

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ У ПРОСТОРІ ПРИМІЩЕНЬ ДЛЯ БЕЗПРОВІДНИХ КАНАЛІВ СТАНДАРТУ 802.11

¹Вінницький національний технічний університет

Головною структурною одиницею мереж стандарту 802.11, є безпроводний канал. На його характеристики впливає велика кількість дестабілізуючих факторів. Надійнішим способом оцінювання таких факторів є експериментальні дослідження та створення на їх базі емпіричних моделей. Застосування таких моделей дає можливість прогнозувати ефективність каналів на етапах проектування та в процесі підключення до мереж для стаціонарних і мобільних абонентів.

В роботі запропоновано нові емпіричні моделі оцінювання ефективної швидкості передачі інформації на основі вимірювання параметра потужності сигналу на вході приймача для будь-яких безпроводних каналів стандарту 802.11. Особливістю моделей є використання просторового розподілу сигналу для різних типів приміщень з геометричними розмірами до 40×20 м. При цьому враховуються найпоширеніші випадки побудови безпроводних мереж: кутове та центральне розміщення точки доступу. Отримані моделі враховують флуктуації сигналу та максимально-можливу кількість дестабілізуючих факторів.

Дослідження отриманих моделей показали відповідність максимумів та мінімумів флуктуацій просторового розподілу потужності сигналу до флуктуацій ефективної швидкості передачі інформації. Встановлено, що для частотного діапазону 5 ГГц спостерігається більший спад характеристики ефективної швидкості передачі інформації в залежності від відстані, а також її більше значення відносно діапазону 2,4 ГГц. Це підтверджує досить високе завантаження діапазону 2,4 ГГц інтерференційними та шумовими завадами. Наявність дестабілізуючих факторів у каналі та залежність рівня сигналу від положення абонентського пристрою у просторі відносно точки доступу, враховується за допомогою вимірюваного значення потужності сигналу на вході приймача.

Достовірність оцінки просторових моделей залежить від коефіцієнтів лінійної регресії та коефіцієнтів загасання сигналу, які визначаються експериментально. Це можна віднести до недоліків моделей, що передбачає виникнення похибки оцінки зі зміною геометрії та кількості об'єктів в приміщенні. Мінімізувати такий недолік можливо створенням бази даних досліджень різних дестабілізуювальних факторів з введенням коригувальних коефіцієнтів.

Ключові слова: безпроводний канал, стандарт 802.11, ефективна швидкість передачі інформації, потужність сигналу, просторова модель.

Вступ

На сучасному етапі розвитку, доволі широкого поширення набули безпроводні мережі сімейства стандартів 802.11x [1]. Такі мережі є економічно вигідними та простими у побудові та обслуговуванні і мають досить високу пропускну здатність каналів. Спектр їх використання є доволі широким: від об'єднання пристроїв концепції «Інтернет речей» до надання доступу до теле- та інформаційних послуг [2].

Головною структурною одиницею мереж стандарту 802.11, є безпроводний канал, характеристики якого мають найбільший вплив на параметри та ефективність мережі. Сам безпроводний канал можна представити як математичні моделі коефіцієнтів ефективності, що залежить від трьох основних параметрів: пропускну здатність каналу, ефективна швидкість передачі інформації, рівень сигналу [3]. На ці параметри впливає значна кількість факторів, які можуть мати як постійний, так і випадковий характер, що значно погіршує показники ефективності безпроводних каналів [4].

Найдостовірнішим способом оцінювання таких факторів є експериментальні дослідження та створення на їх базі емпіричних моделей. Застосування таких моделей дає можливість прогнозувати ефективність каналів як для стаціонарних, так і для мобільних абонентів на етапах проектування та в разі підключення до мереж.

Метою роботи є створення та дослідження просторових моделей оцінювання ефективної швидкості передачі інформації у каналах стандарту 802.11 для приміщень, що враховують максимальну-можливу кількість дестабілізуючих факторів.

Розроблення математичних моделей оцінювання ефективної швидкості передачі інформації

Виконуючи аналіз результатів досліджень у роботах [5]—[6] та застосовуючи до них методи регресії, можна отримати наближену модель оцінювання ефективної швидкості передачі інформації, використовуючи основний енергетичний параметр безпровідного каналу стандарту 802.11. Модель можна записати так:

$$V_{ef}(P_{RX}) \approx KP_{RX} + S_0, \quad (1)$$

де V_{ef} — ефективна швидкість передачі інформації, Мб/с; P_{RX} — потужність сигналу на вході приймача, дБм; K і S_0 — коефіцієнти лінійної регресії, Мб/(с · дБм) та Мб/с, відповідно.

