

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В УМОВАХ СУМІЩЕНОГО ТА СУСІДНЬОГО ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ КАНАЛІВ ДЛЯ СТАНДАРТУ 802.11N**

*В даній роботі, проведено дослідження впливу умов роботи мережі стандарту 802.11n Wi-Fi при дії інтерференційних завад, таких як суміщений канал, та наявність сусіднього каналу, для не ліцензованого частотного діапазону 2,4 ГГц. Для цього, насамперед, проведено аналіз особливостей поширення хвиль у вказаному діапазоні та встановлено, що в ньому, на даний час існує, багато мереж та пристроїв, які вносять завади у безпроводний канал, що значно погіршує ефективну швидкість передачі.*

*Виконано аналіз умов для виникнення інтерференційних завад, як негативного фактора при передачі інформації. Це дало змогу визначити оптимальні умови для проведення досліджень та запропонувати структуру мережі. Після проведення експериментальних досліджень було встановлено, що режим роботи мережі в умовах суміщеного та сусіднього каналів значно зменшують ефективну швидкість передачі інформації, при цьому залишаючи мережу дієдатною, але зі значно низькою пропускну здатністю. Крім того, високий рівень потужності спектра головної пелюстки від інтерференційної мережі вносить досить суттєві завади у канал передачі, збільшуючи при цьому затримки, створюючи колізії та появу великої кількості помилок у пакетах.*

*Ключові слова: сусідній канал, суміщений канал, безпроводний канал, ефективна швидкість передачі інформації, потужність прийнятого сигналу.*

D. MICHALEVSKIY, V.V. NOMYROVSKA, A.N. POSTERNAK  
Vinnytsia national technical university

**RESEARCH TRANSMISSION OF INFORMATION IN CONDITION OF COMBINED AND THE ADJACENT INTERFERENCE CHANNELS FOR 802.11N STANDARD**

*In this paper, a study of the effects of action of noise interference, such as combined channel and adjacent channel availability for unlicensed frequency band 2.4 GHz of network 802.11n Wi-Fi standard. To do this, first of all, was carried out the analysis features of wave propagation in the specified range and based that there currently exist many networks and devices that make noise in the wireless channel significantly impairs the effective rate.*

*Analyzed the conditions for the emergence of interference noise as a negative factor in the transmission of information. This enabled to determine the optimal conditions for research and proposed network structure. After holding of experimental researches was found that mode combined channel adjacent channel mode significantly reduces the effective speed of information transmission, while making network of competent, but unsuitable for transmitting multimedia traffic high quality. In addition, high power spectrum main lobe of interference network brings rather significant interference in the transmission channel increasing the delay, creating collisions and a large number of bugs in packages.*

*Keywords: adjacent channel, combined channel, wireless channel, effective data rate, the power of the received signal.*

**Вступ**

При проектуванні сучасних безпроводних мереж існує ряд факторів, що впливають на характеристики ефективної швидкості передачі інформації. Їх можна поділити на дві групи. До першої групи можна віднести фактори, які мають постійний вплив і є незмінними у часі. До другої – фактори, для яких існує імовірність появи завади у будь-який момент часу при однакових сеансах передачі даних.

Особливістю мереж сімейства стандартів 802.11x Wi-Fi є застосування напівдуплексного режиму передачі із використанням одного частотного каналу для всіх активних абонентів [1]. Для розгортання таких мереж відведено досить вузькі смуги частот, в яких можуть працювати як пристрої даного стандарту, так і пристрої інших стандартів та пристрої, що не відносяться до систем передачі, а створюють електро-магнітні завади. Це породжує значну кількість інтерференційних та шумових завад [2], що значно погіршує параметри безпроводних каналів та якість передачі інформації.

Для боротьби із такими завадами, при наявності інтерференційних точок доступу, застосовуються алгоритми сумісної роботи пристроїв Wi-Fi. Це приводить до виникнення додаткових затримок, колізій та втрат у сеансах передачі пакетів, що обумовлено збільшенням кількості передавальних пристроїв у досить вузькому діапазоні частот. Тому, є актуальним, проведення досліджень для встановлення характеристик основних параметрів безпроводного каналу передачі стандарту 802.11 в умовах суміщеного та сусіднього інтерференційних каналів.

