

О.І. Ганін, магістрант  
В.Г. Ципоренко, к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

## Дослідження затухання Wi-Fi сигналів у частотному діапазоні 5 ГГц

Нагромадження частотного діапазону 2,4 ГГц, що помітно призводить до зниження рівня якості експлуатації Wi-Fi роутерів, є актуальною проблемою. Це змушує знаходити альтернативи, і найкращою з багатьох є перехід на новий радіодіапазон частот – 5 ГГц.

У статті розглянуто дослідження залежності рівнів сигналу за перетину перешкод різного характеру в частотному діапазоні 5 ГГц, що актуально для побудови Wi-Fi мереж у місцях, де наявне накладання багатьох радіосигналів один на одного стандарту 2,4 ГГц.

**Ключові слова:** сигнал; радіохвиля; діапазон частот; перешкода; накладання сигналів; радіоефір.

**Вступ.** Наразі зараз майже в кожній квартирі, приватному будинку, кафе, магазині чи навчальному закладі є можливість до виходу у світову пошукову систему без безпосереднього фізичного підключення до точки доступу. Цю можливість нам подарувала технологія «Wireless Fidelity», яка почала розроблятися ще у 1985 р., коли США офіційно дозволили використовувати певні частоти радіоспектра без ліцензії, а в 1997 р. вже з'явилися перші специфікації бездротового зв'язку, які розвиваються до сьогодні. Основні відмінності 5 і 2,4 ГГц: діапазонами є менша зона покриття, набагато більша швидкість передачі даних, більш вільний радіоефір та більша кількість робочих каналів (17 проти 13 в діапазоні 2,4 ГГц), що призводить до збільшення стабільності сигналу та швидкості з'єднання.

На таблиці 1 ми можемо ознайомитися з офіційними даними про підтримання швидкості Wi-Fi [1].

Таблиця 1

Схеми модуляції та кодування для одного просторового потоку

MCS індекс	Тип модуляції	Темп кодування	Швидкість передачі даних ( Мбіт/с)							
			канали 20 МГц		канали 40 МГц		канали 80 МГц		канали 160 МГц	
			1600 нс GI	800 нс GI	1600 нс GI	800 нс GI	1600 нс GI	800 нс GI	1600 нс GI	800 нс GI
0	BPSK	1/2	4	8,6	8	17,2	17	36	34	36
1	QPSK	1/2	16	17	33	34	68	72	136	144
2	QPSK	3/4	24	26	49	52	102	108	204	216
3	16-QAM	1/2	33	34	65	69	136	144	272	282
4	16-QAM	3/4	49	52	98	103	204	216	408	432
5	64-QAM	2/3	65	69	130	138	272	288	544	576
6	64-QAM	3/4	73	77	146	155	306	324	613	649
7	64-QAM	5/6	81	86	163	172	340	360	681	721
8	256-QAM	3/4	98	103	195	207	408	432	817+	865+
9	256-QAM	5/6	108	115	217	229	453	480	907	961+
10	1024-QAM	3/4	122	129	244	258	510	540	1021	1081
11	1024-QAM	5/6	135	143	271	287	567	600	1134	1201

З таблиці 1 ми бачимо, що дійсно помітне поліпшення показників пропускної здатності за зміни типу модуляції та збільшення ширини спектра каналу, але це тільки за ідеальних умов. На практиці в повсякденному житті ми можемо навіть не отримати третини швидкості від заявленої, саме через високе навантаження на частоту та перешкоди різного типу (меблі, бетонні стіни з металічними елементами, цегляні стіни тощо).

**Аналіз літературних джерел.** У [2] розглянуто дослідження та результати вимірювання параметра сигнал – шум за наявності перешкод з різних матеріалів. Це питання є актуальним під час створення телекомунікаційних мереж на основі Wi-Fi в приміщеннях, оскільки якість зв'язку залежить від зазначених характеристик.

В [3] розглянуто методику та підхід для того, щоб розрахувати дальність бездротового з'єднання.

