

Д.В. МИХАЛЕВСЬКИЙ, О.С. ГОРОДЕЦЬКА  
Вінницький національний технічний університет

## ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ АЛГОРИТМІВ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ АБОНЕНТСЬКИХ ПРИБОРІВ СТАНДАРТУ 802.11

У статті досліджується оцінка достовірності вимірювання основних параметрів безпроводних каналів за допомогою алгоритмів моніторингу на базі абонентських пристроїв стандарту 802.11. Також, визначено вимірювальні можливості абонентських пристроїв та доцільність їх застосування для технічної діагностики безпроводних каналів стандарту 802.11.

На основі статистичних оцінок та критеріїв Колмогорова-Смірнова і Шапіро-Уїлка, встановлено, що для визначення довіркових інтервалів, можна використовувати нормальний закон розподілу. При цьому отримуються наближені результати. Дослідження на основі функції Лапласа, коефіцієнта Стьюдента та розподілу  $\chi^2$  показали, що розподіл для вимірювальних величин має найбільше наближення до  $\chi^2$ . Але, якщо враховувати флуктуації основних параметрів, то для потужності сигналу на вході приймача довіркові інтервали будуть становити не більше  $\pm 0,3$  дБм при умові періоду спостереження рівному 360 с із циклом моніторингу 1с. Для інформаційних параметрів процес оцінювання довіркових інтервалів показав значення не більше  $\pm 0,04$  Мб/с для ефективної швидкості передачі інформації, та не більше  $\pm 7$  МБ/с для пропускної здатності каналу. Також, встановлено, що для інформаційних параметрів достатньо використовувати 50 вимірів. При цьому, розподіл буде більш наближений до  $\chi^2$ , але враховуючи малі значення довіркового інтервалу та особливості передачі пакетів за допомогою кадрів стандарту 802.11, різниця між нормальним розподілом майже не вплине на кінцевий результат.

Використання отриманих результатів, дозволяє використовувати їх для оцінки ступеня адекватності моделей та достовірності методів оцінювання основних параметрів безпроводних каналів для етапів проектування та експлуатації мереж стандарту 802.11.

Ключові слова: достовірність, безпроводний канал стандарту 802.11, ефективна швидкість передачі інформації, потужність сигналу на вході приймача, безпроводні мережі.

D. MYKHALEVSKIY, O. HORODETSKA  
Vinnytsia National Technical University

## ASSESSMENT OF RELIABILITY OF MONITORING ALGORITHMS FOR SUBSCRIBER DEVICES 802.11 STANDARD

The article investigates the assessment of the reliability of measuring the main parameters of wireless channels using monitoring algorithms based on 802.11 subscriber devices. Also, the measuring capabilities of subscriber devices and the feasibility of their use for technical diagnostics of wireless channels of the 802.11 standard are determined.

Based on statistical estimates and Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk criteria, it was found that a normal distribution law can be used to determine confidence intervals. This gives approximate results. Studies based on the Laplace function, Student's coefficient and the distribution of  $\chi^2$  have shown that the distribution for the measured quantities has the closest approximation to  $\chi^2$ . However, if the fluctuations of the main parameters are taken into account, the reference intervals for the signal power at the receiver input will be no more than  $\pm 0.3$  dBm, provided that the observation period is 360 s with a monitoring cycle of 1 s. For information parameters, the process of estimating the confidence intervals showed values of not more than  $\pm 0.04$  Mb/s for the effective data rate, and not more than  $\pm 7$  MB/s for channel bandwidth. Also, it is established that it is enough to use 50 measurements for information parameters. In this case, the distribution will be closer to  $\chi^2$ , but given the small values of the confidence interval and the peculiarities of packet transmission using 802.11 frames, the difference between the normal distribution will have almost no effect on the final result.

The use of the obtained results allows to use them to assess the degree of adequacy of the models and the reliability of the methods of estimating the basic parameters of wireless channels for the stages of design and operation of 802.11 networks.

Keywords: reliability, wireless channel 802.11 standard, effective data rate, signal power at the receiver input, wireless networks.

