

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.391.8

DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-1/08>

Михалевський Д.В.

Вінницький національний технічний університет

Городецька О.С.

Вінницький національний технічний університет

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ АРХІТЕКТУРНИХ ПЕРЕШКОД НА ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ БЕЗПРОВІДНОГО КАНАЛУ СТАНДАРТУ 802.11

Головною структурною одиницею мереж стандарту 802.11 є безпроводний канал. На його характеристики впливає велика кількість дестабілізуючих факторів. Найбільш вагомими із них можна виділити інтерференційні та шумові завади, архітектурні перешкоди, багатопроменеве поширення хвиль, чутливість приймача та інші. Найбільш достовірним способом оцінювання таких факторів є створення емпіричних моделей, які б дозволили розширити можливості технічної діагностики безпроводних мереж стандарту 802.11 на етапах проектування та під час підключення до мереж нових пристроїв.

У роботі запропоновано емпіричну модель оцінювання впливу архітектурних перешкод на основні параметрів безпроводного каналу стандарту 802.11 на базі енергетичного та інформаційного коефіцієнтів ефективності каналу. Модель є справедливою для коротких каналів із довжиною до 16 м та є незалежною від ефекту багатопроменевого поширення хвиль, що вносять об'єкти у приміщенні. На відміну від наявних досліджень, така модель враховує коефіцієнти затухання та послаблення, що дає можливість враховувати густину, товщину або кількість перешкод, та їх вплив на багатопроменеве поширення хвиль. Але для підвищення достовірності оцінювання із використанням запропонованої моделі необхідно проведення значної кількості емпіричних досліджень та створення бази коефіцієнтів, що є незначним недоліком.

Дослідження отриманої моделі показало, що високий рівень адекватності можна отримати на основі емпіричних досліджень із отриманням еталонних регресійних моделей діагностичних параметрів, які можна отримати для прямої видимості між передавачем та приймачем із виключенням дії дестабілізуючих факторів. Крім того, було встановлено, що застосування тільки коефіцієнта послаблення сигналу під час оцінюванні впливу архітектурних перешкод, може привести до виникнення значної похибки.

Отримана модель може використовуватись як розширення моделі каналу на базі енергетичного та інформаційного коефіцієнтів ефективності для підвищення достовірності оцінювання діагностичних параметрів під час технічної діагностики безпроводних каналів стандарту 802.11.

Ключові слова: безпроводний канал, стандарт 802.11, ефективна швидкість передачі інформації, потужність сигналу, архітектурні перешкоди.

Постановка проблеми. Як відомо [1], через стрімкий ріст кількості мобільних пристроїв біля 70% трафіку генерується у закритому середовищі будинків, офісів, торгових центрів тощо. Це своєю чергою висуває ряд вимог під час створення достатнього покриття мережі з метою забезпечення високої пропускну здатності для кожного абонентського та службового пристрою. Одним із рішень такої задачі є застосування технології стандарту 802.11, що характеризуються відносною простотою та можливістю створення високо-

продуктивних каналів. Але під час проектування таких мереж виникає ряд проблем, що передусім пов'язані із низьким рівнем сигналу та складними умовами його розповсюдження. Цьому сприяє велика кількість дестабілізуючих факторів, до яких можна віднести інтерференційні та шумові завади, архітектурні перешкоди, багатопроменеве поширення хвиль, чутливість приймача тощо. Такі фактори досить погано піддаються теоретичному узагальненню через велику кількість параметрів, які динамічно змінюються. З погляду технічної

діагностики безпровідних каналів стандарту 802.11 у роботах [2–4] розроблені моделі, де такі дестабілізуючі фактори враховуються в комплексі під час оцінювання ефективної швидкості передачі інформації та потужності сигналу на вході приймача. Але не всі дестабілізуючі фактори можуть бути присутніми в каналі, і багато з них можуть мати випадковий характер та можуть виникати у майбутньому, що потребує наявності механізму прогнозування їх впливу. Це є актуальним під час операцій технічної діагностики на етапах проектування та експлуатації мереж. Достовірність діагностики каналів буде залежати від ступеня адекватності моделей оцінювання діагностичних параметрів каналу та моделей оцінювання впливу дестабілізуючих факторів.