У [4, 5] розглянуто фактори, які впливають на зону покриття бездротової мережі: міститься інформація про такі фактори, як: стандарти Wi-Fi, кількість і потужність встановлених антен.

В [6] розглянуто дослідження технологій MIMO в межах стандарту 802.11; проаналізовані основні напрями та характеристики цієї технології, частоти, швидкості та інших параметрів передачі даних цього стандарту.

Робота [7] заснована на вивченні та огляді функцій Wi-Fi 6, а також аналізі інструментів моделювання, які можна використати для впровадження стандарту 802.11ax. Також було розроблено симуляцію за допомогою NS-3 для вимірювання впливу схем модуляції та кодування на швидкість пропускання.

У роботі [8] було оглянуто стандарти та технології Wi-Fi, загальні принципи організації публічних мереж Wi-Fi, організація антенно-фідерного тракту публічної мережі Wi-Fi та розрахунок моделювання покриття публічної мережі Wi-Fi.

На ресурсі [9] маємо щорічний глобальний звіт CISCO про впровадження інтернету, пристроїв та підключень, зростання мобільності, продуктивність глобальної мережі, імпульс Wi-Fi, аналіз безпеки тощо.

Діапазон частот нового стандарту Wi-Fi, хоча й має гарні показники стабільності, швидкості та пропускної здатності каналу в доволі короткому радіусі, а на більш дальніх дистанціях та за умов наявності перешкод він мінімум в 2 рази зменшує ефективну площу розповсюдження радіосигналу порівняно із старшим стандартом. Тому для побудови мережі на новішому стандарті слід враховувати властивості та можливості загасання цього радіосигналу.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Дослідження проводилося у програмному забезпеченні RadioPlanner 1.0. Було спроектовано декілька квартир, задано необхідні параметри перешкодам та точкам доступу (Wi-Fi).