**Мета та задачі дослідження**

Метою даної роботи є встановлення особливостей передачі інформації в умовах суміщеного та сусіднього інтерференційних каналів для мереж стандарту 802.11n, на основі теоретичних та статистичних експериментальних досліджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз спектру для не ліцензованого частотного діапазону 2,4 ГГц та визначити особливості виникнення завад від суміщеного та сусіднього інтерференційних каналів;
- розробити структуру мережі та методик експериментальних досліджень;
- виконати експериментальні дослідження та аналіз залежностей ефективної швидкості передачі інформації та розподілу потужності сигналу в умовах максимальної дії інтерференційних завад для типового

приміщення із архітектурними перешкодами.

### Теоретичні відомості

В рамках дослідження, було обрано найбільш поширений діапазон частот 2,4 ГГц, оскільки діапазон 5 ГГц на даний час є не досить поширеним, а також менш придатним для приміщень із архітектурними перешкодами. Як відомо [3], діапазон 2,4 ГГц є не ліцензованим для передачі сигналів потужністю до 100 мВт та має смугу частот  $\Delta f$  83,5 МГц: від 2,400 ГГц до 2,4835 ГГц. В свою чергу, вона поділяється на 14 частотних каналів (використовуються з 1-го по 13-й), носійні яких розташовані з інтервалом у 5 МГц. Але для сучасних стандартів Wi-Fi застосовуються технології розширення спектру в результаті чого смуга каналу може становити 20 МГц або 40 МГц. Таким чином, в першому випадку може існувати три канали які не перекриваються на рівні -20 дБ від висоти спектра каналу, а в другому – один. Це справедливо при відсутності завад у середовищі передачі. В реальних умовах, у смузі  $\Delta f$  може існувати велика кількість інтерференційних пристроїв сімейства стандартів 802.11x, які будуть вносити завади у безпроводний канал, і ефективна швидкість передачі може значно погіршуватись. В загальному випадку, інтерференційні завади можна поділити на дві групи.

До першої групи можна віднести внутрішньо-канальні завади. Такі завади виникають при використанні одного і того ж частотного каналу у смузі  $\Delta f$ , як існуючою мережею так і інтерференційними точками доступу. Тоді, сумісне функціонування мереж забезпечується за рахунок ведення затримок на передачу пакетів для пристроїв відповідної мережі та подальшої передачі при звільненні каналу. На практиці суттєвий вплив такого виду інтерференції виникає в моменти збільшення навантаження у мережах при перенесенні великих об'ємів інформації. Але як показують дослідження у [4], незначний вплив існує навіть для режиму очікування інтерференційних точок доступу.

Друга група завад – міжканальні завади, які виникають при роботі мереж сімейства стандартів 802.11x на сусідніх каналах. В такому випадку, пристрої які знаходяться на сусідніх каналах можуть виконувати передачу інформації одночасно, без застосування алгоритмів сумісної роботи не враховуючи один одного, що в свою чергу приведе до виникнення великої кількості помилок у прийнятих пакетах.

Наявність великої кількості передавачів в обмеженому діапазоні частот  $\Delta f$  підвищує вимоги до електро-магнітної сумісності. Враховуючи, що найбільший рівень завад вносять інтерференційні джерела випромінювання. То загальна їх потужність можна визначити за наступним виразом [2]:

$$P_{in} = \frac{G_2}{L_{RX}} \sum_{i=1}^n \frac{P_{c.c.i} G_{c.c.i}}{G_{\phi,i} L_{i,i} L_3},$$

де  $L_i$  – послаблення в інтерференційному каналі;  $L_3$  – затухання в антенно-фідерному пристрої інтерференційного передавача;  $G_{\phi}$  – послаблення при мінімальній кутовій відстані між антенами,  $G_{c.c}$  – коефіцієнт підсилення антени суміжної інтерференційної станції,  $P_{c.c}$  – потужність сигналу суміжної станції;  $n$  – кількість інтерференційних станцій у межах зони покриття базової станції;  $i$  – кількість інтерференційних джерел випромінювань.

