

**РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ  
БЕЗПРОВІДНОГО КАНАЛУ СТАНДАРТУ 802.11 З УРАХУВАННЯМ  
ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ**

*Михалевський Д.В.*

*Вінницький національний технічний університет,  
21000, Україна, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.  
adotq@ukr.net*

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
БЕСПРОВОДНОГО КАНАЛА СТАНДАРТА 802.11 С УЧЕТОМ  
ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

*Михалевский Д.В.*

*Винницкий национальный технический университет,  
21000, Украина, Винница, Хмельницкое шоссе, 95.  
adotq@ukr.net*

**DEVELOPMENT OF THE MODEL OF EVALUATION OF THE BASIC  
PARAMETERS OF THE WIRELESS CHANNEL OF 802.11 STANDARD, TAKING  
INTO ACCOUNT THE DESTABILIZING FACTORS**

*Mykhalevskiy D.V.*

*Vinnitsia National Technical University,  
Khmelnyske shose, 95, 21000, Ukraine, Vinnitsia.  
adotq@ukr.net*

**Анотація.** Найбільш достовірним підходом оцінювання дестабілізуючих факторів, які існують у безпроводних каналах стандарту 802.11, є експериментальні дослідження та створення на їх базі емпіричних моделей та методів. Застосування таких моделей та методів дає можливість прогнозувати ефективність каналів, як для стаціонарних, так і для мобільних абонентів на етапах проектування та під час підключення до мереж. Але для певного типу задач є актуальною можливість оцінювання впливу окремо взятого дестабілізуючого фактора на основні параметри безпроводного каналу. В даній статті запропоновано емпіричні моделі, що дозволяють оцінювати вплив будь-якого виду енергетичного та інформаційного дестабілізуючого фактора на ефективність безпроводного каналу із сімейства стандартів 802.11x. Модель, яка містить два діагностичні параметри, дає можливість оцінювати енергетичну та інформаційну ефективність безпроводного каналу при дії дестабілізуючих факторів. Достовірність такої моделі є високою та залежить від еталонних регресійних моделей діагностичних параметрів, але має місце значний період отримання результату. Для підвищення швидкодії було запропоновано спрощену модель на базі кореляційного зв'язку основних діагностичних параметрів. Для перевірки отриманих моделей було проведено математичні дослідження на базі отриманих даних для інтерференційної завади, як дестабілізуючого фактора. Вплив такої завади на енергетичний, діагностичний параметр є незначним, на відміну від інформаційного, де існують обмеження в ресурсі фізичного каналу, що розподіляється між усіма створеними радіоколами у мережі та між суміщеними і сусідніми інтерференційними завадами. Все це приводить до значного зниження ефективної швидкості передавання інформації для окремого радіокола. Було встановлено, що модель з двома діагностичними параметрами може мати високу достовірність, яка збільшується при розширенні бази даних експериментальних досліджень, як для існуючих стандартів, так і для майбутніх модифікацій. Дія енергетичного та інформаційного коефіцієнтів інтерференційних завад на основні параметри каналу має різний характер, тому спрощена модель буде мати похибку оцінювання, яка буде збільшуватись за умов збільшення кількості інтерференційних завад, одночасно активних пристроїв у мережі та навантаження у каналах інтерференційних мереж.

**Ключові слова:** безпроводний канал стандарту 802.11, потужність сигналу на вході приймача, ефективна швидкість передавання інформації, технічна діагностика, інтерференційні завади.

