

УДК 621.396 (045)

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МІМО-СИСТЕМИ

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

Національний авіаційний університет
odarchenko.r.s@mail.ru

Запропоновано розробку методики оцінювання ефективної швидкості передавання в каналах антенних МІМО-систем, залежно від типу рельєфу місцевості, кількості та характеру перешкод, висот підвищення приймальної та передавальної антен, частоти радіосигналу, ширини використовуваної смуги частот, конфігурації антенної МІМО-системи тощо. На базі наведеної методики для розрахунку пропускної здатності каналів антенних МІМО-систем у роботі було запропоноване спеціалізоване програмне забезпечення, написане мовою C++, за допомогою якого можна встановити пропускну здатність залежно від усіх параметрів, розглянутих у методі оцінювання пропускної здатності антенних МІМО-систем із можливим використанням різних діапазонів частот та моделей розповсюдження радіохвиль для прогнозування величини втрат потужності радіосигналу.

Ключові слова: МІМО-системи, програмне забезпечення, пропускна здатність, загасання радіосигналу, канална матриця, модель розповсюдження радіохвиль.

The work is devoted to developing an effective methodology for assessing the rate of transmission channels in a MIMO antenna system, depending on the type of terrain, the number and nature of obstacles heights, hanging receiving and transmitting antennas, radio frequency, the width of the used frequency band, MIMO antenna system configuration and more. On the basis of the proposed methodology for calculating MIMO antenna systems bandwidth the specialized software written in C++ have been proposed, which allows you to set the bandwidth according to all the parameters considered in the method of evaluation capacity MIMO antenna systems with possible using of different frequency bands and different models for the prediction of radio propagation signal strength loss value.

Keywords: MIMO-systems, software, bandwidth capable, attenuation of signal, channel matrix, model propagation.

Вступ

Для боротьби з явищем міжсимвольної інтерференції та підвищення пропускної здатності в сучасних бездротових системах використовується велика кількість методів [1]. У цій роботі

основна увага буде приділена використанню технології МІМО (Multiple Input Multiple Output).

Використання МІМО-систем передбачено стандартами мереж WiMAX, LTE, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac [2–4] та багатьма іншими.

МІМО-система має вигляд, показаний на рис. 1.

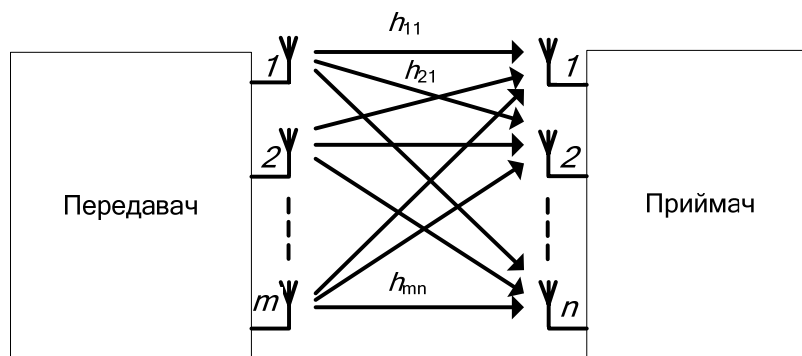


Рис. 1. Загальний вигляд антенної МІМО-системи

Такий метод передачі передбачає наявність у передавача декількох передавальних та у приймача декількох приймальних антен.

Залежно від кількості передавальних M та приймальних N антен змінюється конфігурація системи ($M \times N$).

Розглянемо принцип передачі інформації в МІМО-системах в умовах випадкового багатопроменевого каналу зв'язку [5]. На приймальному кінці проводиться оцінювання каналної матриці H коефіцієнтів передачі між передавальними і приймальними антенами, і потім ця ін-

формація надходить на передавальний кінець лінії зв'язку. Знання матриці H дозволяє адаптивним способом створювати паралельні ортогональні просторові підканали для передачі і прийому інформації [6]. Ці підканали формуються на основі власних векторів матриці H і тому називаються *власними*. Пропускна здатність МІМО-системи теоретично може бути збільшена (при заданій смузі частот і випромінюваній потужності) пропорційно кількості використовуваних антен порівняно зі звичайною системою з однією передавальною і однією приймальною антенами [5; 6].