### Методика досліджень

Для дослідження впливу інтерференційних завад, було запропоновано структуру мережі яка наведена на рис.1.

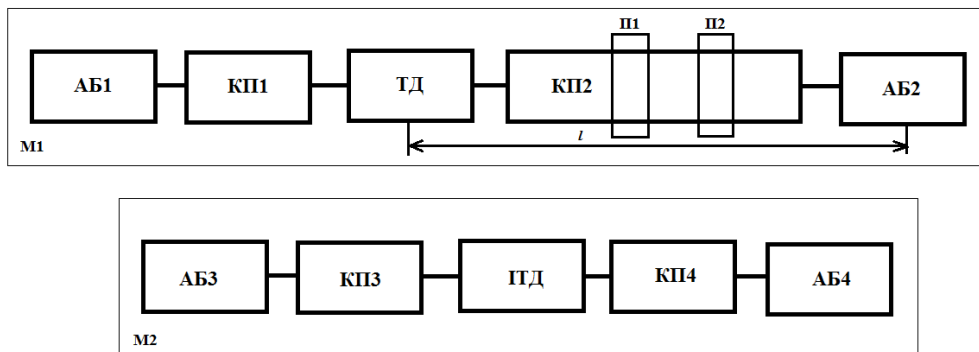


Рис. 1. Структура мережі із інтерференційними завадами стандарту 802.11n

Досліджувана мережа (М1) була побудована з використанням точки доступу (ТД) стандарту 802.11n. В цій мережі існують два абоненти: АБ1 і АБ2. Між цими абонентами існують канали передачі інформації (КП), таким чином що АБ2 є рухомим на відстань  $l$  від ТД та КП2 є безпроводним. Для оцінки

впливу архітектурних завад у КП2 було розташовано дві перешкоди П1 і П2, на відстані 5,5 м та 8,5 м відповідно. З метою оцінки напівдуплексного режиму передачі стандарту 802.11, за рахунок збільшення кількості пристроїв, було забезпечено можливість зміни КП1 із проводового каналу на безпроводний. Внесення завад забезпечувала сусідня мережа (М2) із інтерференційною точкою доступу ІТД, в якій знаходяться абоненти АБ3 та АБ4.

Для оцінки впливу інтерференційних завад на параметри безпроводного каналу передачі було використано два випадки: сумісний канал де центральна частота ТД і ІТД співпадають; сусідній канал, де частотні канали ТД та ІТД не перетинаються. Частотні спектри середовища передачі наведено на рис. 2.

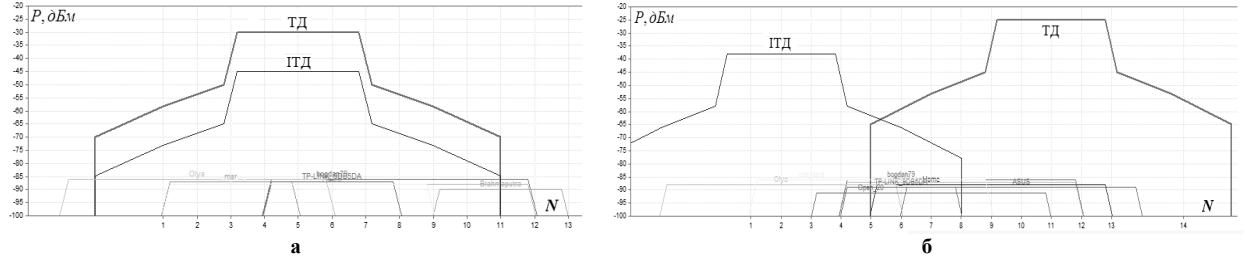


Рис. 2. Створення сумісного каналу а) та сусідніх каналів б) для двох мереж стандарту 802.11n

При дослідженнях використовувались канали зі смугою 20 МГц та 40 МГц. В якості основних параметрів використовується ефективна швидкість передачі інформації  $V$  та потужність прийнятого сигналу  $P$ , які залежать від відстані  $l$  між передавачем ТД та приймачем АБ2.

