами як у межах системи, так і для інших систем. У разі ж прийому всередині приміщень розміри зони охоплення цілком визначаються геометрією будівлі, причому межі самої будівлі впливатимуть на характеристики поширення [1]. Поширення на дуже короткі відстані пов'язане з тим, що навіть невеликі зміни в середовищі, безпосередньо навколишніх радіотрас, можуть суттєво впливати на характеристики поширення.

Якщо планувати радіосистему, працюючу всередині приміщень, то через складну природу всіх цих факторів потрібна точна інформація щодо характеристик конкретного місця, де вона буде використовуватися, наприклад, його геометрії, матеріалів, з яких зроблено будівлю, меблі, передбачувані діаграми спрямованості і т. д.

Однак для первинного планування системи необхідно оцінити кількість станцій, що дозволить охопити всю зону з розподіленими мобільними станціями і оцінити можливі перешкоди для інших служб або між системами. Для таких випадків планування систем необхідні моделі, що описують у загальних рисах характеристики поширення в умовах конкретного середовища.

Водночас розрахунок за такою моделлю не потребує від користувача великої кількості вихідної інформації. Крім цього, важливо отримувати також можливість оцінювати пропускну здатність системи для конкретних умов.

Аналіз досліджень та публікацій

Методи оцінки та підвищення пропускної здатності бездротових каналів MIMO-систем розглядаються в ряді публікацій вітчизняних та іноземних учених [2–4]. Питання щодо оцінки пропускної здатності каналів антенних систем MIMO, залежно від відстані між передавачем та приймачем, кількості та характеру перешкод на шляху розповсюдження радіосигналу тощо розглянуто в праці [5]. Методику визначення радіуса зони обслуговування точки доступу стандарту IEEE 802.11g для заданих параметрів системи наведено в праці [6; 7].

Постановка завдання

Запропонований у праці [5] метод оцінки ефективної пропускної здатності антенних систем MIMO потребує експериментального підтвердження. Саме це є основною метою даного дослідження, в межах якого необхідно виконати такі завдання.

1. Розробити методику оцінки пропускної здатності каналів мереж із використанням технології MIMO-OFDM.

2. Вибрати методику, обладнання та програмне забезпечення для проведення експериментальних досліджень визначенню пропускної здатності каналів антенних систем MIMO-OFDM сучасних бездротових мереж зв'язку.

3. Розробити програмне забезпечення для оцінки ефективної пропускної здатності каналів антенних систем MIMO за допомогою розробленої методики.

4. Порівняти експериментальні та розрахункові дані, провести їх статистичне оброблення та побудувати відповідні графічні залежності.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для проведення експериментальних досліджень пропускної здатності каналів мереж із використанням технології MIMO-OFDM варто обрати загальнодоступне обладнання мереж стандарту IEEE 802.11n.

Вибір обумовлено можливістю відносно легкого налаштування мережевого обладнання, великою кількістю програмних продуктів для проведення вимірювань пропускної здатності бездротового каналу. При цьому в мережах даного стандарту вдало поєднано використання досліджуваних технологій MIMO та OFDM.

У зв'язку із цим, наведемо методику оцінки пропускної здатності мереж стандарту IEEE 802.11n.

Вхідними даними для оцінювання пропускної здатності антенних систем MIMO будуть, величини наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вхідні дані для оцінки пропускної здатності каналів MIMO-OFDM систем

№ з/п	Параметр	Опис параметру
1	Температура навколишнього середовища, К	Використовується для визначення величини теплового шуму
2	Потужність передавача точки доступу, дБм	Зазвичай наводиться в технічній документації до конкретного пристрою
3	Кількість абонентів бездротової мережі	Визначає кількість фактично підключених до мережі абонентів
4	Дальність передавання даних	Визначається радіусом необхідної зони обслуговування. Залежить від розмірів приміщень
5	Характеристика приміщень	Включає габарити, характер та матеріал перешкод, кут розповсюдження радіохвиль відносно перешкод
6	Допустимі види модуляції	Включає перелік допустимих видів модуляції відповідно до необхідного співвідношення сигнал/шум

Алгоритм виконується такою послідовністю дій.