Аналіз досліджень і публікацій

Питання оцінки пропускної здатності МІМО-каналу розглянуто достатньо широко вітчизняними та закордонними авторами: Коляденко Ю. Ю., Муслим А. Д. [7–9], Єрмолаєв В. Т., Флакман А. Г., Лисяков Д. Н. [6; 10; 11], Лайос Ханзо, Йозеф Актман, Лі Вонг, Мінг Джиянг [12], Янг Су Чо, Джеквон Кім, Вон Йонг Янг, Чу Гу Кан [13] та ін. Проте в цих працях не приділено уваги визначенню пропускної здатності залежно від відстані між передавачем та приймачем, навколишніх умов (наприклад, температури повітря, вологості, наявності, кількості та характеру перешкод тощо). Це зумовило подальший напрямок досліджень, результати яких були викладені в працях [14; 15].

Постановка мети і завдання дослідження

У розглянутих роботах не приділялося уваги розробці програмного забезпечення для оцінки ефективної пропускної здатності каналів антенних МІМО-систем. Тому необхідно запропонувати методику оцінювання пропускної здатності та на її базі розробити спеціальне програмне забезпечення.

Виклад основного матеріалу дослідження

У працях [14; 15] було обґрунтовано математичні моделі, які можуть бути використані для оцінювання пропускної здатності МІМО-систем.

$$R_i = \frac{P_{\text{прд}} \left[32,4 + 20 \cdot \lg \left(\frac{d}{1000} \right) + 20 \cdot \lg(f) + L_c + \sum_{i=1}^n \frac{h_i \cdot k_i}{\cos(\alpha_i)} + k_f \frac{k_f + 2 - b \cdot (k_f + 1)}{k_f^{k_f + 1}} \cdot L_f \right] + 30}{10} \cdot \frac{1}{P_c / \text{шл} \cdot k \cdot T} q. \quad (2)$$

Загальна пропускна здатність каналу антенної системи МІМО дорівнює сумі пропускних здатностей власних підканалів:

$$R_{\text{max}} = \sum_{i=1}^k R_i, \quad (3)$$

де k — кількість каналів антенної МІМО-системи.

На їх базі можна розробити методику оцінки пропускної здатності мереж стандарту IEEE 802.11n.

Розглянемо частковий випадок для одноканальної SISO-системи та для сценарію розповсюдження радіохвиль тільки всередині приміщення. Для подальших досліджень використовується модель Хата для внутрішньо-внутрішнього сценарію розповсюдження електромагнітного випромінювання (коли приймач та передавач розташовані в межах багатоповерхової будівлі).

Аналітичний вираз для моделі Хата для внутрішньо-внутрішнього сценарію розповсюдження радіосигналу в загальному випадку має такий вигляд [16]:

$$L = L_{fc} + L_c + \sum_{i=1}^n (h_i L_{oi}) + k_f \frac{k_f + 2 - b \cdot (k_f + 1)}{k_f^{k_f + 1}} L_f, \quad (1)$$

де L_{fc} — втрати розповсюдження у вільному просторі; L_c — постійні втрати (визначаються експериментальним шляхом); k_f — кількість подоланих поверхів на шляху розповсюдження; h_i — кількість подоланих стін на шляху розповсюдження; L_{oi} — втрати у стіні типу i (де i — тип будівельного матеріалу перешкоди); L_f — втрати між суміжними поверхнями; b — емпіричний параметр ($b = 0,46$); n — кількість перешкод на шляху розповсюдження радіосигналу.

Беручи до уваги результати, викладені в праці [15], внутрішньо-внутрішній сценарій розповсюдження радіохвиль (тобто будуть відсутні загасання, викликані кліматичними умовами), відсутність підсилення на приймальній та передавальній антенах, а також, використовуючи як модель для розрахунку втрат радіосигналу в приміщенні модель Хата, дістанемо таке.