Постановка завдання. Одним із вагомих дестабілізуючих факторів, що має значний вплив на енергетичний та інформаційний параметри безпровідного каналу 802.11, є архітектурні перешкоди. Такі перешкоди присутні у всіх приміщеннях, створюють затухання на шляху поширення сигналу та створюють відбиваючі поверхні, де виникає ефект багатопроменевого поширення хвиль. Дослідження впливу таких перешкод на рівень сигналу можна виділити у роботах [1; 5–6]. Тут проводились дослідження коефіцієнту послаблення сигналу для різних матеріалів, в результаті чого встановлено, що найбільше поглинання сигналу мають бетон, метал, кераміка та дерево. Якщо проаналізувати результати у роботах [7–8], то можна дійти висновку, що різного роду перешкоди мають вплив і на коефіцієнт затухання сигналу. Таким чином, вплив архітектурних перешкод буде оцінюватись коефіцієнтами затухання та послаблення сигналу. Тоді для отримання моделі впливу архітектурних перешкод необхідно знайти статистичний зв'язок між діагностичними параметрами та параметрами архітектурної перешкоди.

До головних діагностичних параметрів можна віднести ефективну швидкість передачі інформації V_d та потужність сигналу на вході приймача P_d . Тоді, використовуючи енергетичний та інформаційний коефіцієнт ефективності [4] та виконуючи аналіз робіт [7–8], можна запропонувати модель безпровідного каналу стандарту 802.11, яка враховує дію дестабілізуючих факторів на основні параметрів. Зтаку модель можна записати так:

$$K_P = \frac{V_d(l)}{P_d(l)} \cdot \prod_{i=1}^k \frac{K_i^V}{K_i^P}, \quad (1)$$

$$K_V = \frac{V_d(l)}{V_{pl}} \cdot \prod_{i=1}^g K_i^V,$$

де $V_d(l)$ – модель оцінювання ефективної швидкості передачі інформації із урахуванням довжини каналу; $P_d(l)$ – модель оцінювання потужності сигналу на вході приймача з урахуванням довжини каналу; K_i^P – коефіцієнт впливу k -го енергетичного дестабілізуючого фактору на потужність сигналу на вході приймача; k – кількість енергетичних дестабілізуючих факторів; K_i^V – коефіцієнт впливу g -го інформаційного дестабілізуючого фактору на ефективну швидкість передачі інформації; g – кількість інформаційних дестабілізуючих факторів.

Достовірність оцінювання за такою моделлю залежить від достовірності оцінювання діагностичних параметрів та рівня адекватності коефіцієнтів впливу фізичним процесам у середовищі передачі. Високий рівень адекватності коефіцієнтів впливу можна отримати на основі емпіричних досліджень із отриманням еталонних регресійних моделей діагностичних параметрів, що можна отримати для прямої видимості між передавачем та приймачем із виключенням дії дестабілізуючих факторів [7–8]. Тоді, враховуючи архітектурні перешкоди як дестабілізуючий фактор, що діє на основні параметри безпровідного каналу, вирази коефіцієнтів впливу можна записати так:

$$K_{an}^P = \frac{P_d^{an}(l)}{P_d^e(l)}, \quad K_{an}^V = \frac{V_d^{an}(l)}{V_d^e(l)}, \quad (2)$$

де $P_d^{an}(l)$ і $V_d^{an}(l)$ – регресійні моделі оцінки потужності сигналу на вході приймача та ефективної швидкості передачі інформації із урахуванням архітектурної перешкоди; $P_d^e(l)$ і $V_d^e(l)$ – еталонні регресійні моделі оцінки потужності сигналу на вході приймача та ефективної швидкості передачі інформації без перешкод.

Найчастіше, архітектурні перешкоди створюються перекриттям між поверхами та стінами приміщень з урахуванням вікон та дверей. Додатковими перешкодами можуть бути наявність різного роду об'єктів у приміщенні, що створюють додаткові відбиваючі поверхні. Кожна архітектурна перешкода характеризується густиною матеріалу, що в найбільш поширених випадках є деревиною, цеглою та бетонними конструкціями (із наявністю металу). Відповідно, товщина таких перешкод та їх кількість, що можуть знаходитись між ТД та абонентським приймачем, будуть впливати на ефективність безпровідного каналу. Тому, враховуючи аналіз наявних досліджень та особливості поширення сигналу за наявності архітектурної перешкоди, знаходження моделі коефіцієнтів впливу із виразу (2) є основним завданням для підвищення достовірності та розширення можли-

востей технічної діагностики безпровідних каналів стандарту 802.11.