**Анотація.** Наиболее достоверным подходом оценки дестабилизирующих факторов, которые существуют в беспроводных каналах стандарта 802.11, являются экспериментальные исследования и создание на их базе эмпирических моделей и методов. Применение таких моделей и методов дает возможность прогнозировать эффективность каналов, как для стационарных, так и для мобильных абонентов на этапах проектирования и при подключении к сетям. Но для определенного типа задач является актуальной возможность оценки влияния отдельно взятого дестабилизирующего фактора на основные параметры беспроводного канала. В данной статье предложены эмпирические модели, позволяющие оценивать влияние любого вида энергетического и информационного дестабилизирующего фактора на эффективность беспроводного канала из семейства стандартов 802.11x. Модель, которая содержит два диагностических параметра, дает возможность оценивать энергетическую и информационную эффективность беспроводного канала при воздействии дестабилизирующих факторов. Достоверность такой модели является высокой и зависит от эталонных регрессионных моделей диагностических параметров, но имеет место значительный период получения результата. Для повышения быстродействия было предложено упрощенную модель на базе корреляционной связи основных диагностических параметров. Для проверки полученных моделей были проведены математические исследования на базе полученных данных для интерференционной помехи, как дестабилизирующего фактора. Влияние такой помехи на энергетический диагностический параметр незначительно, в отличие от информационного, где существуют ограничения в ресурсе физического канала, что распределяется между всеми созданными радиоцепями в сети и между совмещенными и соседними интерференционными помехами. Все это приводит к значительному снижению эффективной скорости передачи информации для отдельной радицепи. Было установлено, что модель с двумя диагностическими параметрами может иметь высокую достоверность, которая увеличивается при расширении базы данных экспериментальных исследований, как для существующих стандартов, так и для будущих модификаций. Действие энергетического и информационного коэффициентов интерференционных помех на основные параметры канала имеет разный характер, поэтому упрощенная модель будет иметь погрешность оценки, которая будет увеличиваться в условиях увеличения количества интерференционных помех, одновременно активных устройств в сети и нагрузки в каналах интерференционных сетей.

**Ключевые слова:** беспроводной канал стандарта 802.11, мощность сигнала на входе приемника, эффективная скорость передачи информации, техническая диагностика, интерференционные помехи.

**Abstract.** The most reliable approach to assess the destabilizing factors that exist in 802.11 wireless channels is through experimental research and the creation of empirical models and methods based on them. The application of such models and methods makes it possible to predict the efficiency of channels for both fixed and mobile subscribers, during the design stages and during connection to the networks. But for a certain type of task, it is relevant to evaluate the impact of a particular destabilizing factor on the basic parameters of a wireless channel. This paper proposes empirical models to evaluate the impact of any type of energy and information destabilizing factor on the performance of an 802.11x wireless channel. The model, which contains two diagnostic parameters, allows to evaluate the energy and information efficiency of the wireless channel under the influence of destabilizing factors. The reliability of such a model is high and depends on the standard regression models of the diagnostic parameters, but there is a considerable period of obtaining the result. To improve performance, a simplified model based on the correlation of basic diagnostic parameters was proposed. To verify the models obtained, mathematical studies were conducted based on the data obtained for interference as a destabilizing factor. The impact of such interference on the energy diagnostic parameter is insignificant, unlike the information, where there is a restriction of the physical channel resource distributed between all created radio circuits on the network and between combined and neighboring interference. All of this leads to a significant reduction in the effective data rate for a particular radio. It has been found that a model with two diagnostic parameters can have high reliability, which increases with the expansion of the database of experimental studies, both for existing standards and for future modifications. The effect of power and information interference factors on the main channel parameters is different, so the simplified model will have an error of estimation, which will increase as the number of interference, simultaneously active devices in the network and the load in the interference network channels increase.

**Key words:** 802.11 wireless channel, receiver input signal power, effective data rate, technical diagnostics, interference.

Мережі сімейства стандартів 802.11x характеризуються постійним розвитком у напрямку підвищення головного критерію якості – ефективної швидкості передавання інформації. Як відомо [1], цей критерій має прямопропорційну залежність від рівня потужності сигналу на вході приймального пристрою та висуває жорсткі вимоги до якості сигналу.

Головною структурною одиницею мереж стандарту 802.11 є безпроводний канал, характеристики якого мають найбільший вплив на їх ефективність. Як модель безпроводного каналу можна використовувати коефіцієнт ефективності, що залежить від трьох основних параметрів [2]: пропускна здатність каналу, ефективна швидкість передавання інформації, рівень сигналу. На ці параметри чинить вплив значна кількість факторів, які можуть мати, як постійний, так і випадковий характер, що значно погіршує показники ефективності безпроводних каналів. Аналіз існуючих досліджень [1-12] показує, що до таких факторів можна віднести: архітектурні перешкоди; інтерференційні завади; шуми; чутливість приймача; швидкість руху абонента у зоні покриття мережі; довжина вхідного пакета і т. д.