З виразу, запропонованого в праці [16], шляхом елементарних алгебричних перетворень отримуємо:

У виразах (2) та (3) використовувалися такі позначення: $P_{\text{прд}i}$ — потужність передавача точки доступу, яка надходить в i -й власний підканал МІМО-системи; $L_c = 35-37$ дБм — постійні втрати; f — номінальна частота робочого діапазону для конкретної системи; $P_{\text{с/ш}i}$ — необхідне відношення сигнал-шум на вході приймача в i -му власному підканалі МІМО-системи; $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/к — стала Больцмана; n — кількість перешкод на шляху розповсюдження радіосигналу; h_i — товщина i -ї перешкоди; k_i — коефіцієнт загасання i -ї перешкоди; α_i — кут між променем падіння радіохвилі до i -ї перешкоди і нормаллю, проведеною до даної перешкоди; k_f — кількість подоланих радіохвилею суміжних поверхонь; L_f — втрати на подолання суміжних поверхонь для заданого частотного діапазону; T — абсолютна температура в Кельвінах (середня

температура в приміщеннях за нормальних умов $T = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$); d — максимально можлива дальність передавання даних у конкретному випадку.

Відношення сигнал-шум вибирається із виразів (графіків), що отримані для ймовірностей помилок залежно від типу модуляції та кодування інформації [15].

Максимально допустима ймовірність помилок зазвичай відображена в документації для конкретного обладнання бездротової технології передавання даних.

На основі отриманих результатів, викладених вище, розроблено алгоритм визначення швидкості передавання даних по каналах антенних МІМО-систем.

Для заданого алгоритму відношення сигнал/шум обчислюється з урахуванням задіяного виду модуляції [16].

Вхідними даними для оцінювання пропускної здатності антенних МІМО-систем будуть величини, наведені в таблиці.

Вхідні дані для оцінювання пропускної здатності каналів МІМО-систем

№ з/п	Параметр	Опис параметра
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 характеризується 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 максимальної 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, здатний 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. 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.

Звернемо увагу, що даний алгоритм запропонований лише для моделі Хата, проте можливим є використання різних моделей розповсюдження радіохвиль для визначення величини втрат потужності радіосигналу на трасі розповсюдження [17]. Тепер на базі розробленої методики запропонуємо програмний продукт для

оцінювання пропускної здатності МІМО-системи.

На рис. 2 зображена структурна схема додатка, з якої видно, що з основного вікна є доступ до двох інших, а саме до вікна інформації про програму і до вікна, в якому зображена залежність загасання, необхідна для розрахунку пропускної здатності антенної решітки за моделлю розповсюдження Окамури.