### Вступ

Останнім часом досить широкого поширення отримали 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. Але за рахунок використання малопотужних передавачів із низьким рівнем випромінювання існує значна кількість постійних та випадковий факторів, які можуть погіршувати ефективність безпроводних каналів [2]. Найбільш достовірним способом оцінки таких факторів є експериментальні дослідження та створення на їх базі емпіричних моделей [3]. Застосування таких моделей дає можливість прогнозувати ефективність каналів як для стаціонарних, так і для мобільних абонентів, на етапах проектування та експлуатації мереж.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Радіомоніторинг можна використовувати для оцінки параметрів сигналу та пропускної здатності безпроводних каналів в межах будинку як показано у роботі [4]. На основі досліджень встановлено, що використання апаратно-програмних можливостей мобільних пристроїв може бути альтернативою спектроаналізаторам, коли не є необхідним отримання повної інформації про спектр. У роботі [5], показано, що оцінка пропускної здатності безпроводних каналів стандарту 802.11 є досить складним процесом. Тут запропоновано два методи де використовується оцінка пропускної здатності за допомогою оцінки помилок у

пакетах із новим алгоритмом перемержування. Таким чином, інформацію про параметри безпроводних каналів можна отримати на основі алгоритмів моніторингу, що використовують вимірювання за певний цикл моніторингу. Часові характеристики параметрів каналу мають випадковий характер [6], тому необхідно використовувати період спостереження та статистичну обробку результатів вимірювання. Тоді, для оцінки адекватності емпіричних моделей оцінювання основних параметрів безпроводних каналів стандарту 802.11 із використанням апаратно-програмних алгоритмів моніторингу на базі абонентських пристроїв [7], необхідно мати оцінку достовірності таких вимірювань. В свою чергу, достовірність моделей оцінювання основних діагностичних параметрів безпроводних каналів стандарту 802.11 можна поділити на три складові: достовірність результатів емпіричних досліджень на основі яких отримані математична моделі; достовірності вимірювання параметра  $P_m$ , що буде залежати від характеристик обладнання стандарту 802.11 у різних виробників; достовірність оцінювання інтервалів  $\Delta P$  і  $\Delta V$ , для врахування факторів впливу. Тому, є актуальним оцінити вимірювальні можливості існуючих абонентських пристроїв та доцільність їх застосування для технічної діагностики безпроводних каналів стандарту 802.11.

Метою роботи є оцінка достовірності вимірювання основних параметрів безпроводних каналів стандарту 802.11 на базі алгоритмів моніторингу та абонентських пристроїв шляхом статистичного аналізу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Вимірювання основних параметрів безпроводних каналів стандарту 802.11 виконується на основі алгоритмів моніторингу та обчислення середньостатистичних значень за період спостереження. Оцінку таких параметрів можна отримати на основі виразів [3]:

$$P_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{m,i}, \quad V_{eff} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_{eff,i}, \quad (1)$$

де  $n$  і  $m$  – кількість циклів вимірювання протягом періоду спостереження для потужності сигналу на вході приймача та ефективної швидкості передачі інформації відповідно.  $P_{m,i}$  – вимірювання потужності сигналу за час одного циклу моніторингу;  $V_{eff,i}$  – вимірювання ефективної швидкості передачі інформації за час одного циклу моніторингу.

Визначимо достовірність оцінювання основних параметрів каналу, що отримуються на основі виразів (1). Для цього, скористаємось результатами емпіричних досліджень у роботі [8], як показано на рис. 1.

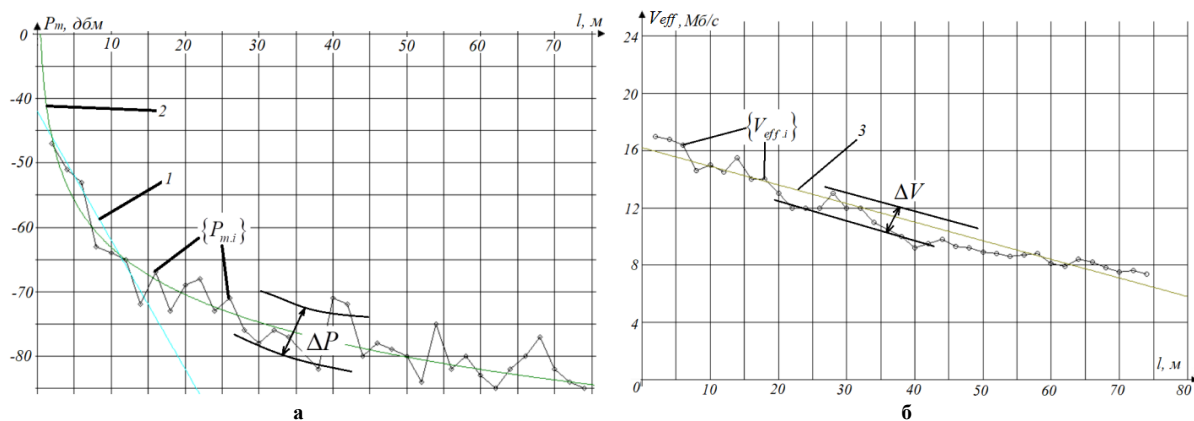


Рис. 1. Результати емпіричних досліджень для безпроводного каналу стандарту 802.11ас для: а – потужності сигналу на вході приймача; б – ефективної швидкості передачі інформації