Крок 1. Визначення потужності передавача БС або точки доступу.

Крок 2. Визначення температури приміщення (зовнішнього середовища).

Крок 3. Визначення кількості абонентів мережі, що припадають на одну БС або точку доступу.

Крок 4. Визначення максимально необхідної дальності передавання даних.

Крок 5. Визначення габаритів, характеру та матеріалу перешкод, кута розповсюдження радіохвиль відносно перешкод.

Крок 6. Визначення типу використовуваної модуляції. Спочатку обирається максимально допустимий вид модуляції, що здатен забезпечити максимально допустиму швидкість передавання даних.

Крок 7. Розрахунок необхідного відношення сигнал/шум на вході приймачів, що забезпечує нормальне функціонування системи та допустиму ймовірність бітової помилки.

Крок 8. Безпосередньо розрахунок швидкості передавання за формулою, наведеною в праці [5].

Якщо значення розрахованої швидкості передавання не може бути досягнутим для обраного на кроці 6 виду модуляції, то необхідно повернутися до кроку 6 та обрати модуляцію, яка зможе забезпечити необхідну швидкість передавання.

Таким чином, на базі отриманої моделі у програмному пакеті MathCad були побудовані графічні залежності швидкості передавання даних по мережі з використанням антенних систем MIMO в конфігурації (2×2) від дальності зв'язку (рис. 1) [5].

Вибір методики та обладнання для проведення експериментального дослідження пропускної здатності мережі стандарту IEEE 802.11n

Для проведення експериментальних досліджень обираємо бездротовий маршрутизатор TP-LINK TL-WR941ND.

Технічні характеристики маршрутизатора наведено в табл. 2.

Для оцінки швидкості передавання даних по мережі використовувався ноутбук із технічними характеристиками, наведеними в табл. 3 та встановленою операційною системою Windows 7.

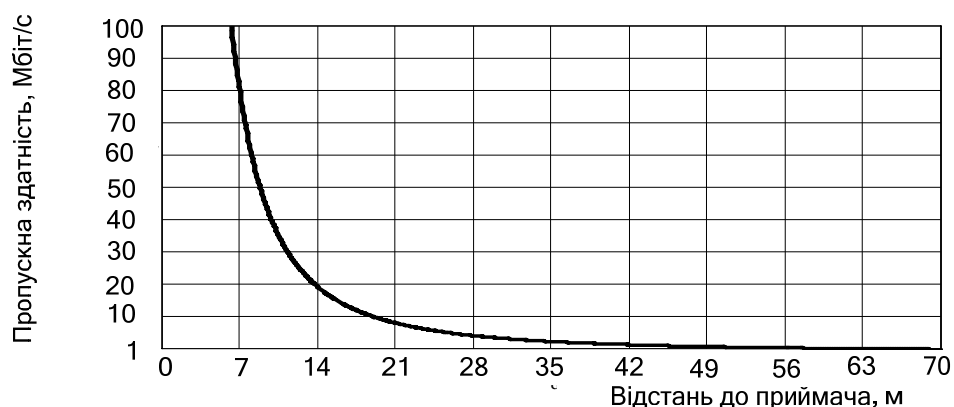


Рис. 1. Залежність швидкості передавання MIMO системи в стандарті IEEE 802.11n (потужність передавача становить 17 дБм) від відстані

Таблиця 2

Технічні характеристики бездротового маршрутизатора TP-LINK TL-WR941ND

WAN-порт	Ethernet
Інтерфейси	4×RJ-45 10/100 Ethernet LAN (MDI/MDIX) порта
Бездротові можливості	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Підтримка протоколів	PPPoE
Кількість антен	3 (3 дБі)
Конструкція антен	З'ємні
Функції VPN	VPN Pass Through
Функції безпеки	Firewall по MAC, IP, URL WEP 64/128/152-біт Підтримка MIC, IV Expansion, Shared Key Authentication, IEEE 802.1X
Інші функції	Підтримка UPnP DDNS Статичне керування IP Вбудований DHCP-сервер з автоматичним привласненням IP