Метою статті є знаходження моделі оцінювання коефіцієнтів впливу архітектурних перешкод на основні діагностичні параметри безпровідного каналу стандарту 802.11 на базі емпіричних досліджень.

Виклад основного матеріалу досліджень. Емпіричні дослідження проводились на базі безпровідної мережі, яку було створено на основі точки доступу (ТД) та абонентського пристрою (АП), що підтримують стандарти 802.11n та 802.11ac. Схему мережі наведено на рис. 1.

Дослідження виконувались у приміщенні, де довжина каналу l між передавачем та приймачем могла досягати 16 метрів. Між ТД та АП можна вносити дві архітектурні перешкоди на відстані 3 м та 6 м від ТД. Використовувались два найбільш поширені типи перешкод: дерево як перший тип та цегла як другий.

Для систематизації отриманих результатів виконувалось усереднення результатів та введено такі види позначень досліджуваних випадків для графіків: 1 – пряма видимість між передавачем та приймачем без перешкод; 2 – в середовищі передачі є перешкода першого типу; 3 – в середовищі передачі є дві перешкоди першого типу; 4 – в середовищі передачі є одна перешкода другого типу; 5 – в середовищі передачі є дві перешкоди другого типу.

Для мінімізації впливу інших дестабілізуючих факторів у приміщенні були відсутні шумові та інтерференційні завади.

Розробка емпіричної моделі впливу архітектурних перешкод

Вплив архітектурної перешкоди можна розділити на два складники: поглинання енергії сигналу та коефіцієнт відбиття сигналу від поверхні перешкоди. Рівень цих складників залежить від густини матеріалу та його товщини або кількості перешкод у каналі. Тому є доцільним провести дослідження для двох параметрів P_d та V_d окремо.

Спершу визначимо моделі регресії діагностичних параметрів із експериментальних даних. Розглянемо отримані результати для найбільш поширених стандартів 802.11n (із смугами каналу 20 МГц і 40 МГц, частотного діапазону 2,4 ГГц) та 802.11ac (із смугами 40 МГц та 80 МГц), обмежуючись короткими каналами до 16 м. Враховуючи [2–3], результати досліджень потужності сигналу на вході приймача можна представити як на рис. 2.

Якщо брати до уваги приміщення як умову для функціонування мережі, то еталонна модель буде включати дію фактору багатопроменевого поширення хвиль, що показує наявність максимумів та мінімумів на характеристиках, які можна враховувати інтервалом флуктуацій [7–8]. Відхилення максимумів та мінімумів для прямої видимості є мінімальним на відміну від випадків із внесеними перешкодами. Внесення архітектурних