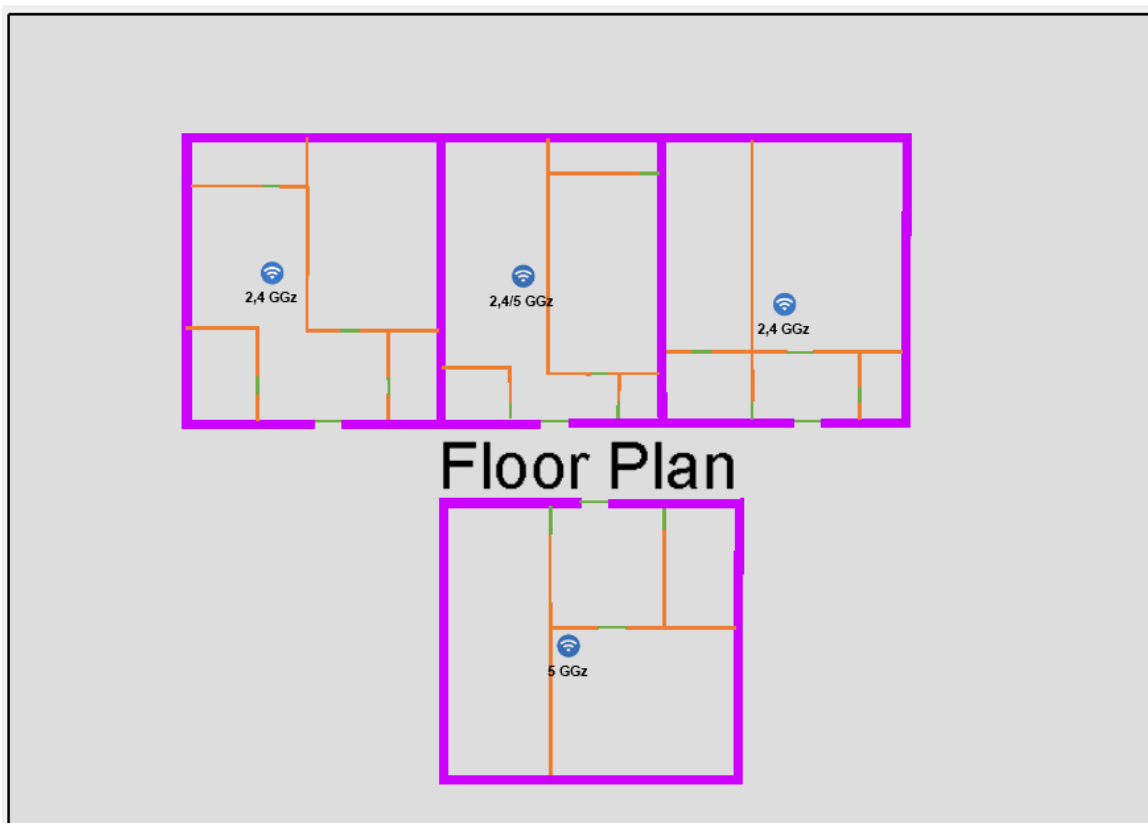


Рис. 1. План приміщення, спроектований в ПЗ

План приміщення з внутрішніми цегляними стінами 120 мм і дерев'яними дверима та зовнішніми стінами 300 мм з металевими дверима. Назви всіх точок доступу відповідають діапазнам, на яких вони працюють (2412 МГц та 5180 МГц), знаходяться на висоті 1 м від підлоги, висота антени 0,2 м, потужність передавача – 20 dBm, посилення антени – 5 dBi та всі мають кругову діаграму спрямованості.

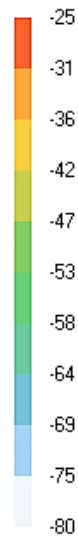


Рис. 2. Шкала рівня сигналу в dBm

На відстані від точки доступу 6 м в приміщенні без перешкод рівень сигналу становить -39 dBm (рис. 3).

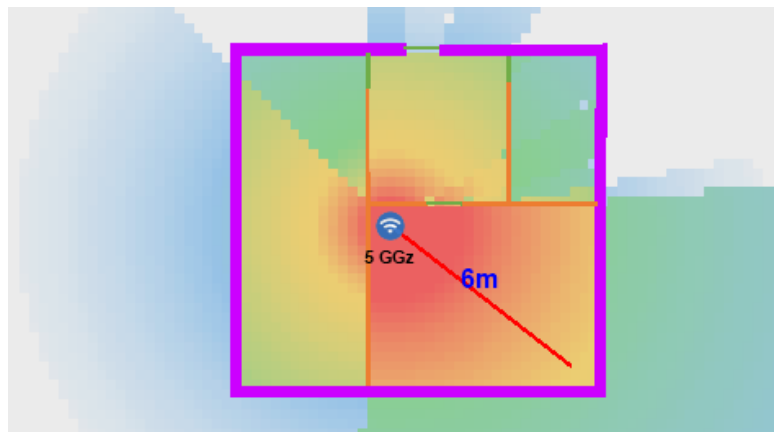


Рис. 3. Розрахована та змодельована зона розповсюдження радіосигналу в діапазоні 5 ГГц

На відстані 2 метри з перешкодою в 1 цегляну стіну 150 мм рівень сигналу склав -42 dBm (рис. 4).

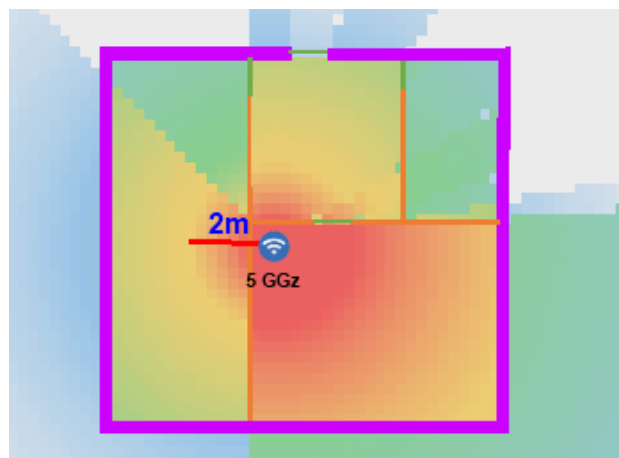


Рис. 4. Змодельована зона розповсюдження радіосигналу в діапазоні 5 ГГц

На відстані 4,5 метри з перешкодою в 1 цегляну стіну 150 мм та 1 бетонну стіну 300 мм рівень сигналу склав -72 dBm (рис. 5).