Якщо, розглядати побудову безпровідної мережі в приміщенні, то для оцінювання її ефективності покриття в приміщенні, необхідно враховувати всі точки площини. В свою чергу, будь-яке приміщення можна розглядати за координатами довжини l і ширини d . Враховуючи існування флуктуацій сигналу та їх збільшення біля стін, просторовий розподіл за кожною координатою буде близьким до квадратичної функції. Максимумом випромінювання біля антени точки доступу можна нехтувати. В такому випадку, замість параметра P_{RX} можна застосувати моделі його просторового оцінювання для довжини каналу до 40 м, для найпоширеніших випадків побудови безпровідних мереж [7]—[9].

Для початку розглянемо випадок кутового розміщення точки доступу. Враховуючи отриману модель просторового розподілу сигналу для діапазону 2,4 ГГц у роботі [7], оцінку ефективної швидкості передачі інформації можна записати так:

$$V_{ef} \approx K \left(\frac{1}{2} c(l^2 - 1) + \frac{1}{2} g(l - 1) + \frac{1}{2} a(3d^2/4 - dd_0/2 - d_0^2) + \frac{1}{2} b(d/2 - d_0) + P_m \pm \Delta P \right) + S_0, \quad (2)$$

де l і d — параметри довжини та ширини приміщення, м; c , g , a , b — коефіцієнти загасання сигналу по відповідній координаті, дБм/м; d_0 — відстань від центра приміщення до точки доступу по параметру d , м; P_m — вимірювальне значення потужності сигналу, дБм.

Розподіл сигналу для діапазону 5 ГГц досліджено у роботі [9]. Модель оцінки ефективної швидкості передачі інформації набуде вигляду

$$V_{ef} \approx K \left(\frac{5}{8}(cl^2 + ad^2) + \frac{1}{4}(gl + bd) - c(l + 2) - g + P_m \pm \Delta P \right) + S_0. \quad (3)$$

Другий випадок передбачає розміщення точки доступу по центру приміщення. Тоді, для діапазону 2,4 ГГц застосуємо модель просторового розподілу сигналу, запропоновану в роботі [8]. Модель оцінки ефективної швидкості передачі інформації набуде вигляду

$$V_{ef} \approx K \left(\frac{3}{8}(cl^2 + ad^2) - c(l - 2) + g \left(\frac{1}{4}l - 1 \right) + \frac{1}{4}bd + P_m \pm \Delta P \right) + S_0. \quad (4)$$

Для діапазону 5 ГГц просторовий розподіл потужності сигналу має такий самий вигляд як і вираз (3), але з іншими коефіцієнтами загасання [9]. Згідно з результатами, отриманими у [7], вплив висоти розташування приймальних та передавальних антен буде також визначатись з урахуванням коефіцієнтів загасання, які наперед визначені в експериментальних дослідженнях.

Результати дослідження моделей

Виконаємо математичне моделювання для середньостатистичних значень коефіцієнтів загасання стандарту 802.11n (40 МГц). Для спрощення досліджень розглянемо один з найпоширеніших випадків розташування пристроїв у приміщенні на висоті у 1,5 м [7]. Якщо враховувати, що точка доступу знаходиться на початку координатної сітки, тоді для приміщення з розмірами (l, d) для кутового положення початок координат буде у точці $(0, d/2)$. Результати досліджень показано на рис. 1.