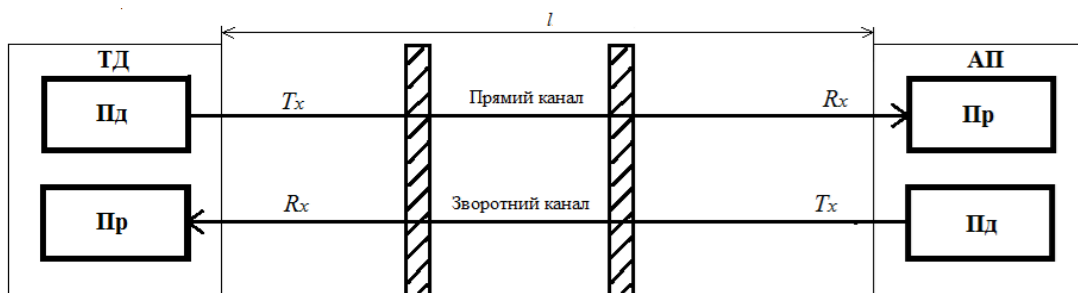


Рис. 1. Структура мережі для дослідження параметрів каналу

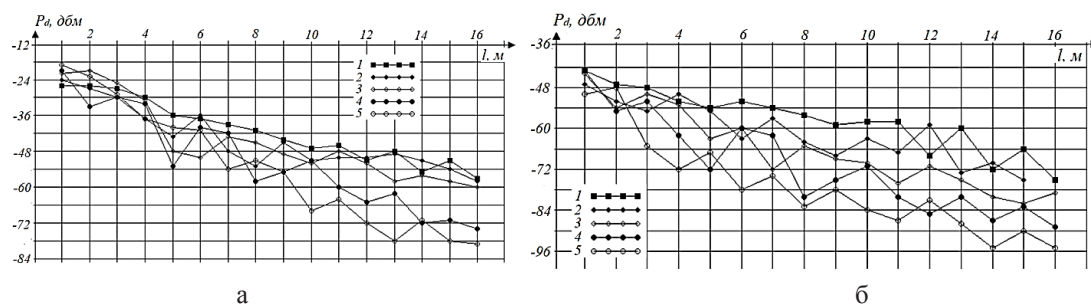


Рис. 2. Залежність потужності сигналу від довжини каналу для: а – частотного діапазону 2,4 ГГц; б – для частотного діапазону 5 ГГц

перешкод додає відбиваючі поверхні, збільшуючи фактор впливу багатопроменевого поширення, та вносить додатковий коефіцієнт згасання. Але, використовуючи усереднення та можливість застосування інтервалу флуктуацій у загальній моделі каналу стандарту 802.11 [2–4; 7–8], можна вважати, що під час оцінювання впливу перешкод флуктуації взаємокомпенсуються.

Якщо застосувати регресійний аналіз до отриманих результатів, то можна отримати квадратичну або, у разі значних згасань, логарифмічну модель, що є справедливим під час оцінювання параметрів окремого каналу, але без урахування положення перешкоди. В цьому разі нас цікавить модель, що повинна враховувати коефіцієнт згасання та коефіцієнт послаблення саме архітектурної перешкоди. Тому, враховуючи короткий канал, застосуємо лінійну регресію для всіх випадків результатів вимірювання після перешкоди. Тоді модель згасання сигналу, що створює архітектурна перешкода, запишеться так:

рифмічну модель, що є справедливим під час оцінювання параметрів окремого каналу, але без урахування положення перешкоди. В цьому разі нас цікавить модель, що повинна враховувати коефіцієнт згасання та коефіцієнт послаблення саме архітектурної перешкоди. Тому, враховуючи короткий канал, застосуємо лінійну регресію для всіх випадків результатів вимірювання після перешкоди. Тоді модель згасання сигналу, що створює архітектурна перешкода, запишеться так:

Таблиця 1

Коефіцієнти лінійної регресії $P_d(l)$

| Коеф. | 2,4 ГГц | | | | | 5 ГГц | | | | |
|-------|---------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| a | -2 | -2,1 | -2,2 | -2,5 | -2,8 | -1,6 | -1,7 | -1,9 | -2,1 | -2,4 |
| P_0 | -24 | -27 | -28 | -32 | -36 | -44 | -46 | -50 | -54 | -58 |

Таблиця 2

Коефіцієнти лінійної регресії для $V_d(l)$

| Коеф. | 802.11n 20 МГц | | | | | 802.11n 40 МГц | | | | |
|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| b | -0,08 | -0,09 | -0,12 | -0,09 | -0,12 | -0,32 | -0,32 | -0,35 | -0,32 | -0,35 |
| V_0 | 6 | 6 | 5 | 4,8 | 3,8 | 14,8 | 14,3 | 13 | 11,5 | 8,5 |
| Коеф. | 802.11ac 40 МГц | | | | | 802.11ac 80 МГц | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| b | -0,3 | -0,35 | -0,4 | -0,42 | -0,5 | -0,45 | -0,46 | -0,5 | -0,46 | -0,7 |
| V_0 | 17,2 | 16,5 | 12 | 12 | 9 | 25 | 25 | 21 | 18 | 16 |