### Результати досліджень

Як архітектурні перешкоди було обрано типові конструкції із дерева, як перший тип, та цегли як другий тип. Для систематизації результатів досліджень було введено наступні види позначення на графіках: крива 1 – канал зі смугою 20 МГц без архітектурних перешкод; крива 2 – канал зі смугою 20 МГц і перешкоди першого типу; крива 3 – канал зі смугою 20 МГц і перешкоди другого типу; крива 4 – канал зі смугою 40 МГц без архітектурних перешкод; крива 5 – канал зі смугою 40 МГц і перешкоди першого типу; крива 6 – канал зі смугою 40 МГц і перешкоди другого типу;

На основі запропонованої методики досліджень, в першу чергу, було отримано залежності ефективної швидкості передачі інформації та розподілу потужності сигналу на вході приймача АБ2 для умов без дії інтерференційних завад при конфігурації: проводовий КП1 та безпроводний КП2. Результати досліджень наведено на рис. 3.

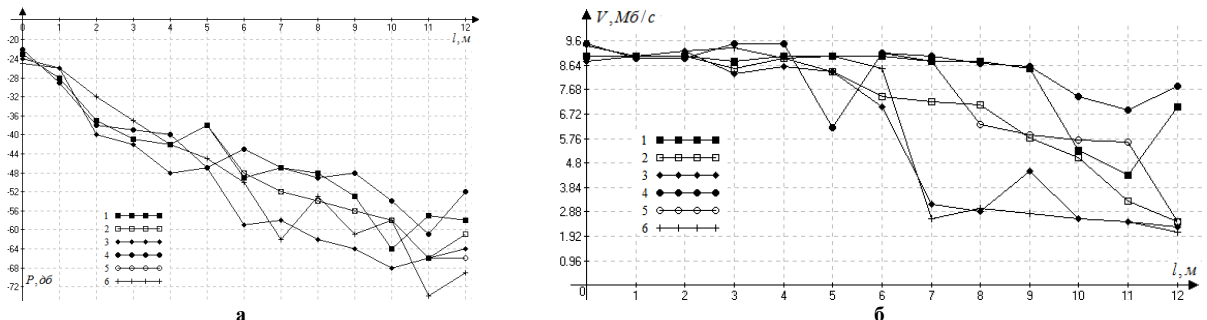


Рис. 3. Залежність швидкості передачі а) та потужності на вході приймача б) від відстані для безпроводного каналу без завад

Як видно із результатів на рис. 3 а, спостерігається типова картина майже лінійного затухання сигналу. Відносно ефективної швидкості передачі інформації між абонентами, то 9,6 Мбайт/с є максимальним для обладнання АБ2. Перешкода першого типу зменшує швидкість передачі в середньому на 3 Мбайт/с, а перешкода другого аж на 6 Мбайт/с. Використання розширеного каналу у 40 МГц дає такий самий результат по значеннях ефективної швидкості передачі інформації при наявності архітектурних перешкод обох типів, як і канал із смугою 20 МГц.

Далі застосуємо режим максимального завантаження каналу для ТД та ІТД, в умовах сумісного каналу. При цьому було задіяна схема, що забезпечувала наявність одного безпроводного каналу для кожної точки доступу (два пристрої): КП1, КП3 – проводові; КП2, КП4 – безпроводні. Для збільшення впливу напівдуплексного режиму передачі застосовувалась схема наявності двох безпроводних каналів для ТД (три пристрої, КП1 – безпроводний). Результати залежностей потужності сигналу та ефективної швидкості передачі від відстані для двох схем наведено на рис. 4 та рис. 5 відповідно.

