

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.391.8

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.4/04>**Михалевський Д.В.**

Вінницький національний технічний університет

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ КАНАЛІВ СТАНДАРТУ 802.11 НА ОСНОВІ КВАДРАТИЧНОЇ ФУНКЦІЇ

Аналіз сучасного стану досліджень безпроводних мереж стандартів 802.11 показав, що наявні моделі та методи оцінки ефективності каналів мають низку недоліків. Найголовніші з них – проблема вибору кількості дестабілізуючих факторів та складність визначення початкових умов. У цій роботі ця проблема вирішується на основі використання результатів емпіричних досліджень безпроводних каналів сімейства стандартів 802.11х із мінімальним впливом інтерференційних і шумових завад та багатопроменевого поширення хвиль.

На основі проведених експериментальних досліджень було запропоновано модель оцінювання ефективної швидкості передачі інформації на базі квадратичної функції регресії основного енергетичного параметра як базової для побудови просторових моделей з урахуванням максимально можливої кількості дестабілізуючих факторів. Така модель дає можливість оцінювати ефективну швидкість передачі інформації для будь-якого каналу стандарту 802.11 довжиною до 40 м у приміщенні. Перевагою такої моделі є використання відносно простих та доступних операцій вимірювання енергетичного параметра, які виконуються апаратно-програмними засобами абонентського обладнання із використанням алгоритмів моніторингу. Рівень адекватності такої моделі залежить від достовірності параметрів статистичного зв'язку для основних параметрів каналу та достовірності вимірювання діагностичного параметра пристроєм, за допомогою якого виконується оцінювання ефективної швидкості передачі інформації.

Дослідження отриманої моделі показали її ефективність та особливості використання у разі врахування дестабілізуючих факторів. Рівень впливу дестабілізуючих факторів можна оцінити на основі інтервалів флуктуацій. З одного боку, для попередньої оцінки ефективності безпроводного каналу для передачі певних видів трафіку по всій довжині каналу можна застосовувати флуктуації сигналу. Це здебільшого дасть похибку оцінки, що не перевищить 3 Мб/с, або покаже меншу ефективність каналу ніж реальна. З іншого боку, для підвищення достовірності оцінки необхідно враховувати флуктуації ефективної швидкості передачі інформації. У такому разі необхідно мати наперед визначену базу даних можливих флуктуацій ефективної швидкості передачі інформації від впливу дестабілізуючих факторів.

Ключові слова: безпроводний канал, стандарт 802.11, ефективна швидкість передачі інформації, потужність сигналу, квадратична функція, статистичний зв'язок.

Постановка проблеми. Найбільш достовірним підходом до оцінювання параметрів безпроводних каналів є створення моделей та методів на базі емпіричних досліджень та статистичних зв'язків. Як відомо [1], безпроводне середовище, в якому працюють канали сімейства стандартів 802.11, характеризується досить великою кількістю різноманітних дестабілізуючих факторів, які мають вплив на основні показники ефективності. Враховуючи, що у технічній діагностиці безпроводних каналів стандарту 802.11 основними діагностичними параметрами є потужність

сигналу на вході приймача та ефективна швидкість передачі інформації, то наявні дослідження можна поділити на дві групи.

До першої групи досліджень можна віднести роботи з виявлення впливу дестабілізуючих факторів на основний енергетичний параметр [2–6], де встановлено наявність значних флуктуацій, залежність енергетичного параметра від конкретного виробника обладнання через різні частоти квантування та дискретизації, чутливості, положення у просторі та довжини каналу, особливості використання частотного діапазону. До другої

групи можна віднести дослідження факторів, що впливають на пропускну здатність каналу. Для прикладу, можна навести роботи [7–9], де розглянуто питання правильної роботи технології CSMA/CD та синхронізації MAC підрівня, вплив ширини смуги каналу та кількості абонентів у мережі.

Крім того, окремо можна виділити роботи, що пов'язані із моніторингом параметрів безпроводних мереж [10–11]. На основі досліджень встановлено, що використання апаратно-програмних можливостей мобільних пристроїв може бути альтернативою спектр оаналізаторам, коли немає необхідності отримати повну інформацію про спектр, а для отримання достатньої швидкості завантаження інформації необхідно забезпечити рівень сигналу 60 дБм.