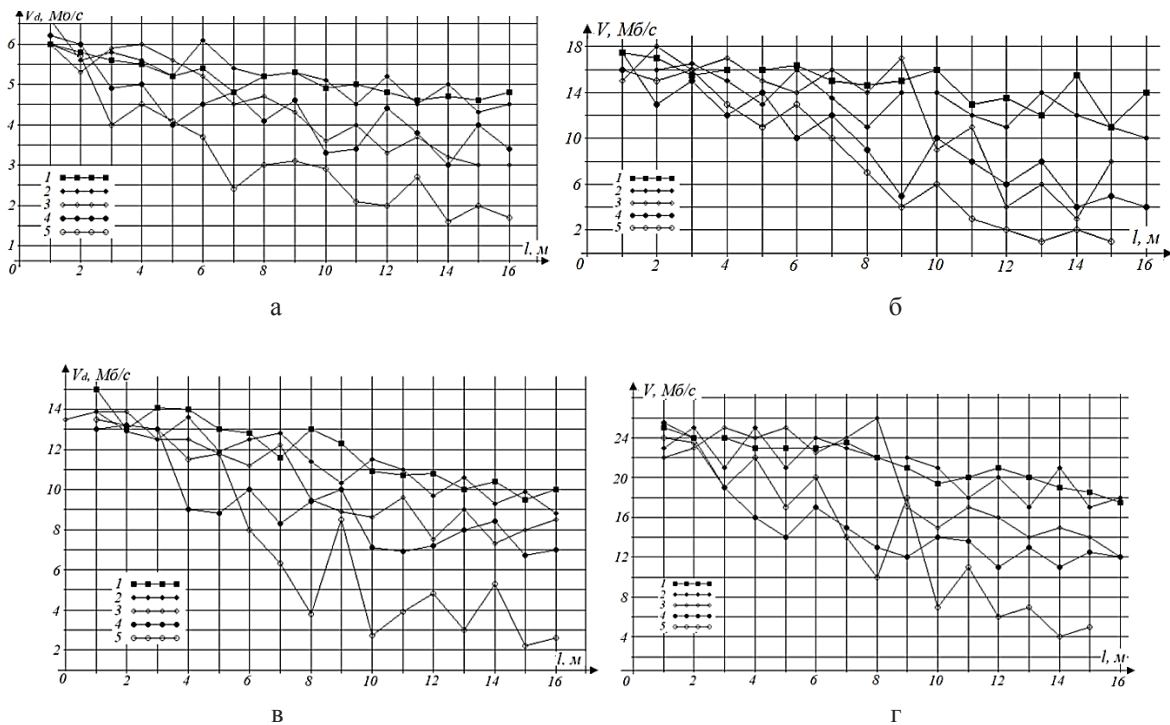


Рис. 3. Залежність ефективної швидкості передачі інформації від довжини каналу для: а – стандарту 802.11n 20 МГц; б – стандарту 802.11ac 40 МГц; в – стандарту 802.11n 40 МГц; г – стандарту 802.11ac 80 МГц

$$P_d(l) = al + P_0, \quad (3)$$

де a – коефіцієнт затухання сигналу; P_0 – початковий рівень, що для моделей регресії після перешкод є коефіцієнтом послаблення сигналу перешкодою.

Урахування частотного діапазону та типу архітектурних перешкод можна визначити на основі коефіцієнтів виразу (3). Наближені значення коефіцієнтів наведено у таблиці 1.

Як видно із отриманих результатів, матеріал та товщина перешкоди впливає як на затухання сигналу, так і на його послаблення безпосередньо після перешкоди.

Аналогічно розглянемо отримані результати досліджень для ефективної швидкості передачі інформації, які наведено на рис. 3.

Аналогічно до параметра P_d , модель регресії для ефективної швидкості передачі інформації можна записати так:

$$V_d(l) = bl + V_0, \quad (4)$$

де b – коефіцієнт затухання для параметра V_d ; V_0 – початковий рівень або коефіцієнт послаблення V_d .

Наближені значення коефіцієнтів виразу (4) для безпровідних каналів стандартів, що досліджуються, наведено у таблиці 2.