Таблиця 3

Технічні характеристики ноутбука

Платформа	Intel
Тип процесора	Celeron
Модель процесора	B830M
Частота процесора	1.8 GHz
Оперативна пам'ять	2048 Мб
Жорсткий диск	500 Гб
Wi-Fi	802.11b/g/n
Програмне забезпечення	Windows 7

Найбільший інтерес в складі ноутбука становить бездротовий адаптер Wi-Fi стандарту IEEE 802.11n — Broadcom 802.11n. Цей мережевий адаптер підтримує роботу у двох частотних діапазонах (2,4 та 5 ГГц) та забезпечує можливість використання антенних систем MIMO в конфігурації 2×2.

Сутність експериментального дослідження полягає в послідовному вимірюванні швидкості передавання даних по мережі стандарту IEEE 802.11n у межах 3-го корпусу Національного авіаційного університету (тобто в приміщенні), змінюючи відстань між передавальним (бездротовим маршрутизатором) та приймальним пристроєм (ноутбуком).

Третій корпус НАУ має квадратну форму.

Коридори таких розмірів: ширина — 3 м; довжина — 60 м; висота — 4 м.

Зміна відстані між передавачем та приймачем проводиться в межах від 1 до 50 м із кроком в 1 м. Метою проведення експерименту є підтвердження адекватності моделі оцінки пропускної здатності безпроводових каналів із використанням MIMO систем.

Зокрема, проводиться перевірка часткового випадку, коли приймач та передавач знаходяться в одному приміщенні (для визначення втрат на поширення радіосигналу використовується модель Хата для внутрішньо-внутрішнього сценарію розповсюдження радіохвиль), конфігурація антенних систем MIMO 2×2. Під час проведення вимі-

рювання пропускної здатності бездротового каналу використовувався програмний продукт Iperf.

Таким чином, було складено алгоритм (рис. 3) та схему проведення експериментальних досліджень пропускної здатності каналів антенних систем MIMO в стандарті IEEE 802.11n (рис. 4).

Для розрахунку пропускної здатності за допомогою запропонованої моделі використовувався спеціально розроблений автором програмний продукт, написаний мовою C++, який можна застосовувати під час навчального процесу [8]. Інтерфейс програми продемонстрований на рис. 5.

За допомогою даної програми можна проводити розрахунок пропускної здатності антенних систем MIMO в конфігурації 2×2 залежно від різних параметрів. Зокрема, є можливість використання різних моделей розповсюдження радіохвиль для більш точного визначення затухань у різних умовах розповсюдження.

Експериментальне визначення пропускної здатності антенних систем MIMO стандарту IEEE 802.11n

Як уже було відзначено, проведення експерименту відбувалось в коридорі 3-го корпусу Національного авіаційного університету. Як показано на рис. 4, під час переміщення вимірювальної станції (тобто ноутбука) відбувалось вимірювання швидкості передавання даних та рівня сигналу між маршрутизатором та ноутбуком на різних відстанях L між ними.