Аналізуючи наявні результати досліджень, можна сказати, що проблема врахування різних типів дестабілізуючих факторів залишається відкритою. Крім того, для наявних моделей та методів є проблема вибору кількості дестабілізуючих факторів та складність визначення початкових умов. Таким чином, розробка ефективних моделей оцінювання основних параметрів каналу, які б були відносно простими у використанні та враховували недоліки наявних досліджень, є актуальною.

Постановка завдання. Для зменшення впливу дестабілізуючих факторів у операціях технічної діагностики на етапах проектування та експлуатації мереж необхідно встановити їх вплив на основні діагностичні параметри. Вплив таких факторів розглянемо з точки зору статистичного зв'язку, який можна отримати з емпіричних досліджень безпроводних каналів стандарту 802.11. Тоді достовірність діагностики та методів оцінювання параметрів каналів буде залежати від ступеня адекватності емпіричних моделей та моделей впливу дестабілізуючих факторів.

До основних діагностичних параметрів можна віднести потужність сигналу на вході приймача P_{RX} та ефективну швидкість передачі інформації V_{ef} , які є взаємопов'язаними і визначають критерій ефективності. Оскільки параметр P_{RX} досить просто вимірювати за допомогою алгоритмів моніторингу [1], а V_{ef} є основним для додатків прикладного рівня, то на основі статистичного зв'язку між ними можна отримати модель оцінювання ефективної швидкості передачі.

Метою статті є розробка моделі оцінювання ефективної швидкості передачі інформації на

базі квадратичної функції потужності сигналу як основної для побудови просторових моделей з урахуванням максимально можливої кількості дестабілізуючих факторів.

Виклад основного матеріалу досліджень. З огляду на дослідження у роботі [12] наближену модель оцінювання ефективної швидкості передачі інформації на базі статистичного зв'язку між основними параметрами каналу можна записати так:

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

де K і S_0 – коефіцієнти лінійної регресії статистичного зв'язку між параметрами P_{RX} та V_{ef} .

На основі аналізу робіт [13–15] можна дійти висновку, що затухання сигналу у каналах довжиною до 16 м у разі усереднення має лінійну модель. Але у приміщеннях є ефект багатопроменевого поширення хвиль, що є основною причиною виникнення міжсимвольної інтерференції. Цей ефект можна спостерігати під час емпіричних досліджень як флуктуації характеристик основних параметрів каналу. Близько 3–4 м біля стін приміщення такі флуктуації збільшуються, в результаті чого лінійна модель їх не враховує. Але якщо застосувати квадратичну регресійну функцію параметра P_{RX} та відповідні межі, то загальна модель цей ефект врахує.

Тоді потужність сигналу на вході приймача для каналів довжиною до 40 м параметр P_{RX} можна розрахувати так:

$$P_{RX}(l) \approx a_1 l^2 + a_2 l + P_0. \quad (2)$$

a_1 , a_2 – коефіцієнти затухання сигналу; P_0 – початковий рівень.

Коефіцієнти a_1 і a_2 визначаються експериментально із характеристик розподілу потужності сигналу за довжиною каналу, які можна записати так:

$$a_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{1,i} \pm \Delta a_1, \quad a_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{2,i} \pm \Delta a_2,$$

де n – кількість отриманих характеристик для досліджуваних стандартів; Δa_1 , Δa_2 – коефіцієнти, які визначають межі допустимого відхилення середньостатистичного значення, та рівень флуктуацій максимумів і мінімумів просторового розподілу потужності сигналу.

Для врахування статичних та випадкових дестабілізуючих факторів виразимо початковий рівень через вимірювальне значення потужності сигналу P_m [15]. Вимірювання здійснюється на основі усереднення результатів оцінки на каналному рівні приймального пристрою. Результат можна записати так:

$$P_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i,$$

де P_i – вимірювальне значення за одиницю часу; n – кількість вимірів для отримання необхідної достовірності оцінки.