Найбільш достовірним підходом оцінювання таких факторів є експериментальні дослідження та створення на їх базі емпіричних моделей та методів. Застосування таких моделей та методів дає можливість прогнозувати ефективність каналів, як для стаціонарних, так і для мобільних абонентів на етапах проектування та під час підключення до мереж. Але для певного типу задач є актуальною можливість оцінювання впливу окремо взятого дестабілізуючого фактора на основні параметри безпроводного каналу. Наприклад, зпрогнозувати як буде впливати поява інтерференційної завади на інформаційну ефективність каналу. Тому, постає задача створення нової загальної емпіричної моделі, що буде мати високу достовірність оцінювання основних параметрів безпроводного каналу та окремо кожного дестабілізуючого фактора.

**Мета статті** полягає в розробці загальної математичної моделі оцінювання основних параметрів безпроводного каналу з урахуванням дестабілізуючих факторів та встановлення допустимих меж.

**Розробка моделі безпроводного каналу.** Як відомо, для технічної діагностики безпроводних каналів стандарту 802.11 використовуються три основні параметри [2]: потужність сигналу на вході приймача; ефективна швидкість передавання інформації; пропускна здатність фізичного рівня. Пропускна здатність та ефективна швидкість пов'язані між собою та мають прямо пропорційну залежність від рівня потужності сигналу на вході приймального пристрою. Зв'язок між такими параметрами можна визначити на основі енергетичного та інформаційного коефіцієнтів ефективності. Таким чином, отримуємо:

$$K_p = \frac{V_{ef}}{P_{RX}} f_1(x_1 \dots x_n),$$

$$K_v = \frac{V_{ef}}{V_{pl}} f_2(y_1 \dots y_m). \quad (1)$$

де  $f_1$  – характеристика апаратної складової безпроводного каналу, яка залежить від сукупності параметрів  $x_n$ , які можна назвати енергетичними дестабілізуючими факторами;  $f_2$  – характеристика, яка залежить від програмної (інформаційної) складової безпроводного каналу, яка залежить від сукупності параметрів  $y_m$ , що можна віднести до інформаційних дестабілізуючих факторів;  $V_{ef}$  – ефективна швидкість передавання інформації;  $V_{pl}$  – пропускна здатність каналу, яка визначається швидкістю перетворення кадрів у бітову послідовність на фізичному рівні.

З математичної точки зору, функції  $f_1$  і  $f_2$  є досить складні, тому що враховують значну кількість параметрів, багато з яких в певні моменти часу є випадковими величинами або мають флуктуації.

З іншого боку, використовуючи засоби моніторингу можна отримати зв'язок між параметрами виходячи із параметра довжини безпровідного каналу  $l$ . У такому випадку можна обмежитись регресійними моделями кожного із параметрів. Тоді, враховуючи експериментальні дослідження модель, оцінки параметрів можна записати так:

$$\begin{cases} V_{ef}(l) \approx f_V(l) + V_0, \\ V_{pl}(l) \approx f_{V_{pl}}(l) + V_{pl0}, \\ P_{RX}(l) \approx f_P(l) + P_0, \end{cases} \quad (2)$$

де  $f_V(l)$ ,  $f_{V_{pl}}(l)$ ,  $f_P(l)$  – регресійні функції;  $V_0$ ,  $V_{pl0}$ ,  $P_0$  – початкові значення параметрів каналу;  $l$  – довжина безпровідного каналу.

Наведені вище моделі мають, як переваги, так і недоліки, але основним недоліком із них є проблема визначення кожного окремо фактора впливу. Наприклад, як впливає інтерференційна завада на потужність сигналу або на показник ефективної швидкості передавання інформації у каналі. З точки зору технічної діагностики безпровідних каналів стандарту 802.11 діагностичними параметрами можуть бути потужність сигналу на вході приймача  $P_d$  та ефективна швидкість передавання інформації  $V_d$  [6]. Щодо пропускної здатності каналу, то цей параметр є визначеним у специфікації стандарту та встановлюється схемою MCS [13]. Його можна вважати сталим, а в окремих випадках на основі його характеристик оцінювати стабільність каналу.