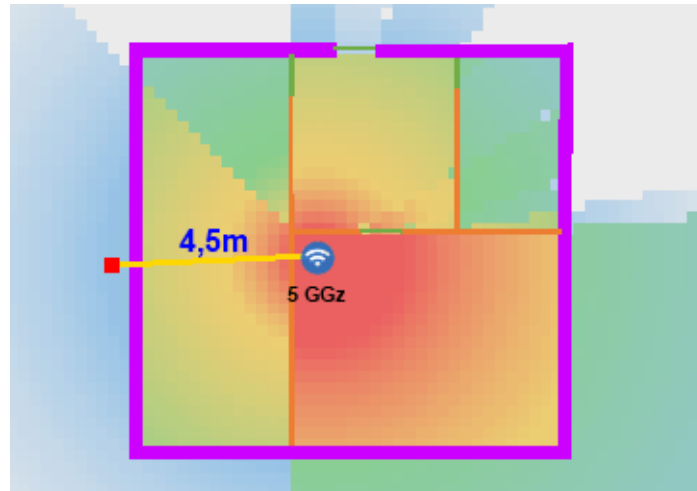


Рис. 5. Змодельована зона розповсюдження радіосигналу в діапазоні 5 ГГц

Через 2 цегляні та 1 бетонну стіну на відстані 6,5 м сигнал взагалі не проходить (рис. 6).

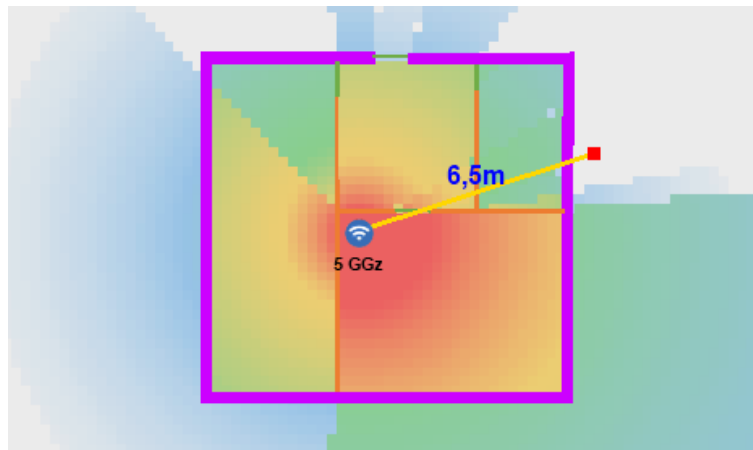


Рис. 6. Змодельована зона розповсюдження радіосигналу в діапазоні 5 ГГц

На рисунку 7 можемо побачити, що радіопростір в діапазоні 2,4 ГГц досить завадостійкий та це засмічує радіоефір на відміну від 5 ГГц.