Нехтуючи максимумом випромінювання та вимірюючи P_m на відстані 2 м від точки доступу, використовуючи вираз (2), можна розрахувати початкове значення потужності сигналу:

$$P_0 = P_m - 4a_1 - 2a_2. \quad (3)$$

Тоді, підставляючи (3) і (2) у (1), отримаємо:

$$V_{ef} \approx K(a_1(l^2 - 4) + a_2(l - 2) + P_m) + S_0. \quad (4)$$

Отримана модель дає можливість оцінювати ефективну швидкість передачі інформації для

будь-якого каналу стандарту 802.11 довжиною до 40 м у приміщенні в умовах прямої видимості із мінімальною кількістю відбиваючих поверхонь. Особливістю такої моделі є використання відносно простих та доступних операцій вимірювання енергетичного параметра, які виконуються апаратно-програмними засобами абонентського обладнання із використанням алгоритмів моніторингу. Рівень адекватності такої моделі залежить від двох складників: достовірності вимірювання експериментальних характеристик, на основі яких отримані коефіцієнти регресії K і S_0 , та достовірності вимірювання параметра P_m пристроєм, за допомогою якого виконується оцінювання ефективної швидкості передачі інформації.

Для перевірки отриманої моделі виконане математичне моделювання для каналів 802.11n