Припускаючи, що випадок 1 є результатом отримання еталонних моделей $P_d^e(l)$ і $V_d^e(l)$, та підставляючи вирази (3) та (4) у (2) й урахуваючи коефіцієнти лінійної регресії у таблиці 1 та таблиці 2, отримуємо загальну емпіричну модель

оцінювання впливу архітектурних завод, які можна записати так:

$$K_{an}^P = \begin{cases} \frac{a_n l - P_0^n}{-2l - 24}, & K_{an}^V = \begin{cases} \frac{b_n l - V_0^n}{-0,08l + 6}, & \text{для } 802.11n \text{ } 20\text{МГц}; \\ \frac{b_n l - V_0^n}{-0,32l + 4,8}, & \text{для } 802.11n \text{ } 40\text{МГц}; \end{cases} \\ \frac{a_n l - P_0^n}{-1,6l - 44}, & K_{an}^V = \begin{cases} \frac{b_n l - V_0^n}{-0,3l + 17,2}, & \text{для } 802.11ac \text{ } 40\text{МГц}; \\ \frac{b_n l - V_0^n}{-0,45l + 25}, & \text{для } 802.11ac \text{ } 80\text{МГц}; \end{cases} \end{cases}$$

де n – номер випадку для оцінювання архітектурних перешкод.

Розроблена модель дає можливість оцінювати вплив архітектурних перешкод на основні параметри каналу стандарту 802.11 або на показники ефективності, застосовуючи модель (1). Модель є справедливою для коротких каналів із довжиною до 16 м та є незалежною від ефекту багатопроменевого поширення хвиль, що вносять об'єкти у приміщенні. На відміну від наявних досліджень, така модель враховує коефіцієнти затухання та послаблення, що дає можливість враховувати густину, товщину або кількість перешкод та їх вплив на багатопроменеве поширення хвиль. Але для підвищення достовірності оцінювання необхідно проведення значної кількості емпіричних досліджень та створення бази коефіцієнтів, що є недоліком.

Як приклад можна навести моделювання для стандарту 802.11n 40 МГц. Результати моделювання коефіцієнтів впливу наведено на рис. 4.

Як видно із результатів моделювання на рис. 4, енергетичний коефіцієнт впливу архітектур-

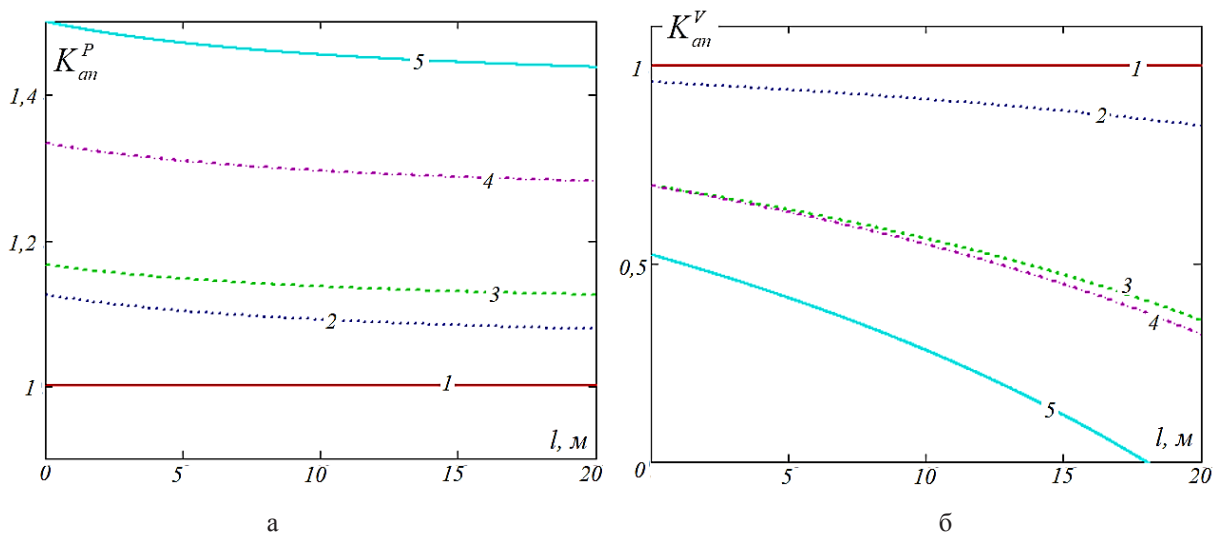


Рис. 4. Залежність коефіцієнтів впливу архітектурних перешкод від довжини каналу: а – енергетичного; б – інформаційного

них перешкод на параметр P_d характеризується низьким коефіцієнтом затухання та здебільшого може оцінюватись як коефіцієнт послаблення. Інформаційний коефіцієнт впливу має значну залежність від коефіцієнта затухання, що пояснюється значним збільшенням кількості помилок у кадрах та кількістю циклів повторної передачі після перешкоди.