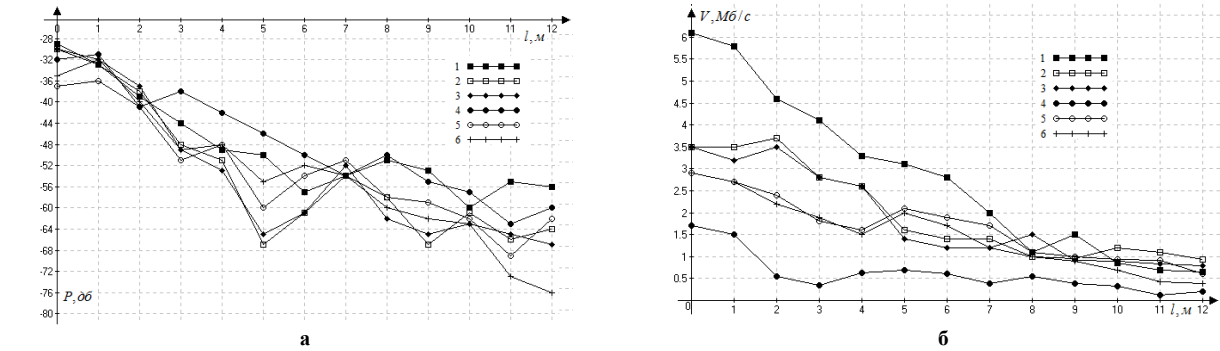


Рис. 4. Залежність швидкості передачі а) та потужності на вході приймача б) від відстані для умов сумісного каналу двох пристроїв

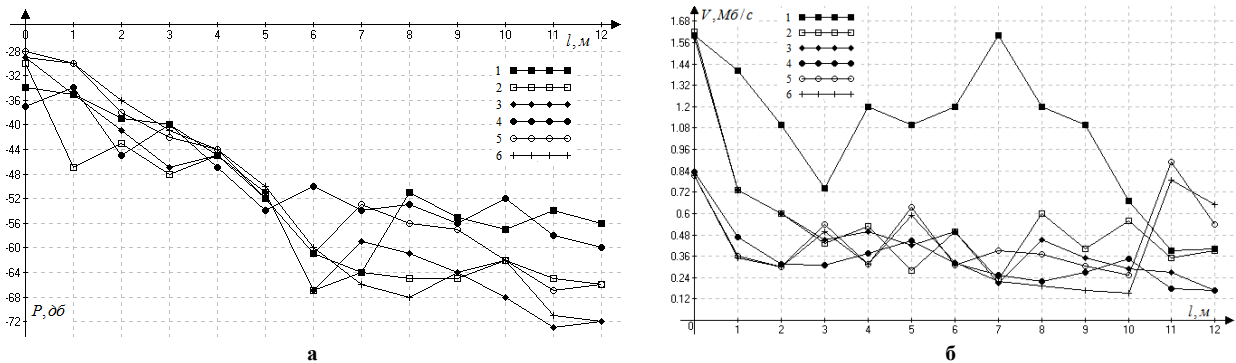


Рис. 5. Залежність швидкості передачі а) та потужності на вході приймача б) від відстані для умов сумісного каналу трьох пристроїв

Виконуючи аналіз отриманих результатів, для випадку суміщеного каналу, можна сказати, що при найменшій конфігурації мережі (наявність двох пристроїв) розкид параметрів для різних режимів та умов роботи є суттєвим (див. рис. 4 б). Вплив типу архітектурних завдань є мінімальним, що пояснюється перемиканням пристроїв із профілю КАМ модуляції до профілю із ФМ модуляцію, що є менш критичною до відношення сигнал/шум.

При збільшенні кількості пристроїв у мережі (див. рис. 5), ефективна швидкість передачі значно зменшилась за рахунок обмеженого ресурсу суміщеного каналу, що робить досліджувану мережу непридатною для передачі великих об'ємів трафіку. Також, було встановлено, що в таких умовах ефективність розширення спектра каналу до 40 МГц у два рази менша ніж для каналу зі смугою 20 МГц.