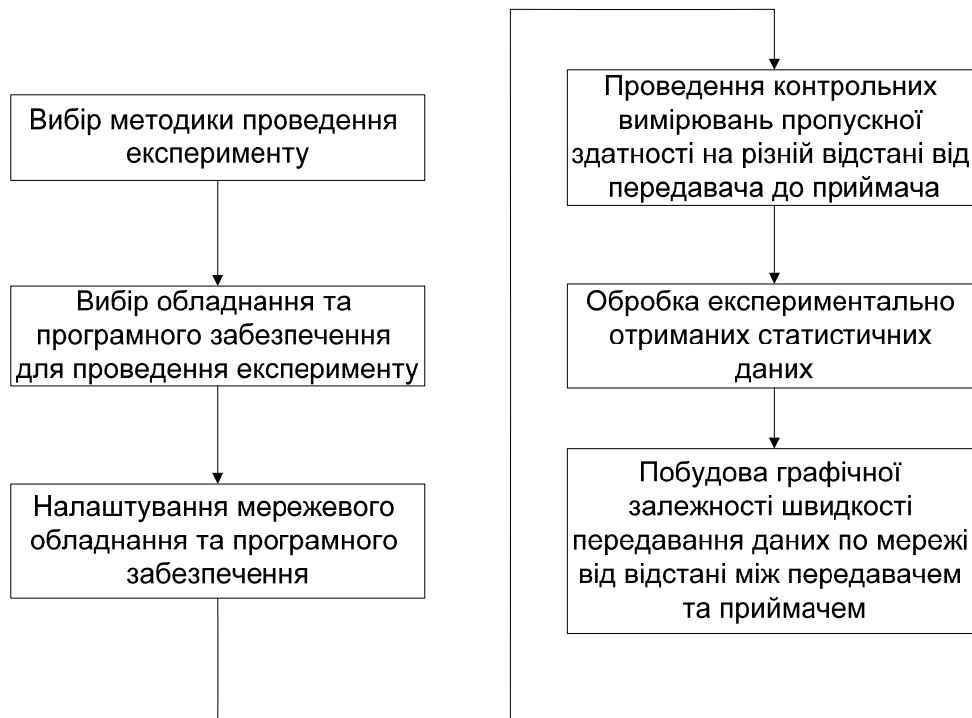


Рис. 3. Алгоритм проведення експериментальних досліджень пропускної здатності каналів антенних систем MIMO в стандарті IEEE 802.11n

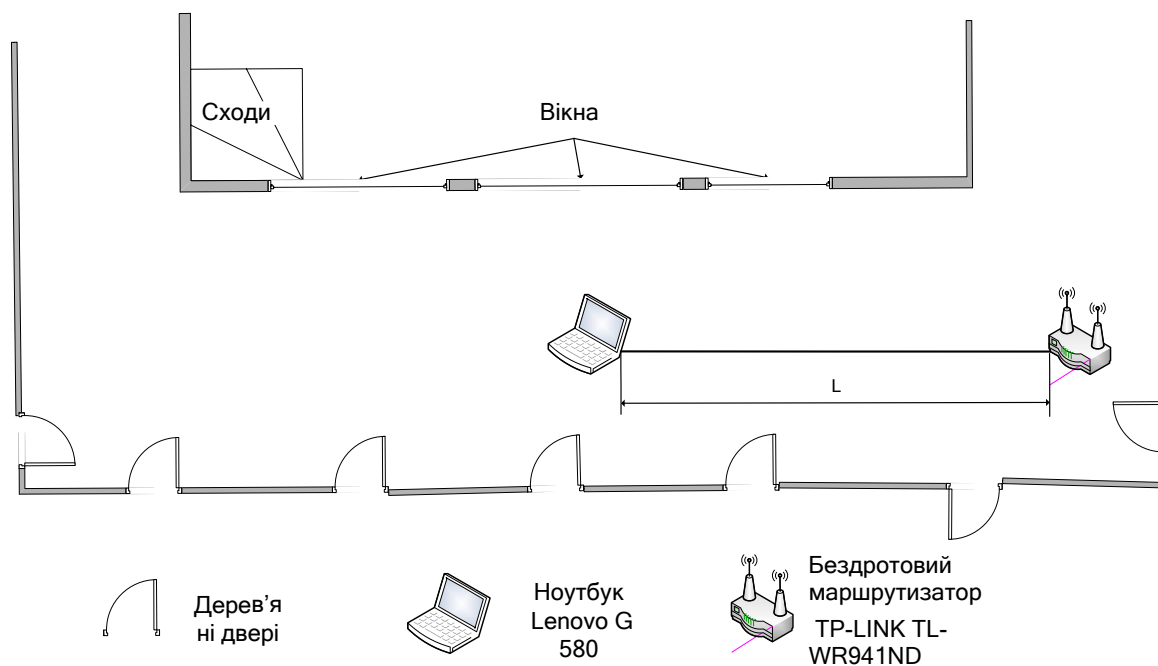


Рис. 4. Схема експериментальної установки для досліджень пропускної здатності каналів антенних систем MIMO в стандарті IEEE 802.11n