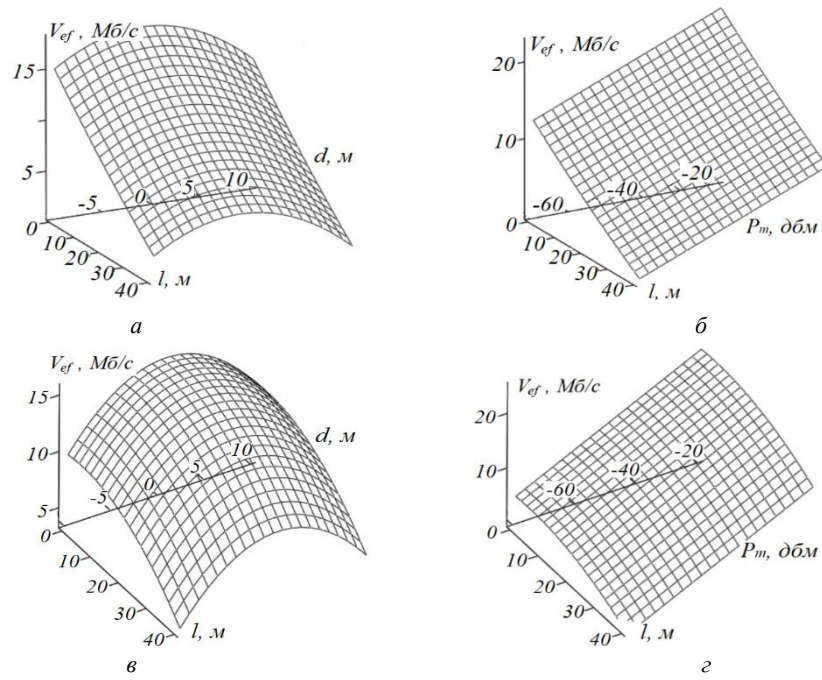


Рис. 1. Залежність ефективної швидкості передачі для кутового розташування точки доступу від:
 – в діапазоні 2,4 ГГц: а — розмір приміщення; б — від вимірюваного значення потужності сигналу;
 – в діапазоні 5 ГГц: в — розмір приміщення; г — від вимірювального значення потужності сигналу

Як випливає з графіків на рис. 1, просторовий розподіл ефективної швидкості передачі інформації є подібним до розподілу потужності сигналу у приміщенні. При цьому основним параметром для оцінювання є вимірюване значення потужності сигналу на вході приймача, яке залежить від наявності дестабілізуючих факторів у каналі та положення абонентського пристрою у просторі відносно точки доступу. Крім того, враховується загасання сигналу біля стін та кутів приміщення, що виникає через багатопроменеве поширення хвиль.

Як приклад, застосуємо середньостатистичні значення коефіцієнтів загасання для стандарту 802.11ac (20 МГц), та дослідимо запропоновані моделі, враховуючи, що для центрального розміщення початкова точка знаходиться за координатами $(l/2, d/2)$. Результати досліджень показано на рис. 2.

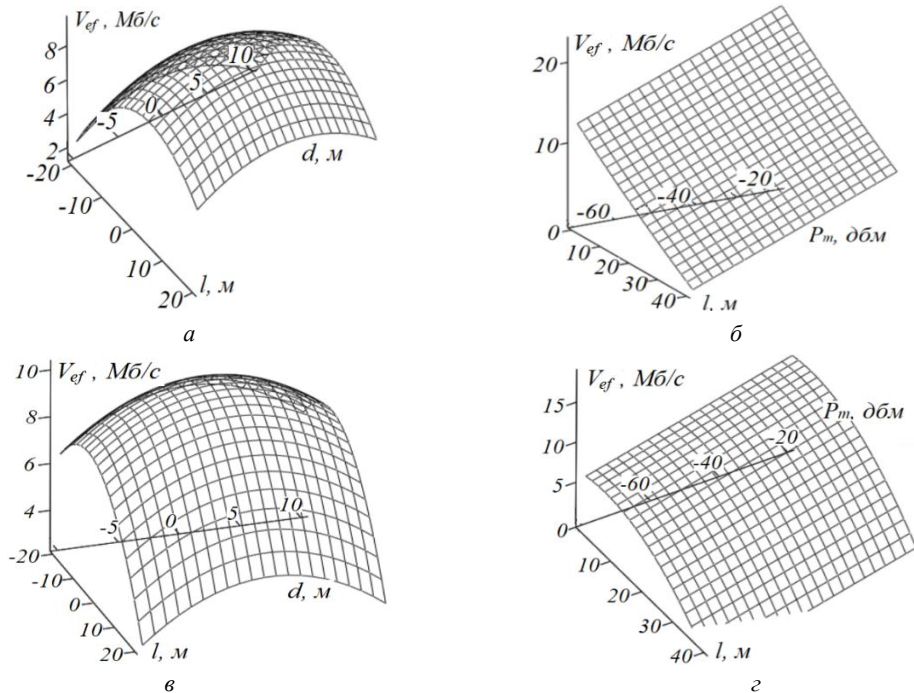


Рис. 2. Залежність ефективної швидкості передачі для центрального розташування точки доступу від:
 – в діапазоні 2,4 ГГц: а — розмір приміщення; б — від вимірюваного значення потужності сигналу;
 – в діапазоні 5 ГГц: в — розмір приміщення; г — від вимірюваного значення потужності сигналу