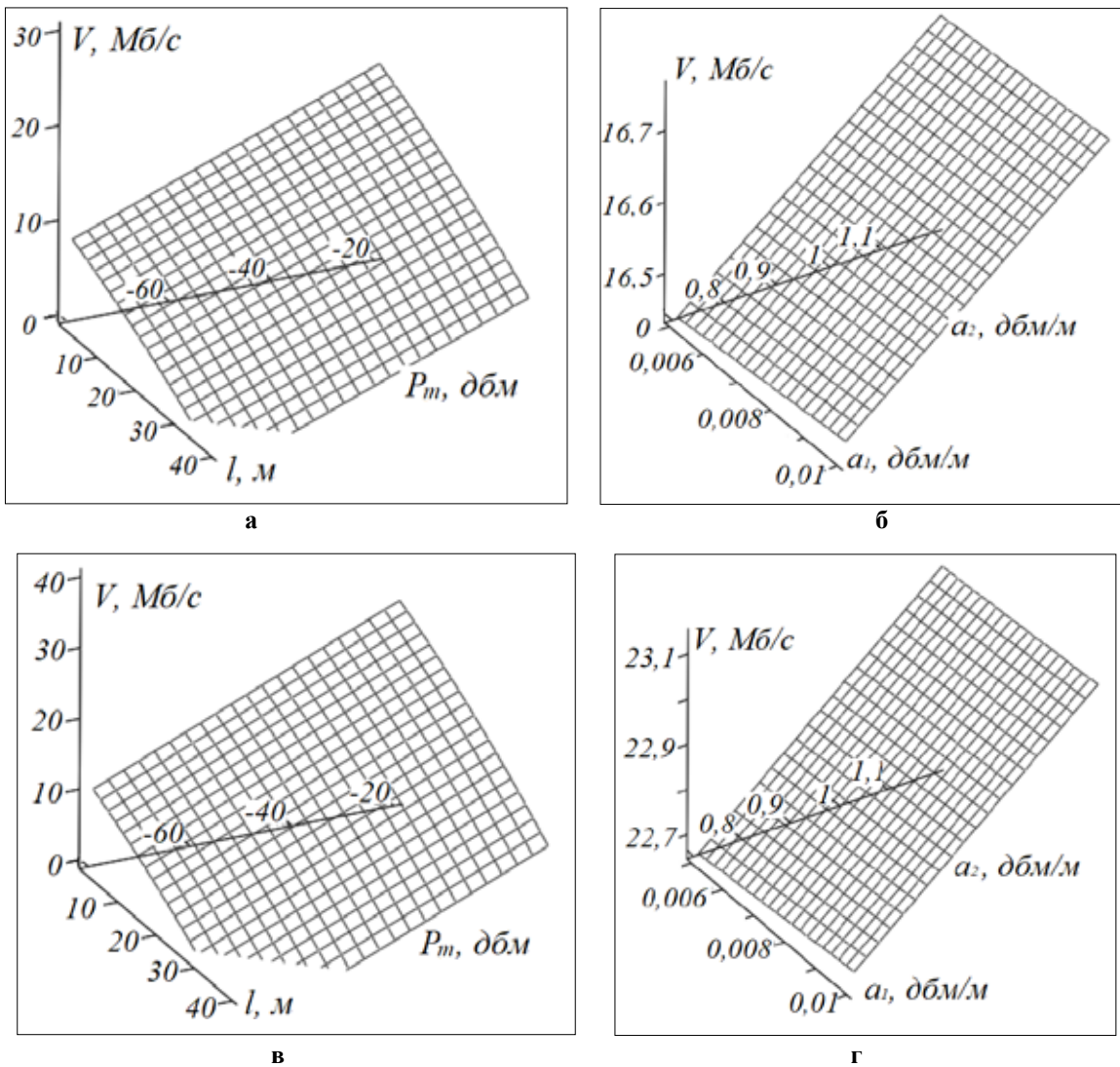


Рис. 1. Залежність ефективної швидкості передачі інформації від: а – вимірювального значення потужності сигналу для стандарту 802.11n; б – коефіцієнтів затухання сигналу для стандарту 802.11n; в – вимірювального значення потужності сигналу для стандарту 802.11ac; г – коефіцієнтів затухання сигналу для стандарту 802.11ac

діапазону 2,4 ГГц та 802.11ac зі смугою каналу 40 МГц. Результати наведено на рис. 1.

Як видно із графіків на рис. 1, використовуючи модель (4), можна прогнозувати ефективну швидкість передачі інформації для кожного абонента індивідуально, враховуючи наявні у поточний момент усі дестабілізуючі фактори, параметри обладнання та його розташування у просторі. Комплексний вплив дестабілізуючих факторів враховується на основі параметра P_m .

Рівень впливу дестабілізуючих факторів можна оцінити на основі інтервалів флуктуацій ΔV і ΔP [13–14]. Тоді на основі моделі (4) можна розглянути два випадки, які можна записати так:

$$V_{эф} \approx K(a_1(l^2 - 4) + a_2(l - 2) + P_m \pm \Delta P) + S_0.$$

$$V_{эф} \approx K(a_1(l^2 - 4) + a_2(l - 2) + P_m) + S_0 \pm \Delta V.$$

Для визначення оптимального варіанту було проведено математичне моделювання, результати якого наведені на рис. 2.

Отже, як видно з отриманих графіків, різниця кінцевого результату оцінювання у разі використання параметрів ΔV і ΔP може становити до 3 Мб/с та до 5 м для довжини каналу. З урахуванням результатів робіт [13–14] така похибка може збільшитись у 2–3 рази залежно від кількості об'єктів у приміщенні та наявності архітектурних перешкод, де флуктуації потужності можуть досягати до ± 15 дБм. Тому в такому разі виникає двояка ситуація. З одного боку, для попередньої оцінки придатності безпроводного каналу до передачі певних видів трафіку по всій довжині каналу можливо застосовувати флуктуації сигналу ΔP .

Це здебільшого дасть похибку оцінки, що не перевищить 3 Мб/с, або покаже меншу ефективність каналу ніж реальна. З іншого боку, для підвищення достовірності оцінки необхідно використовувати параметр ΔV , але при цьому необхідно мати наперед визначену базу даних можливих флуктуацій ефективної швидкості передачі інформації від впливу дестабілізуючих факторів.

З урахуванням статистичного аналізу для параметрів ΔV і ΔP можна отримати такі співвідношення між різновидами стандартів:

$$\Delta V_{ac80} \approx 1,6\Delta V_{ac40} \approx 2\Delta V_{ac20} \approx 2\Delta V_{n40}^5 \approx 6,7\Delta V_{n20}^5 \approx 2\Delta V_{n40}^{2,4} \approx \Delta V_{n40}^{2,4} \approx 13,4\Delta V_{n20}^{2,4} \approx 10\Delta V_g \approx 20\Delta V_a,$$

$$\Delta P_{ac80} \approx 1,5\Delta P_{n40}^{2,4} \approx 1,5\Delta P_{n40}^5 \approx 2\Delta P_a.$$

Отримані співвідношення показують більший рівень флуктуацій ефективної швидкості передачі інформації в діапазоні 2,4 ГГц стосовно діапазону 5 ГГц. Також флуктуації збільшуються у новіших стандартах та із розширенням смуги каналу. Для потужності сигналу рівень флуктуації є досить схожим для всіх стандартів, для прямої видимості найбільша різниця між стандартами 802.11a та 802.11ac, але це входить у межі флуктуацій ± 5 дБм, що має мінімальний вплив на ΔV .