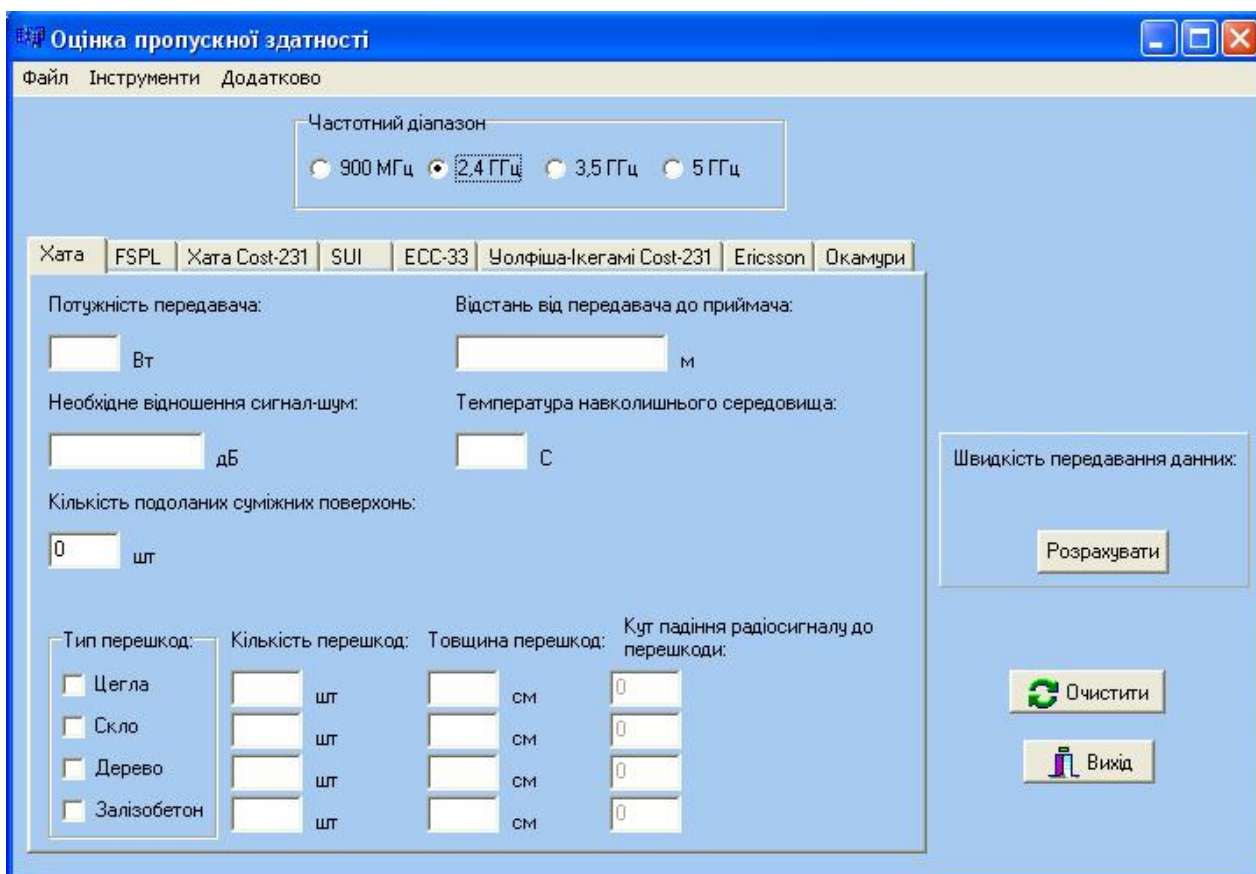


Рис. 5. Зовнішній вигляд вікна програми

За отриманими даними за допомогою програмного пакета MATHCad побудовано графічні залежності загасання радіосигналу та швидкості передавання даних по мережі від відстані між передавачем та приймачем (рис. 6 та 7).