На рис. 1 показано результати досліджень для каналу стандарту 802.11ас зі смугою 40 МГц, які отримані за допомогою абонентського мобільного пристрою. За допомогою регресійного аналізу отримується усереднена модель оцінювання діагностичних параметрів по всій довжині каналу [2]. В загальному можна виділити короткі канали, де основні діагностичні параметри можна описати лінійними рівняннями регресії (крива 1 на рис. 1, а), та довгі – потужність сигналу має логарифмічну модель (крива 2). Відхилення від усередненого значення можна оцінити за допомогою інтервалів  $\Delta P$  і  $\Delta V$ , до яких можна не пред'являти досить високу точність та використовувати математичне усереднення. Згідно роботи [6], кожному інтервалу  $\Delta P$  можна співставити інтервал  $\Delta V$ , тоді флуктуації сигналу у приміщенні від  $\pm 2$  дБм при мінімальній дії факторів впливу та до  $\pm 5 \dots 10$  дБм для значної кількості, приводять до флуктуацій ефективної швидкості передачі інформації до  $\pm 0,1 \dots 0,5$  Мб/с, в залежності від кількості існуючих факторів впливу в каналі.

Виконаємо статистичний аналіз множини значень випадкових величин  $\{P_{m,i}\}$  і  $\{V_{eff,i}\}$  та отримаємо розподіли, які наведено на рис. 2.

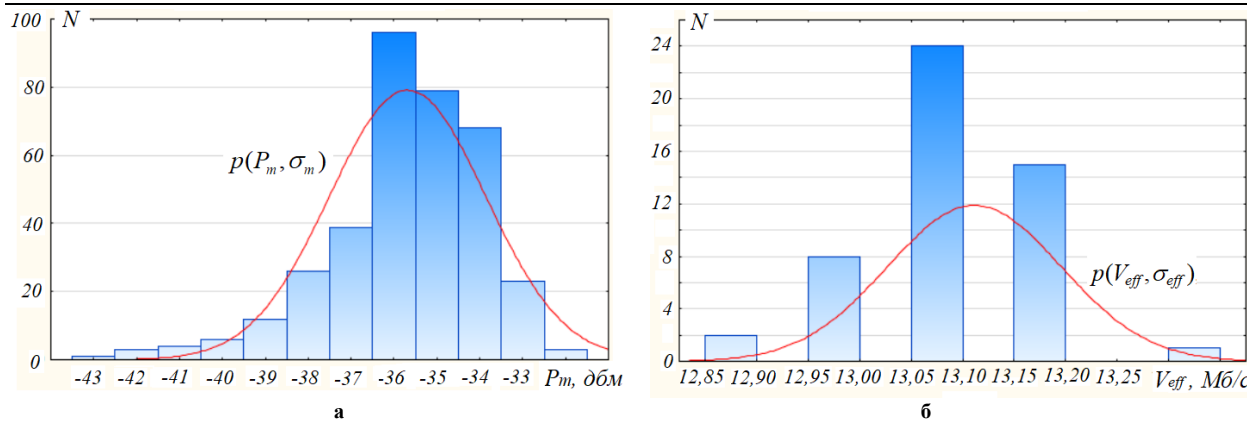


Рис. 2. Гістограма розподілу для: а – потужності сигналу на вході приймача; б – ефективної швидкості передачі інформації

Криві  $p(P_m, \sigma_m)$  та  $p(V_{eff}, \sigma_{eff})$  показують передбачуваний нормальний закон розподілу. Спершу розглянемо потужність сигналу на вході приймача із аналізом отриманих значень  $\{P_m\}$ ; контрольної відстані від точки доступу. Додатково використаємо незалежний стаціонарний пристрій стандарту 802.11n з каналом 40 МГц у діапазоні 2,4 ГГц. Результати статистичного аналізу при вимірюванні параметра  $P_m$  наведено у табл. 1.