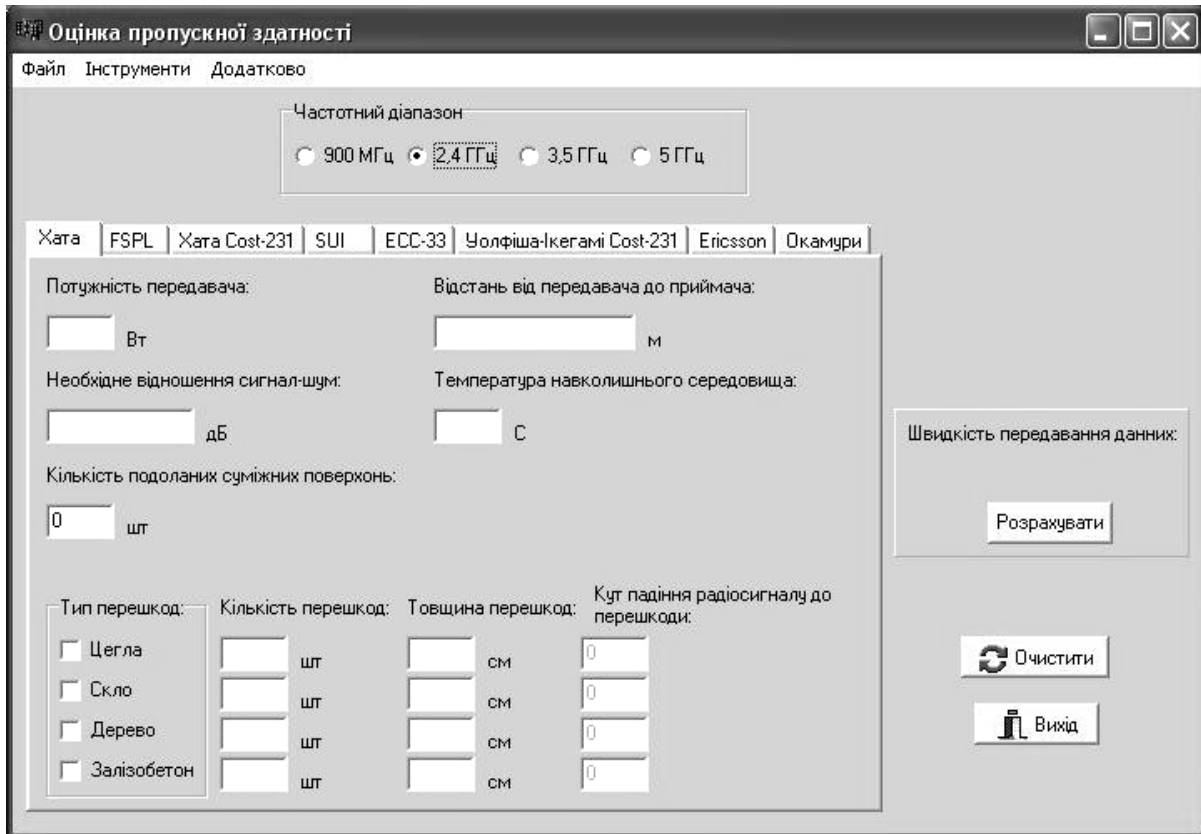


Рис. 2. Головне вікно програми

Результатом роботи програми є розрахунок пропускної здатності антенної решітки за заданими параметрами, які вводяться користувачем.

Програма розпочинає роботу з основного вікна (рис. 2). В основному вікні необхідно обрати частоту, для якої буде проводитися розрахунок, після чого вибрати необхідну модель розповсюдження сигналу (це може бути одна з таких моделей: Хата, FSPL, Хата Cost-231, SUI, ECC-33, Уолфіша-Ікегамі Cost-231, Ericsson або Окамури). Залежно від обраної моделі розповсюдження сигналу необхідно також ввести параметри, за якими буде проводитись розрахунок. Хоч ці параметри і різняться залежно від моделі розповсюдження сигналу, але є серед них і такі, що наявні в усіх моделях. Це такі параметри, як потужність передавача (задається у Вт), відношення сигнал-шум (задається у дБ), відстань від передавача до

приймача (задається у м) та температура навколишнього середовища (задається у градусах Цельсія).

Вибрати модель розповсюдження радіосигналу можна натиснувши на вкладку з відповідною назвою або за допомогою меню «Файл»→«Моделі» та вибрати необхідну модель.

У головному меню налічується три пункти: «Файл», «Інструменти», «Додатково». В меню «Файл», крім переліку моделей розповсюдження сигналу, є пункт, який слугує для закриття програми. В меню «Інструменти» два пункти — «Заповнити» та «Очистити». Пункт «Заповнити» слугує для автоматичного заповнення всіх полів у програмі, а кнопка «Очистити» для повернення програми в початковий стан.

Меню «Додатково» містить у собі пункт «Інформація», в якому є коротка інформація про програму й автора.

Якщо вибрати як модель розповсюдження сигналу модель Окамури, то отримаємо можливість подивитися на ще одне вікно, за допомогою якого необхідно заповнити графу «Відносне загасання у просторі». Дивлячись на це вікно, треба вибрати необхідне значення для умов, на які буде робитися розрахунок.

Також у програмі є дві окремо розташовані кнопки «Очистити» і «Вихід». Вони виконують ті самі функції, що і однойменні пункти меню.

Останнім елементом є область відображення результату та кнопка, після натискання якої відбувається обчислення.

Після розробки програмного забезпечення були проведені також експериментальні дослідження пропускну здатності MIMO-системи в стандарті IEEE 802.11n. Проаналізувавши отримані дані, можна зробити такі висновки.

На значних відстанях між передавачем та приймачем радіосигналу виміряна та розрахована за допомогою запропонованого в даній роботі програмного забезпечення швидкості передачі даних по мережі майже збігаються за своїм значенням. Тому запропоноване програмне забезпечення можна використовувати для планування мереж стандарту IEEE 802.11n, а також на попередньому етапі планування стільникових мереж, коли не висуваються вимоги до високої точності проведених оцінок.

Висновки

Таким чином, за допомогою розробленої методики можна провести оцінювання ефективності швидкості передавання в каналах антенних MIMO-систем, залежно від типу рельєфу місцевості, кількості та характеру перешкод, висот підвищення приймальної та передавальної антен, частоти радіосигналу, ширини використовуваної смуги частот, конфігурації антенної системи MIMO тощо.

На базі запропонованої методики для розрахунку пропускну 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 оцінювання пропускну здатності антенних MIMO-систем із можливим використанням різних діапазонів частот та різних моделей розповсюдження радіохвиль для прогнозування величини втрат потужності радіосигналу.