На наступному етапі, було проведено аналогічні дослідження параметрів безпроводної мережі для умов сусіднього інтерференційного каналу, як показано на рис. 1 б. Результати досліджень наведено на рис. 6 та рис. 7 відповідно.

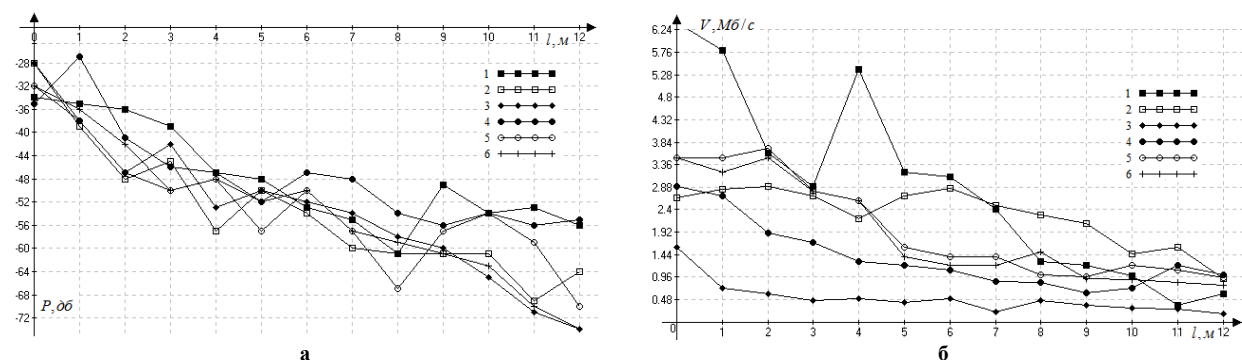


Рис. 6. Залежність швидкості передачі а) та потужності на вході приймача б) від відстані для сусідніх каналів при роботі двох пристроїв

При умовах існування сусіднього інтерференційного каналу, також спостерігається досить високий розкид параметрів ефективної швидкості передачі. Робота двох пристроїв показує усереднені результати досліджуваних параметрів, що відповідають суміщеному каналу. Інша ситуація виникає при наявності трьох пристроїв у мережі. В цьому випадку, ефективна швидкість передачі відносно суміщеного каналу є вищою у 2-3 рази, зокрема при використанні каналу зі смугою 40 МГц.

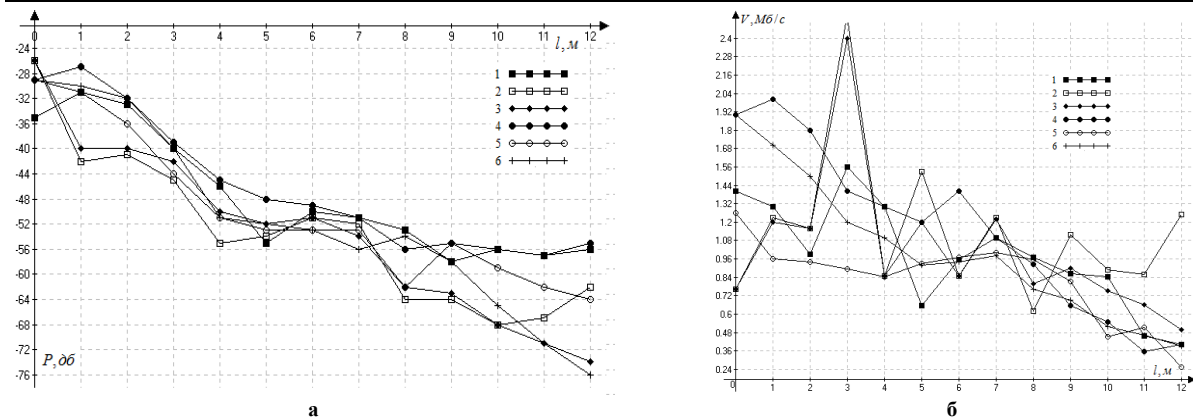


Рис. 7. Залежність швидкості передачі а) та потужності на вході приймача б) від відстані для сусідніх каналів при роботі трьох пристроїв

### Висновки

Отже, в даній роботі було проведено дослідження передачі інформації у мережі стандарту 802.11n Wi-Fi в умовах інтерференційних завад, таких як суміщений канал, та наявність сусіднього каналу, для не ліцензованого частотного діапазону 2,4 ГГц.