У разі центрального розміщення точки доступу спостерігається несиметричність просторового розподілу. Це пов'язано з нерівномірністю діаграмами спрямованості антенної системи, що досить часто спостерігається у пристроїв стандарту 802.11. Як впливає з графіків рис. 1 та рис. 2 в частотному діапазоні 5 ГГц спостерігається більший спад ефективної швидкості передачі інформації залежно від відстані, ніж в діапазоні 2,4 ГГц. Але в дослідженнях у разі прямої видимості цей параметр має більше значення за однакових умов та однакових смуг каналів. Це пояснюється досить високим завантаженням діапазону 2,4 ГГц інтерференційними та шумовими завадами.

Для приміщень, де існує велика кількість відбиваючих поверхонь, а особливо біля стін та кутів, виникають значні флуктуації сигналу. В такому випадку виникають максимуми та мінімуми просторового розподілу сигналу, до якого чутливішим є діапазон 5 ГГц. Подані результати математичних досліджень враховують саме наявність мінімумів за використання мобільних пристроїв. Розміщуючи стаціонарні пристрої стандарту 802.11, доцільно їх розташовувати у місцях максимумів просторового розподілу сигналу. Отримані моделі дозволяють оцінювати ефективну швидкість передачі інформації у зоні розташування максимумів просторового розподілу сигналу. Для цього візьмемо результати довірчих інтервалів коефіцієнтів загасання сигналу [7]. Тоді для згаданих вище безпроводних каналів, просторова оцінка ефективної швидкості передачі інформації, набуде вигляду як на рис. 3.

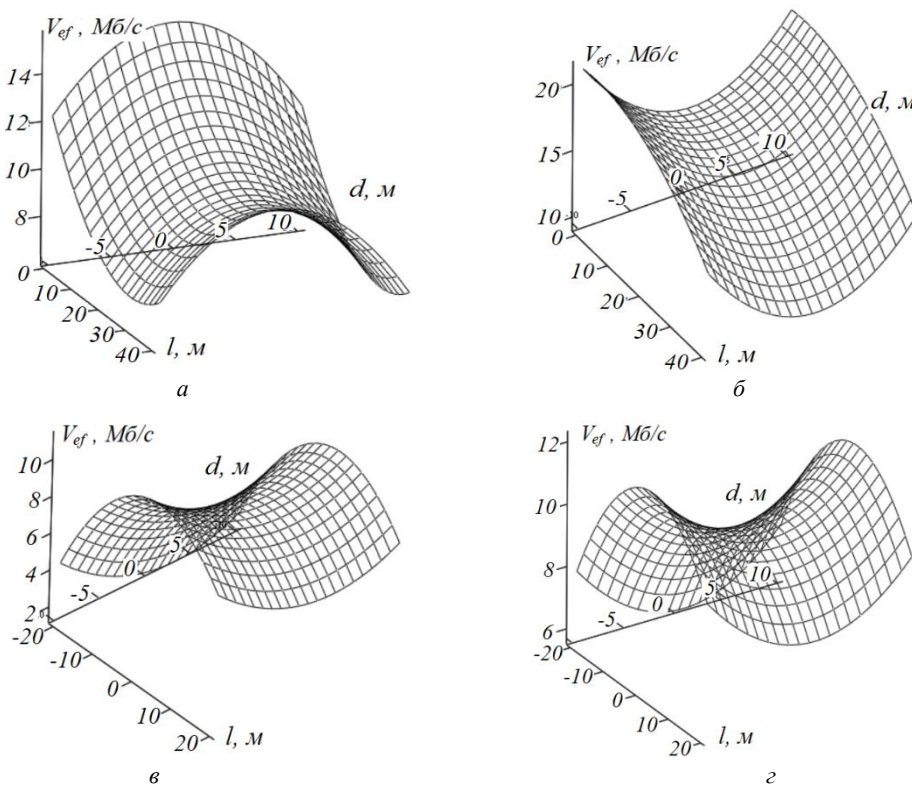


Рис. 3. Залежність ефективної швидкості передачі сигналу для максимумів розподілу для: а — кутового розташування точки доступу (діапазон 2,4 ГГц); б — кутового розташування точки доступу (діапазон 5 ГГц); в — центрального розташування точки доступу (діапазон 2,4 ГГц); г — центрального розташування точки доступу (діапазон 5 ГГц)