Із наведеної таблиці видно, що коефіцієнти асиметрії та ексцесу наближаються до нуля, медіана та мода рівні між собою, а середнє значення майже таке ж саме. Тому, можна припустити про гіпотезу нормального закону розподілу  $p(P_m, \sigma_m)$ . Далі для перевірки даної гіпотези використаємо критерії Колмогорова-Смірнова ( $d$ ) та Шапіро-Уїлка ( $W$ ). Аналіз за такими критеріями наведено на рис. 3.

Таблиця 1

Статистична оцінка результатів експерименту параметра  $P_m$

Параметр	$N$	Середнє значення	Медіана	Мода	Дисперсія	Асиметрія	Помилка асиметрії	Ексцес	Помилка ексцесу
$P_m$ (Пр1)	360	-45,07	-45	-45	2,05	-0,04	0,13	-0,5	0,25
$P_m$ (Пр2)	360	-35,7	-36	-36	2,16	-0,94	0,13	1,47	0,25

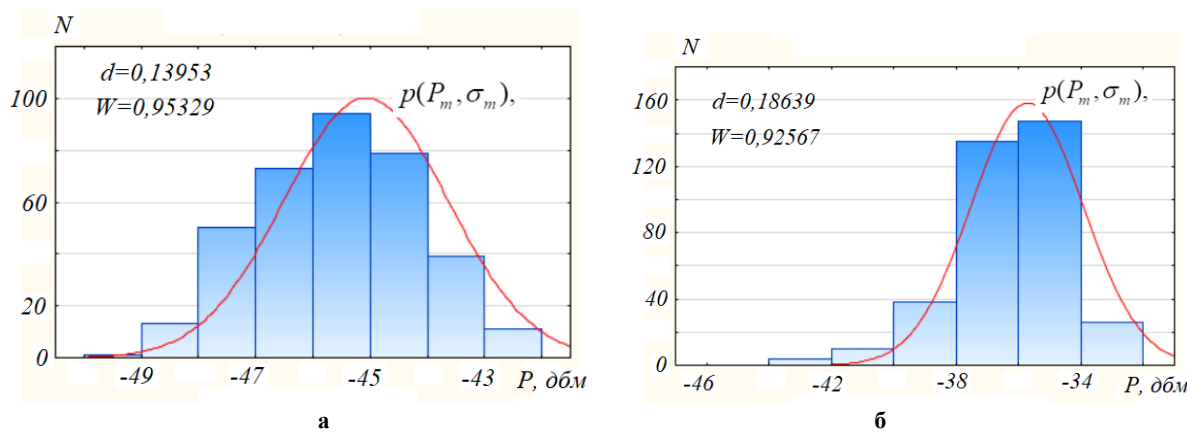


Рис. 3. Результати перевірки гіпотези нормального закону розподілу для: а – пристрою 1; б – пристрою 2.

Як видно із результатів на рис. 3, критерій Колмогорова-Смірнова наближається до нуля а критерій Шапіро-Уїлка до одиниці. На основі цього, можна говорити про можливість використання нормального розподілу для визначення довіркового інтервалу та отримання наближених результатів. При існуванні наближення можна розглянути довіркові інтервали за трьома випадками: функція Лапласа, коефіцієнт Стьюдента та розподіл  $\chi^2$ . Таким чином, довіркові інтервали для середньостатистичних значень потужності сигналу на вході приймача можна визначити на основі наступних виразів:

$$\sigma = \pm t \frac{\sum_{i=1}^n \left( P_{m,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{m,i} \right)}{\sqrt{n}}, \tag{2}$$

$$\sigma = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n \left( P_{m,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{m,i} \right)^2} \\ \chi_{\frac{1-\gamma}{2}, n-1} \\ + \sqrt{\frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n \left( P_{m,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{m,i} \right)^2} \\ \chi_{\frac{1+\gamma}{2}, n-1} \end{array} \right.$$

де  $\gamma$  – квантиль розподілу хі-квадрат;  $t$  – коефіцієнт Лапласа при відомій дисперсії або коефіцієнт Стьюдента при невідомій дисперсії.

Результати розрахунків за виразами (2) для імовірності 0,95 наведено у таблиці 2.

Як видно із результатів табл. 2, та враховуючи флуктуації сигналу, які спостерігаються на рис. 1 а, як  $\Delta P$ , найбільш близьким буде розподіл  $\chi^2$ . Але, якщо підвищити імовірність до 0,997 для оцінки за коефіцієнтом  $t$ , то можна отримати наближені результати, як показано в таблиці 3.