Висновки. У роботі запропоновано модель для оцінювання ефективної швидкості передачі інформації на базі квадратичної функції потужності сигналу як основної для побудови просторових моделей з урахуванням максимально-можливої кількості дестабілізуючих факторів, що може використовуватись для операції тех-

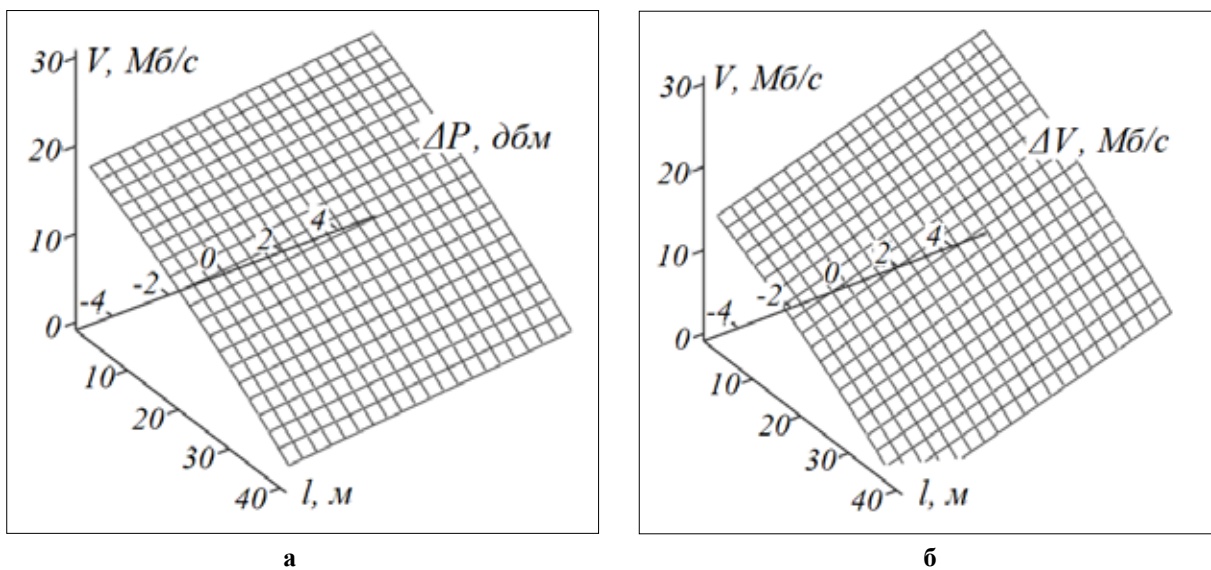


Рис. 2. Залежність ефективної швидкості передачі інформації від: а – флуктуацій сигналу; б – флуктуацій ефективної швидкості передачі інформації

нічної діагностики на етапах проектування та експлуатації мереж. На основі математичного моделювання було визначено умови використання інтервалів флуктуацій діагностичних параметрів та їх зв'язок від типу стандарту.

Крім того, застосовуючи наперед відому базу коефіцієнтів статистичного зв'язку, оцінювання можна одночасно здійснювати для всіх стандартів як наявних, так і майбутніх, розширюючи базу даних.

Список літератури:

1. Mykhalevskiy D., Vasylykivskiy N., Horodetska O. Development of a mathematical model for estimating signal strength at the input of the 802.11 standard receiver. *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 4/9 (88). Pp. 38–43. 2017. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.
2. Chapre Y., Mohapatra P., Jha S., Seneviratne A. Received Signal Strength Indicator and Its Analysis in a Typical WLAN System. *38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*, pp. 304–307. 2013. DOI: 10.1109/LCN.2013.6761255.
3. Soldo I., Malarić K. Wi-Fi Parameter Measurements and Analysis. *Proceedings of the 9th International Conference (Measurement 2013)*, pp. 339–342. 2013.
4. Foster K. Radiofrequency exposure from wireless LANs utilizing Wi-Fi technology. *Health Physics*. In press, pp. 280–289. 2013. DOI: 10.1097/01.HP.0000248117.74843.34.
5. Davies J.N., Grout V. and Picking R. Prediction of Wireless Network Signal Strength within a Building. *Proceedings of the 7th Int. Network Conference (Inc 2008) UK*. Pp. 193–207. 2008.
6. Laitinen E., Talvitie J., Lohan E.S. On the RSS biases in WLAN-based indoor positioning. ANLN Workshop at ICC, pp. 1–6. 2015. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2015.7414038.
7. Kai C., Liew S.C. Towards a more accurate carrier sensing model for CSMA wireless networks. *IEEE International Conference on Communications*, pp. 1–6. 2010. DOI: 10.1109/ICC.2010.5502695.
8. Liang L., Wang W., Jia Y., Fu S. A cluster-based energy-efficient resource management scheme for ultra-dense networks. V. 4, pp. 6823–6832. 2016. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2614517.
9. Deek L., Garcia-Villegas E., Belding E., Lee S. J., Almeroth K. The Impact of Channel Bonding on 802.11n Network Management. *CoNEXT'11 Proceedings of the Seventh Conference on emerging Networking Experiments and Technologies Article*, No. 11. 2011. DOI: 10.1145/2079296.2079307.
10. Rathod K., Vatti R., Nandre M. Optimization of Campus Wide WLAN. *International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering*, V. 4, I. 5, pp. 1–6. 2017.
11. Sârbu A., Sârbu M., Şumălan C. 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. DOI: <https://doi.org/10.2478/raft-2018-0017>.
12. Михалевський Д.В. Розробка математичних моделей оцінювання ефективної швидкості передачі інформації у просторі приміщень для безпроводних каналів стандарту 802.11. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 110–115. 2020. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-148-1-110-115>.
13. Mykhalevskiy D.V. Investigation of wireless channels of 802.11 standard in the 5GHz frequency band. *Latvian journal of physics and technical sciences*, No. 1, pp. 41–51. 2019. DOI: 10.2478/lpts-2019-0004.
14. Mykhalevskiy D.V., Horodetska O.S. 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. DOI: 10.26480/jmerd.02.2019.50.57.
15. Mykhalevskiy D. 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*, No. 6/9 (96), pp. 16–21. 2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150983.

Mykhalevskiy D.V. DEVELOPMENT OF A MODEL FOR ASSESSING THE EFFECTIVE DATA RATE FOR CHANNELS OF STANDARD 802.11 BASIS ON A QUADRATIC FUNCTION

An analysis of existing studies of 802.11 standard wireless networks has shown that existing models and methods for assessing the channel performance have several disadvantages. The main ones are the problem of choosing the number of destabilizing factors and the difficulty of determining the initial conditions. In this paper, this problem is solved on the basis of the results of experimental studies of wireless channels of the 802.11x standard family with minimal influence of interference and noise interference and multipath propagation of waves.

Based on experimental studies, a model for estimating the effective data rate based on the quadratic regression function of the main energy parameter was proposed as a basis for building spatial models taking into account the maximum possible number of destabilizing factors. The proposed model makes it possible to estimate the effective data rate for any channel of the 802.11 standard with a length of up to 40 m indoors. The advantage of such a model is the use of relatively simple and affordable operations for measuring the energy

parameter, which are performed by hardware and software of the subscriber equipment using monitoring algorithms. The level of adequacy of such a model depends on the reliability of the statistical communication parameters for the main parameters of the channel and the reliability of the measurement of the diagnostic parameter by the device used to assess the effective data rate.

Studies of the obtained model have shown its effectiveness and features of use taking into account destabilizing factors. The level of influence of destabilizing factors can be estimated on the basis of fluctuation intervals. On the one hand, it is possible to use signal fluctuations to pre-evaluate the efficiency of a wireless channel to transmit certain types of traffic along the entire length of the channel. In most cases, this will give an estimate error of no more than 3 Mbps, or show less channel efficiency than the actual one. On the other hand, to increase the reliability of the assessment, it is necessary to take into account fluctuations in the effective speed of information transfer. In this case, it is necessary to have a predetermined database of possible fluctuations in the effective speed of information transfer from the influence of destabilizing factors.

Key words: *wireless channel, 802.11 standard, effective data rate, signal power, quadratic function, correlation function, statistical relationship.*