На основі запропонованої структури мережі та проведених експериментальних досліджень, було встановлено наступні особливості:

- рівень потужності сигналу на вході приймача для всіх режимів роботи мережі, можна вважати що має лінійну характеристику затухання, яке збільшується при наявності архітектурних завад. Максимуми та мінімуми на характеристиках показують ефект багатопроменевого поширення хвиль у приміщенні та є типовим для діапазону 2,4 ГГц;
- суміщений канал значно зменшує ефективну швидкість передачі інформації, при цьому залишаючи мережу дієздатною, але непридатною для передачі мультимедійного трафіку високої якості.
- сусідній інтерференційний канал також значно зменшує ефективну швидкість передачі інформації, але цей ефект виникає в тому випадку, коли до головної пелюстки спектра мережі попадає спектр від інтерференційної мережі, в результаті чого виникають колізії та помилки у пакетах. Такий режим є найбільш небажаний, хоча тут ефективність каналу із смугою 40 МГц є вищою.
- передача інформації в умовах суміщеного та сусіднього інтерференційного каналів значно залежить від потужності точок доступу. Чим вища потужність сигналу на вході приймача абонента, та чим менша потужність сигналу від інтерференційної точки доступу, тим менше помилок та затримок буде при сеансах передачі пакетів.

### Література

1. CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide: Exam PW0-270 / D.A. Wescott, D.D. Coleman, P. Mackenzie, B. Miller – Wiley Technology Pub., 2011. – P. 712.
2. Михалевський Д. В. Оцінка параметрів безпроводного каналу передачі інформації стандарту 802.11 Wi-Fi / Д. В. Михалевський. – Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 6/9 (72). – С. 22-25.
3. Михалевський Д.В. Аналіз параметрів сигналу у каналах стандарту 802.11g при спектральних завадах // Proceeding of the International Scientific and Practical Conf. “MSATPA” (Oct. 20-22) 2014 Dubai. – К.: Знання України, 2014. – с. 33-37.
4. Михалевський Д. В. Передача трафіку у мережах Wi-Fi при дії інтерференційних завад / Д. В. Михалевський, М. Д. Гузь, Р. О.Красота. – Сборник научных трудов Sword. – 2014. – №4(37) Том 5. – С. 12-17.

### References

1. CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide: Exam PW0-270 / D.A. Wescott, D.D. Coleman, P. Mackenzie, B. Miller – Wiley Technology Pub., 2011. – P. 712.
2. Mykhalevskiy D. V. Otsinka parametrov bezprovodnogo kanalu peredachi informatsiyi standartu 802.11 Wi-Fi / D. V. Mykhalevskiy. – Skhidno - Yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy. – 2014. – № 6/9 (72). – S. 22-25.
3. Mykhalevskiy D.V. Analiz parametrov syhnalu u kanalakh standartu 802.11g pry spektral'nykh zavadah // Proceeding of the International Scientific and Practical Conf. “MSATPA” (Oct. 20-22) 2014 Dubai. – К.: Znannya Ukrayiny, 2014. – s. 33-37.
4. Mykhalevskiy D. V. Peredacha trafiku u merezhakh Wi-Fi pry diyi interferentsiynykh zavad / D. V. Mykhalevskiy, M. D. Huz', R. O.Krasota. – Sbornyk nauchnykh trudov Sword. – 2014. – № 4(37) Tom 5. – S. 12-17.

Рецензія/Peer review : 2.5.2015 р. Надрукована/Printed : 21.6.2015 р.  
Стаття рецензована редакційною колегією