Початкове значення потужності сигналу на вході приймача за певних умов можна прив'язати до вимірювального значення, в результаті чого отримуємо [7]:

$$P_0 \approx P_m - f_P(2),$$

де  $P_m$  – вимірювальне значення потужності сигналу на вході приймача;  $f_P(2)$  – умова вимірювання параметра  $P_m$ .

Тоді, враховуючи модель оцінювання просторового розподілу сигналу у приміщенні, що розроблені у роботах [6-7], можна отримати загальний вираз для діагностичного параметра:

$$P_d \approx f_P(l, d) + P_m - f_P(2), \quad (3)$$

де  $l$  і  $d$  – довжина та ширина приміщення.

Вимірювальне значення отримується за допомогою програмно-апаратних засобів моніторингу абонентського пристрою стандарту 802.11. Процес вимірювання такого параметра можна записати так:

$$P_m \approx \frac{1}{n} \int_0^T \left( \sum_{i=1}^n P_i \right) dt, \quad (4)$$

де  $P_i$  – вимірювання потужності сигналу за час одного циклу моніторингу;  $n$  – кількість циклів вимірювання протягом періоду спостереження  $T$ .

Час одного циклу моніторингу можна задати часовим відрізком, у кінці якого видається результат. Він включає у себе вимірювання енергетичного параметра, що включає у себе всі енергетичні дестабілізуючі фактори. Використовуючи модель побудови безпровідного каналу [6-7], цикл вимірювання можна записати так:

$$P_i \approx \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{P_{TX}(t) - \sum_{j=1}^m P_j(t)}{L(t)} \right) dt, \quad (5)$$

де  $P_{TX}$  – потужність сигналу випромінювання передавачем;  $L$  – затухання сигналу у середовищі передачі;  $P_j$  – рівень потужності енергетичного дестабілізуючого фактора;  $m$  – кількість дестабілізуючих факторів.

Вираз (5) показує склад енергетичних дестабілізуючих факторів, які впливають на остаточний результат діагностичного параметра. Але для визначення кожного з таких параметрів існує проблема у визначенні кожної складової виразу, що з точки зору абонентського пристрою буде досить складною задачею. Ще складніша ситуація буде з параметром  $V_d$ , оскільки необхідно враховувати, як інформаційні дестабілізуючі фактори, так і енергетичні. Виходом із такої ситуації є створення бази даних результатів оцінювання окремих дестабілізуючих факторів на основі експериментальних досліджень та регресійного аналізу. Тоді, для діагностичних параметрів можна записати наступні вирази:

$$P_d \approx (F_1(l, d) + P_m - f_p) \prod_{i=1}^k K_i^P, \quad (6)$$

$$V_d \approx (F_2(l, d) + V_0) \prod_{i=1}^g K_i^V, \quad (7)$$

де  $K_i^P$  – коефіцієнт впливу енергетичного дестабілізуючого фактора на потужність сигналу на вході приймача;  $k$  – кількість енергетичних дестабілізуючих факторів;  $K_i^V$  – коефіцієнт впливу інформаційного дестабілізуючого фактора на ефективну швидкість передавання інформації;  $g$  – кількість інформаційних дестабілізуючих факторів.

Коефіцієнти впливу отримуються із експериментальних досліджень наступним чином:

$$K_i^P = \frac{P_d^g(l)}{P_d^e(l)}, \quad K_i^V = \frac{V_d^k(l)}{V_d^e(l)}, \quad (8)$$

де  $P_d^e$  – еталонна регресійна модель потужності сигналу на вході приймача без або із мінімальним впливом дестабілізуючих факторів;  $P_d^k$  – регресійна модель оцінки потужності сигналу на вході приймача із дією  $k$ -го дестабілізуючого фактора;  $V_d^e$  – еталонна регресійна модель ефективної швидкості передачі інформації без або із мінімальним впливом дестабілізуючих факторів;  $V_d^g$  – регресійна модель ефективної швидкості передачі інформації із дією  $g$ -го дестабілізуючого фактора.