Таблиця 2

**Результати оцінки довіркових інтервалів для імовірності 0,95**

Довірковий інтервал	Пристрій 1 (дисперсія = 3,29)		Пристрій 2 (дисперсія =2,06)	
	- $\sigma$	+ $\sigma$	- $\sigma$	+ $\sigma$
$t$ Лапласа	0,2	0,2	0,155	0,155
$t$ Стьюдента	0,18	0,18	0,149	0,149
$\chi^2$	1,69	1,96	1,34	1,55

Таблиця 3

**Результати оцінки довіркових інтервалів для імовірності 0,997**

Довірковий інтервал	Пристрій 1 (дисперсія = 3,29)		Пристрій 2 (дисперсія =2,06)	
	- $\sigma$	+ $\sigma$	- $\sigma$	+ $\sigma$
$t$	0,3	0,3	0,23	0,23

Таким чином, отримані результати показують можливість отримати довірковий інтервал в найгіршому випадку  $\pm 0,3$  дБм, що є досить високим результатом, якщо порівнювати із існуючими флуктуаціями сигналів у просторі, навіть при мінімальній дії факторів впливу у приміщенні для прямої видимості.

Далі розглянемо параметри ефективної швидкості передачі інформації  $V_{eff}$  та пропускну здатність каналу на фізичному рівні  $V_{pl}$ . Параметр  $V_{eff}$  має набагато вищу складність оцінювання із застосуванням алгоритмів моніторингу та в багатьох випадках потребує значно більшого періоду спостереження. Цей параметр можна оцінювати як за допомогою додатків прикладного рівня, так і на основі моніторингу використовуючи статистику кількості вдало прийнятих та переданих кадрів [9]. Крім того, на рівні додатків прикладного рівня можна обмежитись кількістю вимірів  $\{V_{eff}\}_i = 50$ , як показано на рис. 2 б. Результати статистичної обробки емпіричних досліджень для стандарту 802.11n 40 МГц [8] із достовірністю 0,95, наведено у табл. 4.

Таблиця 4

**Статистична оцінка вимірювання ефективної швидкості передачі інформації для імовірності 0,95**

Параметр	N	Середнє значення	Медіана	Мода	Дисперсія	Асиметрія	Помилка асиметрії	Експес	Помилка експесу
$V_{eff}$	50	13,11	13,1	13,1	0,007	-0,41	0,33	0,23	0,66
$V_{pl}$	50	140,1	150	150	226	-1,76	0,33	3,14	0,66
Параметр		$-\sigma(t)$		$+\sigma(t)$		$-\sigma(\chi^2)$			$-\sigma(\chi^2)$
$V_{eff}$		0,037		0,037		0,02			0,034
$V_{pl}$		6,5		6,5		3,52			6,13

Як видно із отриманих результатів, аналогічно до параметра  $P_m$ , можна прийняти нормальний закон розподілу для визначення наближених значень довіркового інтервалу. Для ефективної швидкості передачі інформації інтевал складе не більше  $\pm 0,04$  Мб/с, а для пропускну здатності не більше  $\pm 7$  Мб/с.

Оцінка критеріїв Колмогорова-Смірнова та Шапіро-Уїлка наведено на рис. 4.

Отже, при використанні 50 вимірів для інформаційних діагностичних параметрів буде більше відхилення від нормального закону розподілу та більш наближене до розподілу  $\chi^2$ . Але враховуючи малі значення довіркового інтервалу та особливості передачі пакетів за допомогою кадрів стандарту 802.11, таку гіпотезу можна приймати, що майже не вплине на кінцевий результат.

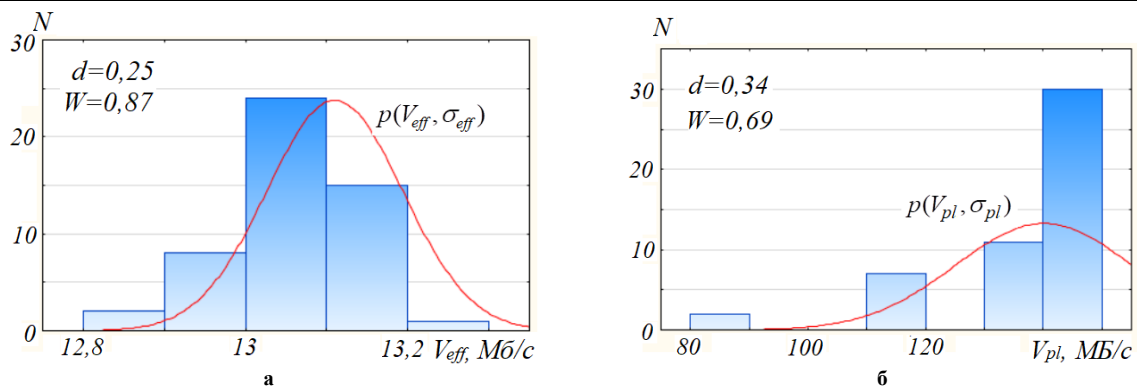


Рис. 4. Результати перевірки гіпотези нормального закону розподілу для: а – ефективної швидкості передачі інформації; б – пропускнуої здатності каналу