Отримані результати доцільно використовувати під час планування бездротових мереж стандарту IEEE 802.11n, розробки обладнання та програмного забезпечення для систем передачі даних, а також у навчальному процесі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Одарченко Р. С. Підвищення ефективності методів боротьби із міжсимвольною інтерференцією у бездротових каналах мереж WiMAX та LTE / Р. С. Одарченко // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2012) : X ювілейна міжнародна науково-практична конференція, Дніпропетровськ, 21–23 листопада 2012 р. : матеріали. — Д. : Вид-во Дніпропетровського університету, 2012. — С. 219–221.

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

3. Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. — М. : Эко-Трендз, 2010. — 284 с.

4. Watson R. Understanding the IEEE 802.11ac Wi-Fi standart: how to prepare the enterprise WLAN, Meru Networks / Rich Watson. — Whitepaper, 2012. — 10 p.

5. MIMO wireless communications / Ezio Biglieri, Robert Caderbank, Anthony Constantinidis, Andrea Goldsmith, Arogyaswami Paulraj, H. Vinsent Poor. — Cambridge university press, 2007. — 343 p.

6. Ермолаев В. Т. Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах беспроводной связи : учеб.-метод. материал по программе повышения квалификации «Современные системы мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации» / В. Т. Ермолаев, А. Г. Флакман. — Н. Новгород, 2006. — 99 с.

7. Коляденко Ю. Ю. Анализ эффективности использования MIMO-технологии в WIMAX системах в условиях помех / Ю. Ю. Коляденко, А. Д. Муслим // Радиотехника : Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. — 2009. — Вып. 159. — С. 110–116.

8. Коляденко Ю. Ю. Исследование пропускной способности MIMO-системы. / Ю. Ю. Коляденко, А. Д. Муслим // Проблемы телекоммуникаций. — 2010. — № 1 (1). — С. 76–82. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа до журн.:

9. Коляденко Ю. Ю. Метод оценки матрицы канала систем беспроводного радиодоступа WIMAX / Ю. Ю. Коляденко, А. В. Коляденко, А. Д. Муслим // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. — 2010. — Вып. 163. — С. 108–111.

10. Вероятность битовой ошибки в MIMO-системах с двумя собственными подканалами / В. Т. Ермолаев, А. Г. Флакман, А. М. Зуев, Д. Н. Лысяков // Вестник ННГУ им. Н. И. Лобачевского. — 2009. — № 2. — С. 55–61.

11. Ермолаев В. Т. Функция распределения максимального собственного числа выборочной корреляционной матрицы собственного шума элементов антенной решетки / В. Т. Ермолаев, К. В. Родюшкин // Известия вузов. Радиофизика. — 1999. — Т. 42. — № 5. — С. 494.

12. Hanzo L. MIMO-OFDM for LTE, Wi-Fi, WiMAX: coherent versus non-coherent and cooperative turbo-transceivers / Lajos Hanzo, Yosef Akhtman, Li Wang, Ming Jiang. — Wiley, University of Southampton, UK, 2011. — 694 p.

13. MIMO-OFDM wireless communications with Matlab / Young Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung-Gu Kang. — Wiley, 2010. — 457 p.

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

15. Одарченко Р.С. Використання моделі Хата для оцінки швидкості передавання даних по каналах антенних систем МІМО всередині приміщень // Системи озброєння і військова техніка № 2 (34). — Харків, ХУПС, 2013. — С. 132–138

16. Одарченко Р. С. Методика визначення радіуса зони обслуговування точки доступу стандарту IEEE 802.11g / Г. Ф. Коначович, М. Г. Луцький, Р. С. Одарченко // Сборник научных трудов НАУ «Защита информации». — К.: НАУ, 2010. — Выпуск № 17. — С. 269–277.

17. Одарченко Р. С. Рекомендації по використанню емпіричних моделей розповсюдження радіосигналу для прогнозування втрат у мережах четвертого покоління // Сучасні проблеми авіакосмічних технологій та систем: тези доповідей науково-практичного семінару; м. Житомир, 17–21 червня 2013 р., Національний авіаційний університет / редкол.: В. П. Харченко та ін. — К.: НАУ, 2013. — С. 18.