Враховуючи взаємозв'язок основних параметрів безпровідного каналу стандарту 802.11, фактор впливу, який чинить значний вплив на рівень сигналу, також впливає на ефективну швидкість передачі інформації [1-2]. Враховуючи найбільш впливові дестабілізуючі фактори та підставляючи вирази (6) і (7) у (11), отримуємо модель ефективності безпровідного каналу, яку можна записати так:

$$K_P = \frac{f_v(l, d) + V_0}{f_p(l, d) + P_m - f_p(2)} \cdot \prod_{i=1}^k \frac{K_i^V}{K_i^P},$$

$$K_V = \frac{f_v(l, d) + V_0}{V_{pl}} \cdot \prod_{i=1}^k K_i^V. \quad (9)$$

Отримана модель показує як може змінюватись енергетична та інформаційна ефективність безпровідного каналу стандарту 802.11 при дії дестабілізуючих факторів. Достовірність такої моделі залежить від еталонних регресійних моделей діагностичних параметрів, яка буде збільшуватись при розширенні бази даних експериментальних досліджень, як для існуючих стандартів, так і для майбутніх модифікацій.

Наявність двох діагностичних параметрів потребує значного періоду спостереження, що знижує швидкодію отримання результатів технічної діагностики. Тоді для підвищення швидкодії, як спрощений варіант, застосуємо кореляційну модель, яка розглядається у роботі [14]. Тоді модель оцінювання ефективної швидкості передавання інформації можна записати так:

$$V_{ef}(P_{RX}) \approx K(f_p(l, d) + P_m - f_p(2)) \prod_{i=1}^k K_i^P + S_0, \quad (10)$$

де  $K$  і  $S_0$  – коефіцієнти лінійної регресії.

У такій моделі використовується один діагностичний параметр, що досить просто та швидко вимірювати за допомогою алгоритмів моніторингу. Як результат, виникає похибка оцінювання придатності каналу для передачі різних видів трафіка, оскільки при цьому необхідно занижувати параметр  $V_d$ .

**Результати модельних досліджень.** Для перевірки отриманих емпіричних моделей, проведемо дослідження з урахуванням одного із найбільш вагомого дестабілізуючого фактора – інтерференційної завади. Така завада має вплив, як на параметр  $P_d$ , визначаючи параметр сигнал/шум на вході приймача, так і на  $V_d$ , створюючи конкуренцію за ресурс фізичного каналу. Тому, дослідимо енергетичний та інформаційний коефіцієнти впливу інтерференційної завади. Для цього використаємо результати, отримані у роботі [15]. Дослідження проведемо для каналу стандарту 802.11n зі смугою 40 МГц для одного та двох радіокілів [16]. При цьому на графіках показано наступні випадки: 1 – коефіцієнти впливу для еталонних регресійних моделей; 2 – коефіцієнти впливу для умови одного радіокола та сусіднього інтерференційного каналу; 3 – коефіцієнти впливу для умови двох радіокілів та сусіднього інтерференційного каналу; 4 – коефіцієнти впливу для умови одного радіокола та суміщеного інтерференційного каналу; 5 – коефіцієнти впливу для умови двох радіокілів та суміщеного інтерференційного каналу. Результати моделювання коефіцієнтів впливу показано на рис. 1.