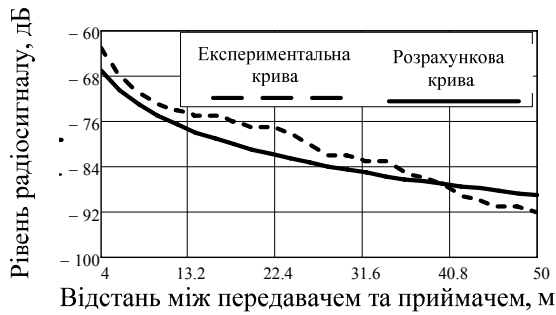


Рис. 6. Залежність рівня потужності радіосигналу від відстані між передавачем та приймачем

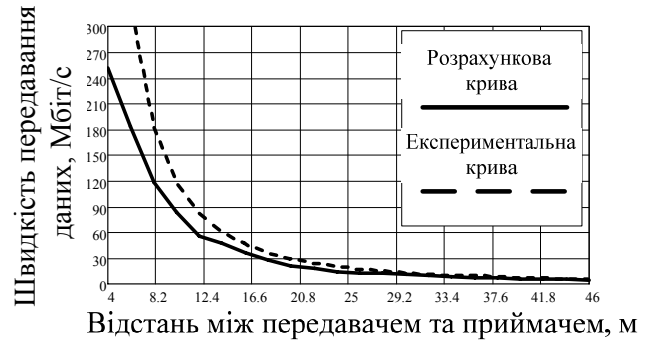


Рис. 7. Залежність швидкості передавання даних по мережі від відстані між передавачем та приймачем

Проаналізувавши графічні залежності (рис. 6 та рис. 7), можна зробити такі висновки.

1. На невеликих відстанях між передавачем та приймачем радіосигналу виміряна та розрахована швидкості передачі даних по мережі відрізняються на суттєву величину. Це викликано не зовсім точним вибором моделі розповсюдження радіохвиль для визначення пропускної здатності всередині приміщень — моделі Хата, адже вона є придатною до діапазону до 2 ГГц, а дослідження проводились для стандарту IEEE 802.11n, який працює в діапазоні 2,4 ГГц. Про це свідчать також виміри потужності радіосигналу в точці прийому. Вони можуть відрізнитись на значну величину і не підкоряються жодному із існуючих законів розповсюдження радіохвиль, що викликано складним багатопроменевим характером поширення радіохвиль усередині приміщень та виникненням швидких завмирань радіосигналу.

2. На значних відстанях між передавачем та приймачем радіосигналу виміряна та розрахована швидкості передавання даних по мережі майже збігаються за своїм значенням. Розраховані та експериментально визначені значення відрізняються між собою менше ніж на 1,4 Мбіт/с.

Висновки

В даній роботі викладені основні результати, пов'язані із проведенням експериментальних досліджень щодо визначення швидкості передавання даних каналів антенних систем MIMO в конфігурації 2x2. У результаті були зроблені такі висновки.

1. Було розроблено методику оцінки пропускної здатності каналів антенних систем MIMO-OFDM мереж стандарту IEEE 802.11n.

2. Для проведення експериментальних досліджень були обрані програмні та апаратні засоби,

які задовольняли вимоги, висунуті до точності отриманих експериментальним шляхом даних.

3. Для розрахунку пропускної здатності каналів антенних систем MIMO було розроблене спеціалізоване програмне забезпечення, написане мовою C++. За його допомогою можна встановити пропускну здатність залежно від усіх параметрів, розглянутих у методі оцінки пропускної здатності антенних систем MIMO із можливим використанням різних діапазонів частот та різних моделей розповсюдження радіохвиль для прогнозування величини втрат потужності радіосигналу.

4. Експериментальні дані дали змогу підтвердити адекватність запропонованого в праці [5] методу, хоча із деякими уточненнями. Таким чином, можна його рекомендувати для застосування під час планування радіомереж стандарту IEEE 802.11n, у навчальному процесі студентів, які навчаються за спеціальністю «Телекомунікаційні системи та мережі». Для планування стільникових мереж розроблений метод доцільно використовувати тільки на етапі попереднього оцінювання покриття або швидкості передавання даних. Це пов'язано із низькою точністю визначення прогнозованої величини затухань радіосигналу за допомогою емпіричних моделей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рекомендация МСЭ-R P.1238-4. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зонных радиосетей в частотном диапазоне 900 МГц–100 ГГц (Вопрос МСЭ-R 211/3), 2005.