### Висновки

Проведені дослідження показали, що для оцінювання достовірності вимірювання основних параметрів безпроводних каналів можна приймати нормальний закон розподілу. В такому випадку довіркові інтервали будуть мати наближений характер. Встановлено, що для потужності сигналу на вході приймача ( $P_m$ ) довіркові інтервали будуть становити не більше  $\pm 0,3$  дБм при умові періоду спостереження рівному 360 с із циклом моніторингу 1с. Це є досить високим результатом, якщо порівнювати із існуючими флуктуаціями сигналів у просторі при дії різного роду факторів впливу де флуктуації становлять від  $\pm 2$  дБм для прямої видимості в умовах приміщень [10]. Для інформаційних параметрів процес оцінювання є складнішим, тому тут достатньо проводити 50 вимірів і при цьому отримуємо інтервали не більше  $\pm 0,04$  Мб/с для ефективної швидкості передачі інформації ( $V_{eff}$ ) та не більше  $\pm 7$  Мб/с для пропускнуої здатності ( $V_{pl}$ ).

### References

1. Performance evaluation of IEEE 802.11 ah networks with high-throughput bidirectional traffic / D. Šljivo, L. Kerkhove, J. Tian, Famaey, A. Munteanu, I. Moerman, et al // Sensors. – 2018. – vol. 18, no. 2. – P. 1–28. DOI: 10.3390/s18020325
2. 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. / D. Mykhalevskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. №6/9(96). – P. 16-21. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150983.
3. Mykhalevskiy D. Development of a mathematical model for estimating signal strength at the input of the 802.11 standard receiver / D. Mykhalevskiy, N. Vasylyukivskiy, O. Horodetska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 6/9(90). P. 38-43. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.
4. Sârbu A. (2018). Non Wi-Fi Devices Interference Testing in a 2.4 GHz Wi-Fi Home / A. Sârbu, M. Sârbu, C. Şumălan // Land Forces Academy Review. – 2018. – №23(90). – P. 143–150. DOI: 10.2478/raft-2018-0017.
5. Khan M. O. (2016). Accurate WiFi packet delivery rate estimation and applications / M. O. Khan, L. Qiu // IEEE INFOCOM - The 35th Annual IEEE. – 2016. – P. 1-9. DOI:10.1109/infocom.2016.7524394.
6. Mykhalevskiy D. V. Investigation of wireless channels of 802.11 standard in the 5GHz frequency band / D. V. Mykhalevskiy // Latvian journal of physics and technical sciences. – 2019. – № 1. – P. 41–51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0004.
7. Mykhalevskiy D. V. Investigation of wireless channels according to the standard 802.11 in the frequency range of 5 GHz for two subscribers / D. V. Mykhalevskiy, O. S. Horodetska // Journal of Mechanical Engineering Research & Developments (JMERD). – 2019. – №42(2). – P. 50–57. Doi: 10.26480/jmerd.02.2019.50.57.
8. Mykhalevskiy D. Development of the method of evaluation of effective data rate on the basis of empirical model of statistical relationship of basic parameters for the wireless channel 802.11 standard / D. Mykhalevskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – № 5/9 (107). – P. 26–35. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.
9. Mykhalevskiy, D. V., Kychak V. M. Development of information models for increasing the efficiency of evaluating wireless channel parameters of 802.11 standard / D. V. Mykhalevskiy, V. M. Kychak // Latvian journal of physics and technical sciences. – 2019. – №2. – P. 41–51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0009.
10. Mykhalevskiy D. V. Investigation of sensitivity impact of receiver to effective data transmission rate / D. V. Mykhalevskiy // Proceeding of the 1th IEEE International Conference on Data Stream Mining & Processing. – 2016. Lviv, Ukraine. – P. 369-372.

Надійшла / Paper received : 06.12.2020 р. Надрукована/Printed :04.01.2021 р.