Висновки. В роботі запропоновано модель для оцінювання впливу архітектурних перешкод на основні діагностичні параметри безпроводного

каналу стандарту 802.11 на базі емпіричних досліджень, яка може використовуватись для операції технічної діагностики на етапах проектування та експлуатації мереж. Отримана модель ураховує коефіцієнти затухання та послаблення основних діагностичних параметрів. Крім того, було встановлено, що застосування тільки коефіцієнта послаблення сигналу під час оцінювання впливу архітектурних перешкод може привести до виникнення значної похибки.

Список літератури:

1. Hesham A. E. F. S., Lamiaa F. I., Zaki F., Ghadah A. A. Using Clustering Techniques to Plan Indoor Femtocells Layout in the Presence of Obstacles. World Symposium on Computer Applications & Research (WSCAR' 2017), At Istanbul, Turkey, pp. 1–6. 2017.
2. D. Mykhalevskiy, N. Vasylykivskiy, O. Horodetska. Development of a mathematical model for estimating signal strength at the input of the 802.11 standard receiver. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, № 4/9 (88), pp. 38–43. 2017. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.
3. 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. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, № 6/9 (96), pp. 16–21. 2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150983.
4. Mykhalevskiy, D. V., Kychak V. M. Development of information models for increasing the efficiency of evaluating wireless channel parameters of 802.11 standard. *Latvian journal of physics and technical sciences*, № 2, pp. 41–51. 2019. DOI: 10.2478/lpts-2019-0009.
5. Suherman N.M., Romulo S.S., Prayitno H. Wifi-friendly building, enabling wifi signal indoor: an initial study. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. V. 126, pp. 1–5. 2018. doi:10.1088/1755-1315/126/1/012022.
6. Adeniran A.O., Ajao S.O., Obot S.E. Experimental Determination of Wireless Attenuation Loss of Some Nigerian Roofing and Ceiling Materials. *Innovation: International Journal of Applied*, V. 4, I. 1, pp. 32–38. 2016. DOI: 10.22214/ijraset.2019.4478.
7. Mykhalevskiy D.V. 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. DOI: 10.2478/lpts-2019-0004.
8. 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 (JMERRD)*, № 42(2), pp. 50–57. 2019. Doi: 10.26480/jmerd.02.2019.50.57.

Mykhalevskiy D.V., Horodetska O.S. DEVELOPMENT OF A MODEL FOR ASSESSING THE IMPACT OF ARCHITECTURAL OBSTACLES ON THE BASIC PARAMETERS OF THE WIRELESS CHANNEL OF 802.11 STANDARD

The main structural unit of 802.11 networks is the wireless channel. Its characteristics are influenced by a large number of destabilizing factors. The most important of them are interference and noise, architectural noise, multi-beam propagation, receiver sensitivity and more. The most reliable way to assess such factors is to create empirical models that would expand the possibilities of technical diagnostics of 802.11 wireless networks at the design stages and during the connection to the networks of new devices.

The paper proposes an empirical model for estimating the impact of architectural obstacles on the main parameters of the 802.11 wireless channel on the basis of energy and information efficiency of the channel. The model is valid for short channels up to 16 m long and is independent of the effect of multi-beam propagation of waves that bring objects into the room. In contrast to existing research, this model takes into account the attenuation and attenuation coefficients, which makes it possible to take into account the density, thickness or number of interferences, and their impact on the multipath propagation of waves. But to increase the reliability of the assessment using the proposed model, it is necessary to conduct a significant amount of empirical research and create a base of coefficients, which is a minor drawback.

The study of the obtained model showed that a high level of adequacy can be obtained on the basis of empirical studies with reference regression models of diagnostic parameters that can be obtained for direct visibility between transmitter and receiver with the exception of destabilizing factors. In addition, it was found that the use of only the signal attenuation factor in assessing the impact of architectural interference, can lead to significant errors.

The obtained model can be used as an extension of the channel model based on energy and information efficiency coefficients to increase the reliability of the assessment of diagnostic parameters during the technical diagnostics of 802.11 wireless channels.

Key words: wireless channel, 802.11 standard, effective data rate, signal strength, architectural obstacles.