REFERENCES

1. Odarchenko R. S. Improving the effectiveness of methods to combat intersymbol interference in wireless channels, networks and WiMAX LTE / R. S. Odarchenko // Mathematical and software of intelligent systems (MPZIS-2012) : X Anniversary International Scientific Conference, Dnipropetrovsk, 21–23 November 2012. — D. : Dniprop. University Prospect, 2012. — P. 219–221.

2. Vyshnevskyy V. M. Encyclopedia WiMAX: Put k 4G / V. M. Vyshnevskyy, L. S. Portnoy, I. V. Shakhnovich. — Moscow : Technosphere, 2009. — 472 p.

3. Tikhvinsky V. A. Sets mobylnoy connection LTE: Technology and Architecture / V. A. Tikhvinsky, S. V. Terentev, A. B. Yurchuk. — M. : Eco-Trendz, 2010. — 284 p.

4. Watson R. Understanding the IEEE 802.11ac Wi-Fi standart: how to prepare the enterprise WLAN, Meru Networks / Rich Watson. — Whitepaper, 2012. — 10 p.

5. MIMO wireless communications / Ezio Biglieri, Robert Caderbank, Anthony Constantinidis, Andrea

Goldsmith, Arogyaswami Paulraj, H. Vinsent Poor. — Cambridge university press, 2007. — 343 p.

6. Ermolaev V. T. Adaptivnaya prostranstvennaya processing signals in systems Wireless communication: uchebn. method. “Modern Digital communication systems mobylnoy, Problems of protection of information and pomehozaschyschennosty” / V. Ermolaev, A. Flaxman. — Nizhny Novgorod, 2006. — 99 p.

7. Kolyadenko Y. Analysis Using MIMO-effectiveness of WIMAX technology systems in terms pomeh / Y. Y. Kolyadenko, A. D. Muslim // Radyotekhnika : All-Ukrainian. mezhved. nauchn. — Sc. Sun. — 2009. — Vol. 159. — P. 110–116.

8. Kolyadenko Y. Study bandwidth abilities MIMO systems / Yu. Yu. Kolyadenko, A. D. Muslim // Problems of telecommunications. — 2010. — № 1 (1). — P. 76–82. — [Electronic resource].

9. Kolyadenko Y. Method estimates channel of Wireless radyodostupa WIMAX / Y. Y. Kolyadenko, A. V. Kolyadenko, A. D. Muslim // Radyotekhnika : All-Ukrainian. mezhved. nauchn. — Sc. Sun. — 2010. — Vol. 163. — P. 108–111.

10. Probability bytovoy bug in MIMO-systems with dvumya sobstvennymy subchannel / V. T. Ermolaev, A. Flaxman, A. M. Zuyev, D. N. Lysyakov // Journal NNHU im. N. I. Lobachevskoho. — 2009. — № 2. — P. 55–61 .

11. Ermolaev V. T. Function raspredelenya maximum number vborochnoy korellyatsyonnoy Actually noise elements antennoy lattices / V. T. Ermolaev, K. V. Rodyushkyn // Proceedings of universities. Radyofyzyka. — 1999. — T. 42. — № 5. — S. 494.

12. Hanzo L. MIMO-OFDM for LTE, Wi-Fi, WiMAX: coherent versus non-coherent and cooperative turbo-transceivers / Lajos Hanzo, Yosef Akhtman, Li Wang, Ming Jiang. — Wiley, University of Southampton, UK, 2011. — 694 p.

13. MIMO-OFDM wireless communications with Matlab / Young Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung-Gu Kang. — Wiley, 2010. — 457 p.

14. Odarchenko R. S. Evaluation of bit error probability and bandwidth antenna MIMO systems / R. S. Odarchenko // Problems of creating, testing, use and maintenance of complex information systems : a collection of papers. — Exactly : ZHVI NAU, 2012. — Special Issue № 2. — P. 57–67.

15. Odarchenko R. S. Hata Model Use for assessing data rates through the channels of the MIMO antenna indoor / systems / arms and military equipment № 2 (34). — Kharkov, HUPS, 2013. — P. 132–138.

16. Odarchenko R. S. Method of determining the service area access point standard IEEE 802.11g / G. F. Konahovich, M. G. Lutskiy, R. S. Odarchenko // Collected nauchnyh labor NAU “Zascita of information”. — K. : NAU, 2010. — Issue number 17. — P. 269–277.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2013