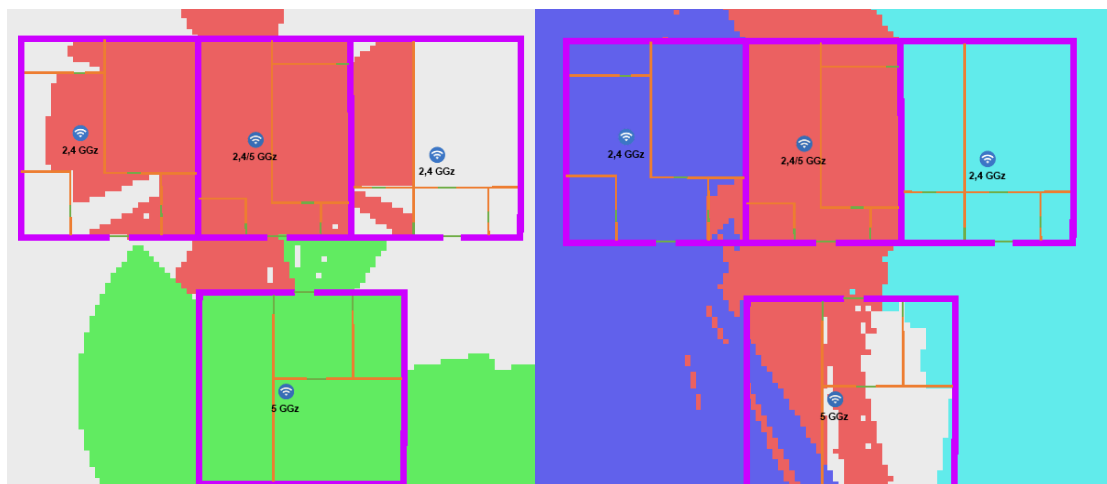


Рис. 7. Змодельовані зони найкращого рівня сигналів в двох діапазонах частот – 5 ГГц та 2,4 ГГц відповідно

**Розрахунки.** Наведемо формулу розрахунку відстані, взятої з формули розрахунку втрат у вільному просторі [10]:

- FSL (Free Space Loss) – втрати у вільному просторі (dB);
- $F$  – центральна частота каналу, на якому працює система зв'язку (МГц);
- $D$  – відстань між двома точками (км).

FSL визначається сумарним підсиленням системи:

$$Y_{dB} = P_{t,dBmW} + G_{t,dBi} + G_{r,dBi} - P_{min,dBmW} - L_{t,dB} - L_{r,dB}, \quad (1)$$

де  $P_{t,dBmW}$  – потужність передавача;  $G_{t,dBi}$  – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$G_{r,dBi}$  – коефіцієнт підсилення приймальної антени;

$P_{min,dBmW}$  – чутливість приймача на цій швидкості;

$L_{t,dB}$  – втрати сигналу в коаксіальному кабелі та роз'ємах передавального тракту;

$L_{r,dB}$  – втрати сигналу в коаксіальному кабелі та роз'ємах приймального тракту.

Розрахунок не враховує дифракцію і розсіювання радіохвиль на перешкодах, які знаходяться поблизу від сигнального шляху. Визначить, який простір слід звільнити навколо уявної осі між антенами, можна за допомогою обчислення зон Френеля.

Радіохвилі, в процесі поширення в просторі, займають об'єм у вигляді еліпсоїдного обертання з максимальним радіусом всередині прольоту, який називається зоною Френеля. Природні (земля, пагорби, дерева) і штучні (будівлі, стовпи) перешкоди, що надходять в цей простір, послаблюють сигнал [2, 8].

Радіус першої зони Френеля над бар'єром [2]:

$$R = 17,3 \cdot \sqrt{\frac{SD}{S+D} \cdot \frac{1}{f}}, \quad (2)$$

де  $R$  – радіус зони Френеля (м);

$f$  – частота (ГГц);

$S, D$  – відстань від антен до найвищої точки запропонованої перешкоди (км).

Такий розрахунок зроблений з припущенням, що поверхня рівна (при цьому не враховується викривлення земної поверхні). Втрати у вільному просторі [11]:

$$FSL = Y_{dB} - SOM, \quad (3)$$

де  $SOM$  (System Operating Margin) є запасом в енергетиці радіозв'язку (дБ).

Опцію  $SOM$  зазвичай приймають за 10dB. Вважається, що 10-децибелний запас для посилення достатній для інженерного розрахунку.

Діапазон зв'язку [11]:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right)}. \quad (4)$$

Використовуючи всі перераховані вище дані, можна розрахувати діапазон сигналу Wi-Fi. Зі специфікацій на точку доступу потрібні дані, а саме потужність – 20 mW, чутливість приймача – (-65 dBm) та параметр «Коефіцієнт підсилення антени», який буде становити 5 dBm.

$SOM$  (енергетичний резерв) приймається зазвичай стандартно від 10 до 20 dB.