Таким чином, з урахуванням максимумів та мінімумів просторового розподілу потужності сигналу можна отримати відповідні флуктуації ефективної швидкості передачі інформації, які виникають за наявності значної кількості дестабілізуючих факторів. Достовірність такої оцінки залежить від коефіцієнтів лінійної регресії та коефіцієнтів загасання сигналу, які визначаються експериментально. Це можна віднести до недоліків моделей, що передбачає виникнення похибки оцінки зі зміною геометрії та кількістю об'єктів в приміщенні. Мінімізувати такий недолік можна створенням бази даних досліджень різних дестабілізуючих факторів з введенням коригувальних коефіцієнтів, збільшення якої буде впливати на підвищення адекватності отриманих моделей.

Висновки

В роботі запропоновано нові моделі оцінки ефективної швидкості передачі інформації на базі вимірювання параметра потужності сигналу на вході приймача для безпроводних каналів стандар-

ту 802.11. Отримані моделі враховують максимально-можливу кількість дестабілізуючих факторів та флуктуації сигналу. Результати досліджень отриманих моделей показали, що математична оцінка ефективної швидкості передачі інформації має похибку, пропорційну рівню та флуктуаціям сигналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] D. Liu, H. Wang, X. Peng, S. McCann, P. Fang, X. Duan, H. Deng, and L. Lu, "WLAN new technologies in IEEE 802.11," in *XXXIth URSI General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS)*, 2014. <https://doi.org/10.1109/URSIGASS.2014.6929347>.
- [2] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A survey on enabling technologies protocols and applications," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, 4th Quart. 2015. <https://doi.org/10.1109/TCMC.2015.7289234>.
- [3] K. Rathod, R. Vatti, and M. Nandre. "Optimization of Campus Wide WLAN," *International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering*, vol. 4, i. 5, pp. 1-6, 2017.
- [4] A. Sârbu, M. Sârbu, and C. Şumălan. "Non Wi-Fi Devices Interference Testing," in *a 2.4 GHz Wi-Fi Home. Land Forces Academy Review*, vol. 23, i. 2 (90), pp 143-150, 2018. <https://doi.org/10.2478/raft-2018-0017>.
- [5] D. V. Mykhalevskiy. "Investigation of wireless channels of 802.11 standard in the 5GHz frequency band," *Latvian journal of physics and technical sciences*, № 1, pp 41-51, 2019. <https://doi.org/10.2478/lpts-2019-0004>.
- [6] D. V. Mykhalevskiy, and O. S. Horodetska, "Investigation of wireless channels according to the standard 802.11 in the frequency range of 5 GHz for two subscribers," *Journal of Mechanical Engineering Research & Developments (JMERE)*, no. 42 (2), pp. 50-57, 2019. <https://doi.org/10.26480/jmerd.02.2019.50.57>.
- [7] D. Mykhalevskiy, "Development of a spartial method for the estimation of signal strength at the input of the 802.11 standard receiver," *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*, № 4/9 (88), pp. 29-36, 2017. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.106925>.
- [8] D. Mykhalevskiy, N. Vasyukivskiy, and O. Horodetska. "Development of a mathematical model for estimating signal strength at the input of the 802.11 standard receiver," *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*, № 4/9 (88), pp. 38-43, 2017. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114191>.
- [9] D. Mykhalevskiy, "Construction of mathematical models for the estimation of signal strength at the input to the 802.11 standard receiver in a 5 GHz band.," *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*, № 6/9 (96), pp. 16-21, 2018. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150983>.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.02.2020

Михалевський Дмитро Валерійович — канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, e-mail: adotq@ukr.net .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

D. V. Mykhalevskiy¹

Development of Mathematical Models for Assessing the Effective Speed of Information Transmission in Space Rooms for a Wireless Channel of 802.11 Standard

¹Vinnitsia National Technical University

The main structural unit of 802.11 standard networks is the wireless channel. Its characteristics are affected by a large number of destabilizing factors. The most reliable way to assess such factors is through experimental studies and the creation of empirical models based on them. The use of such models makes it possible to predict the efficiency of channels at the design stages and when connecting to networks for fixed and mobile subscribers.