2. Вишнеvский В. М. Энциклопедия WiMAX: Путь к 4G / В. М. Вишнеvский, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. — М.: Техносфера, 2009. — 472 с.

3. Ермолаев В. Т. Увеличение пропускной способности MIMO-системы радиосвязи с параллель-

ной передачеї данных по собственным подканалам / В. Т. Ермолаев, А. Г. Флакман, Д. Н. Лысяков // Вестник ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2010. — № 3 (1). — С. 79–86.

4. Коляденко Ю. Ю. Исследование пропускной способности ММО системы / Ю. Ю. Коляденко, А. Д. Муслим // Электронное научное специализированное издание — журнал «Проблемы телекоммуникаций», №1 (1), 2010. — С. 76–82.

5. Одарченко Р. С. Оцінка ймовірності бітової помилки та пропускної здатності каналів антенних ММО-систем / Р. С. Одарченко // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. — Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. — Спецвипуск № 2. — С. 57–67.

6. Коначович Г. Ф. Методика визначення радіуса зони обслуговування точки доступу стандарту IEEE 802.11g / Г. Ф. Коначович, М. Г. Луцький, Р. С. Одарченко // Защита информации. — 2010. — Вып. 17. — С. 269–277.

7. Algorithm of definition of zones of service of access points of standard IEEE 802.11 / G. F. Konahovich, O. P. Velichko, R. S. Odarchenko, Y. O. Petrov // The fourth world congress “Aviation in the XXI century”. — P. 21.72–21.76.

8. Одарченко Р. С. Використання мови C++ Builder для розробки освітніх програм / Р. С. Одарченко, І. В. Сліпухіна, О. О. Полігенько // Інженерія програмного забезпечення. — 2011. — Вип. 1 (5). — С. 54–59.

REFERENCES

1. Recommendations ITU-R P.1238-4. DATA Distribution of radio wave and prediction methods for the Scheduling of radyosvyazy intra premises and lokalnih

zonovih radyosetey in the frequency bands 900 MHz-100 GHz (Question ITU-R 211/3), 2005.

2. Vishnevsky V. M. Encyclopedia of WiMAX: The path to 4G / V. M. Vishnevsky, S. L. Taylor, I. V. Shahnovich. — M. : Technosphere, 2009. — 472 p.

3. Yermolaev V. T. Increasing the capacity of MIMO-radio system with parallel data transmission on its own sub-channels / V. T. Yermolaev, A. G. Flaxman, D. N. Lysyakov // Herald UNN them. N. I. Lobachevsky, 2010, № 3 (1). — P. 79–86.

4. Kolyadenko J. J. The research capacity of the system MIMO / J. J. Kolyadenko, A. D. Muslim // Electronic scientific specialized edition — the journal “Problems of telecommunications”, № 1 (1). — 2010. — P. 76–82.

5. Odarchenko R. S. Estimation of probability of bit error and bandwidth antenna MIMO systems / R. S. Odarchenko // Problems of creating, testing, use and maintenance of complex information systems: a collection of papers. — Exactly: ZHVVI NAU, 2012. — Special Issue number 2. — P. 57–67.

6. Konahovich G. F. Method of determining the radius of the coverage area of the access point IEEE standard 802.11g / G. F. Konahovich, M. G. Lutskyi, R. S. Odarchenko // Zascita information. — 2010. — Vol. 17. — P. 269–277.

7. Algorithm of definition of zones of service of access points of standard IEEE 802.11 / G. F. Konahovich, O. P. Velichko, R. S. Odarchenko, Y. O. Petrov // The fourth world congress “Aviation in the XXI century”. — P. 21.72–21.76.

8. Odarchenko R. S. Use of C++ Builder to develop educational programs / R. S. Odarchenko, I. V. Slipuhina, O. O. Polihenko // Software Engineering. — 2011. — Issue. 1 (5). — P. 54–59.

Стаття надійшла до редакції 22.10.2013