Центральна частота каналу  $F$  взята з таблиці розрахунку центральної частоти каналу, яку можна знайти в інтернеті [8].

Переведемо потужність точки доступу з mW в dBm:

$$20 \text{ mW} = 13 \text{ dBm}.$$

Розрахуємо  $FSL$  (Free Space Loss) – втрата у вільному просторі (dB) [10]:

$$\begin{aligned} Y_{dB} &= P_{t,dBmW} + G_{t,dBi} + G_{r,dBi} - P_{min,dBmW} - L_{t,dB} - L_{r,dB} \\ &= 13 + 5 + 5 - 65 - 4 - 4 = -50; \end{aligned} \quad (5)$$

$$FSL = Y_{dB} - SOM = -50 - 20 = -70.$$

Розрахуємо діапазон зв'язку [11]:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right)} = 10^{\left(\frac{70}{20} - \frac{33}{20} - \lg 5180\right)} = 13 \text{ м}. \quad (6)$$

До узагальненої моделі середовища поширення радіохвиль:

$$L_{total} = L(d_0) + N \log_{10} \frac{d}{d_0} + L_f(n) \text{ dB}, \quad (7)$$

належать лише два параметри  $N$  та  $L_f$ :

де  $N$  – дистанційний коефіцієнт втрати потужності (параметр середовища розповсюдження), що показує, наскільки падає рівень сигналу в dB при зміні відстані від джерела сигналу вдасятеро. На практиці зазвичай використовують коефіцієнт втрат  $N/10$ , що у діапазоні 2,5–4,5;

$L_f, \text{ dB}$  – втрати за рахунок проходження сигналу через стіни (підлогу), які знаходяться між точкою доступу та абонентським терміналом.

Виходячи з наших обрахунків та проведених дослідів у спеціалізованому ПЗ, ми змогли вивести таблицю загасання сигналу (табл. 2) з даними, які є максимально приближеними до реальних, але в яких не було враховано вплив інших джерел радіосигналу з такою ж частотою (не враховане можливе накладання частот).

Втрати рівня сигналу в dB для різних типів стін та для різних діапазонів радіочастот

Type	Loss, dB 2400 MHz	Loss, dB 5000 MHz
Interior hollow wall 50mm (2»)	1	2
Interior hollow wall 100 mm (4»)	3	5
Interior hollow wall 150 mm (6»)	4	9
Brick wall 90 mm (3,5»)	6	10
Brick wall 120 mm (5»)	8	13
Brick wall 250 mm (10»)	10	25
Brick wall 380 mm (15»)	15	30
Brick wall 510 mm (20»)	20	37
Concrete wall 100 mm (4»)	6	10
Concrete wall 200 mm (8»)	10	13
Concrete wall 300 mm (12»)	14	22
Concrete wall 400 mm (16»)	18	30
Concrete wall 500 mm (20»)	25	37
Aerated concrete wall 100 mm (4»)	4	7
Aerated concrete wall 200 mm (8»)	7	9
Aerated concrete wall 300 mm (12»)	10	15
Aerated concrete wall 400 mm (16»)	13	21
Aerated concrete wall 500 mm (20»)	18	26
Hollow wood door	4	7
Solid wood door	6	10
Steel door	13	25
Window single pane	3	6
Window double pane	7	13
Window triple pane	13	20

**Висновки.** Підводячи підсумки, можемо сказати, що при побудові Wi-Fi мережі слід звертати увагу не тільки на засміченість радіоефіру, але й на такі перешкоди, як товщина та кількість стін чи дверей для більш правильного вибору апаратури та його грамотного розташування в межах своїх володінь. Також треба враховувати кут між точкою доступу та абонентським терміналом.