The paper proposes new empirical models for assessing the effective data speed based on the measurement of the signal input parameter of the receiver input for any 802.11 standard wireless channels. The peculiarity of the models is the use of spatial distribution of the signal for different types of rooms with geometric dimensions up to 40×20 m. This takes into account the most common cases of construction of wireless networks: angular and central location of the access point. The models obtained take into account signal fluctuations and the maximum possible number of destabilizing factors.

The study of the obtained models showed the correspondence of the highs and lows of the fluctuations of the spatial distribution of the signal power to the fluctuations of the effective data speed. It is established that for the 5 GHz frequency band there is a greater decrease in the characteristics of the effective speed of information transmission from a distance, as well as its greater value relative to the 2,4 GHz band. This confirms the sufficiently high load of the 2,4 GHz band by interference and noise interference. The presence of destabilizing factors in the channel and the dependence of the signal level on the location of the subscriber device in space relative to the access point, is taken into account by measuring the signal power at the input of the receiver.

The reliability of the assessment of the spatial models depends on the linear regression coefficients and the signal attenuation coefficients, which are determined experimentally. This can be attributed to the disadvantages of the models,

assumes that the assessment error occurs when the geometry and the number of objects of the room change. It is possible to minimize this disadvantage by creating a database of studies of various destabilizing factors with the introduction of correction coefficients.

Keywords: wireless channel, 802.11 standard, effective data rate, signal strength, spatial model.

Mykhalevskiy Dmytro V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Telecommunication Systems and Television, e-mail: adotq@ukr.net

Д. В. Михалевский¹

Разработка математических моделей оценки эффективной скорости передачи информации в пространстве помещений для беспроводных каналов стандарта 802.11

¹Винницкий национальный технический университет

Главной структурной единицей сетей стандарта 802.11, является беспроводной канал. На его характеристики влияет большое количество дестабилизирующих факторов. Наиболее достоверным способом оценки таких факторов являются экспериментальные исследования и создание на их базе эмпирических моделей. Применение таких моделей дает возможность прогнозировать эффективность каналов на этапах проектирования и при подключении к сетям для стационарных и мобильных абонентов.

В работе предложены новые эмпирические модели оценки эффективной скорости передачи информации на базе измерения параметра мощности сигнала на входе приемника для любых беспроводных каналов стандарта 802.11. Особенностью моделей является использование пространственного распределения сигнала для различных типов помещений с геометрическими размерами до 40×20 м. При этом, учитываются наиболее распространенные случаи построения беспроводных сетей: угловое и центральное размещение точки доступа. Полученные модели учитывают флуктуации сигнала и максимально-возможное количество дестабилизирующих факторов.

Исследование полученных моделей показали соответствие максимумов и минимумов флуктуаций пространственного распределения мощности сигнала к флуктуациям эффективной скорости передачи информации. Установлено, что для частотного диапазона 5 ГГц наблюдается большее убывание характеристик эффективной скорости передачи информации в зависимости от расстояния, а также ее большее значение относительно диапазона 2,4 ГГц. Это подтверждает достаточно высокую загрузку диапазона 2,4 ГГц интерференционными и шумовыми помехами. Наличие дестабилизирующих факторов в канале и зависимость уровня сигнала от положения абонентского устройства в пространстве относительно точки доступа учитывается с помощью измеренного значения мощности сигнала на входе приемника.

Достоверность оценки пространственных моделей зависит от коэффициентов линейной регрессии и коэффициентов затухания сигнала, которые определяются экспериментально. Это можно отнести к недостаткам моделей, и предполагает возникновение погрешности оценки с изменением геометрии и количества объектов в помещении. Минимизировать такой недостаток возможно созданием базы данных исследований различных дестабилизирующих факторов с введением корректирующих коэффициентов.

Ключевые слова: беспроводной канал, стандарт 802.11, эффективная скорость передачи информации, мощность сигнала, пространственная модель.

Михалевский Дмитрий Валериевич — канд. техн. наук, доцент кафедры телекоммуникационных систем и телевидения, e-mail: adotq@ukr.net