#### Список використаної літератури:

1. IEEE 802.11ax // Wikipedia [Electronic resource]. – Access mode : [https://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11ax](https://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ax).
2. Дослідження затухання WI-FI сигналу на частоті 2,4ГГц [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://surl.li/gpxyb>.
3. Рівень Wi-Fi сигналу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://jak.koshachek.com/articles/riven-wi-fi-signalu-prijnjato-virazhati-v.html>.
4. Вплив на бездротову мережу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968709>.
5. Зони покриття бездротової мережі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://jak.koshachek.com/articles/shho-robiti-jakshho-pogano-lovit-signal-wi-fi.html>.
6. Дослідження технології MIMO Інтернет ресурс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/9C21647E-0D03-469A-B0E3-72E7B11B9C2D.pdf>.
7. Understanding the Key Features of Wi-Fi 6 and Exploring the Effect of Modulation Scheme on Throughput Rate [Electronic resource]. – Access mode : <http://surl.li/gqkpe>.
8. Особливості реалізації бездротових мереж Wi-Fi у громадських місцях [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ames.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/07/DYPLOM-Korzh-V.V.-DV-p71-ver3.pdf>.
9. Cisco Annual Internet Report (2018–2023) [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.
10. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети. – Пер. с англ. / В. Столлингс. – Издательский дом «Вильямс», 2011.
11. Розрахунок зони дії сигналу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://studbooks.net/2117282/informatika/raschet\\_zony\\_deystviya\\_signala](https://studbooks.net/2117282/informatika/raschet_zony_deystviya_signala).

**References:**

1. «IEEE 802.11ax», *Wikipedia*, [Online], available at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11ax](https://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ax)
2. *Doslidzhennia zatukhannia WI-FI syhnalu na chastoti 2,4GHz*, [Online], available at: <http://surl.li/gpxyb>
3. *Riven Wi-Fi syhnalu*, [Online], available at: <https://jak.koshachek.com/articles/riven-wi-fi-signalu-prijnjato-virazhati-v.html>
4. *Vplyv na bezdrotovu merezhu*, [Online], available at: <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968709>
5. *Zony pokryttia bezdrotovoi merezhi*, [Online], available at: <https://jak.koshachek.com/articles/shho-robiti-jakshho-pogano-lovit-signal-wi-fi.html>
6. *Doslidzhennia tekhnologii MIMO Internet resurs*, [Online], available at: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/9C21647E-0D03-469A-B0E3-72E7B11B9C2D.pdf>
7. *Understanding the Key Features of Wi-Fi 6 and Exploring the Effect of Modulation Scheme on Throughput Rate*, [Online], available at: <http://surl.li/gqkpe>
8. *Osoblyvosti realizatsii bezdrotovykh merezh Wi-Fi u hromadskykh mistsiakh*, [Online], available at: <https://ames.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/07/DYPLOM-Korzh-V.V.-DV-p71-ver3.pdf>
9. *Cisco Annual Internet Report (2018–2023)*, [Online], available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
10. Stollings, V. (2011), *Besprovodnye linii svyazi i seti*, per. s angl., Izdatel'skij dom «Vil'jamc».
11. *Rozrakhunok zony dii syhnalu*, [Online], available at: [https://studbooks.net/2117282/informatika/raschet\\_zony\\_deystviya\\_signala](https://studbooks.net/2117282/informatika/raschet_zony_deystviya_signala)

**Ганін** Олексій Ігорович – магістр кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

– радіосистеми передачі інформації.

E-mail: banner.fun228@gmail.com.

**Ципоренко** Валентин Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-6843-8960>.

Наукові інтереси:

– радіомоніторинг;

– цифрова обробка сигналів.

E-mail: tsyporenkovg@gmail.com.

**Hanin O.I., Tsyporenko V.H.**

**Study of attenuation of Wi-Fi signals in the 5 GHz frequency range**

Accumulation of the 2,4 GHz frequency range, which noticeably leads to a decrease in the quality of operation of Wi-Fi routers, is an urgent problem. This forces to find alternatives and the best of many is the transition to a new radio frequency range – 5 GHz.

The article examines the study of the dependence of signal levels when crossing obstacles of various types in the 5 GHz frequency range, which is relevant for the construction of Wi-Fi networks in places where there is an existing overlap of many radio signals of the 2,4 GHz standard

**Keywords:** signal; radio wave; frequency range; interference; overlapping of signals; radio air.

Стаття надійшла до редакції 07.03.2023.