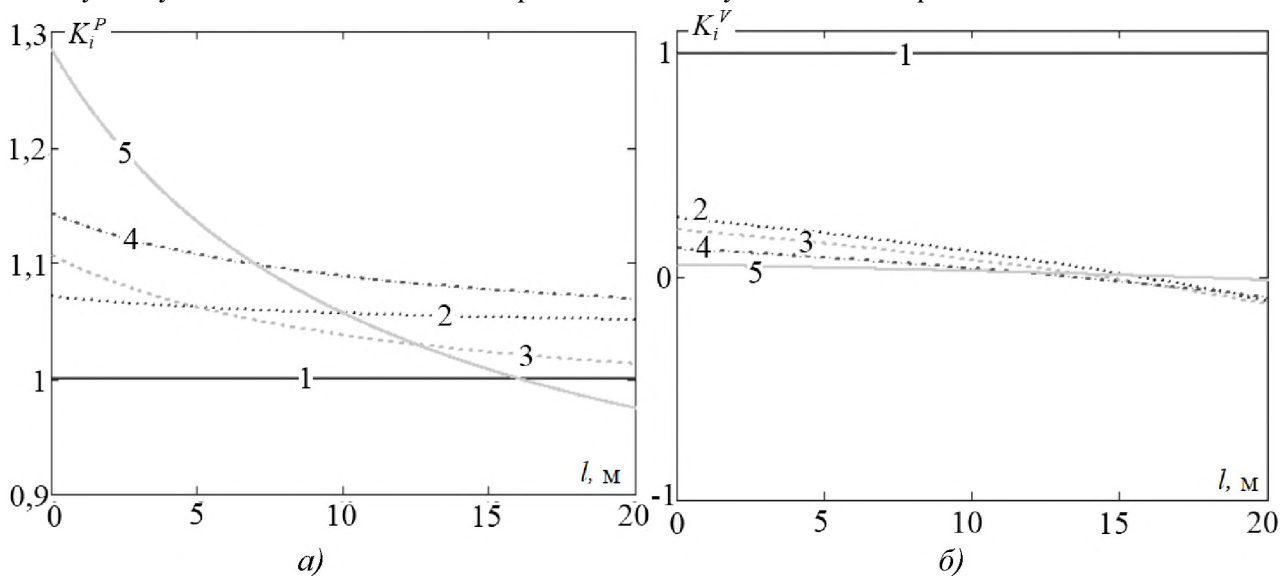


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнтів впливу від довжини безпроводного каналу: а) енергетичного; б) інформаційного

З отриманих результатів на рис. 1 видно, що чим ближче знаходяться інтерференційні завади та чим більше пристроїв використовують один і той самий канал, тим більше значення коефіцієнтів впливу. Для параметра  $P_d$  поява інтерференційної завади чинить незначний вплив, що показує досить високі показники чутливості та селективності приймально-передавального обладнання. Інше параметр  $V_d$ . У такому випадку через обмеження дозволеного частотного діапазону, ресурс фізичного каналу розподіляється між усіма створеними радіоколами у мережі та між суміщеними і сусідніми інтерференційними завадами. Все це приводить до значного зниження ефективної швидкості передавання інформації для окремого радіокола.

Далі виконаємо математичне моделювання для встановлення меж та можливості застосування отриманих моделей. Результати показано на рис. 2 та 3.

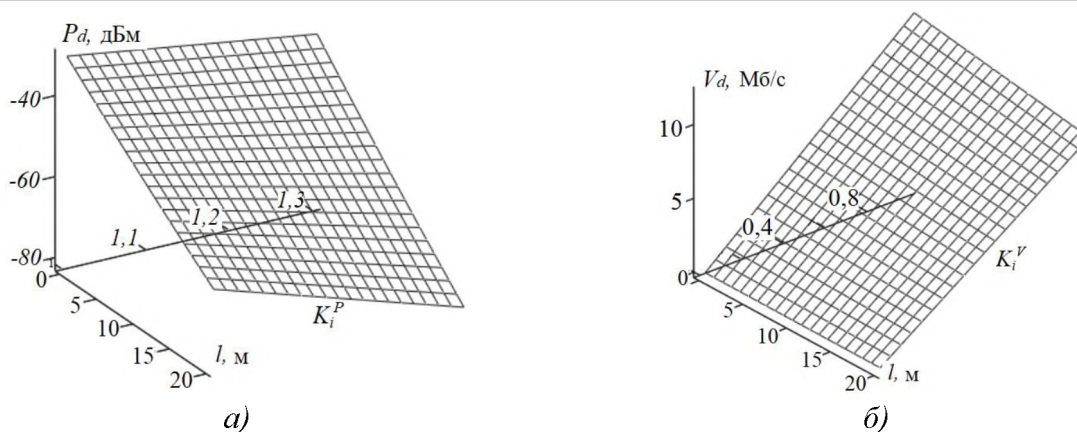


Рисунок 2 – Залежність кореляційної моделі від: а) коефіцієнта впливу; б) вимірювального значення потужності сигналу

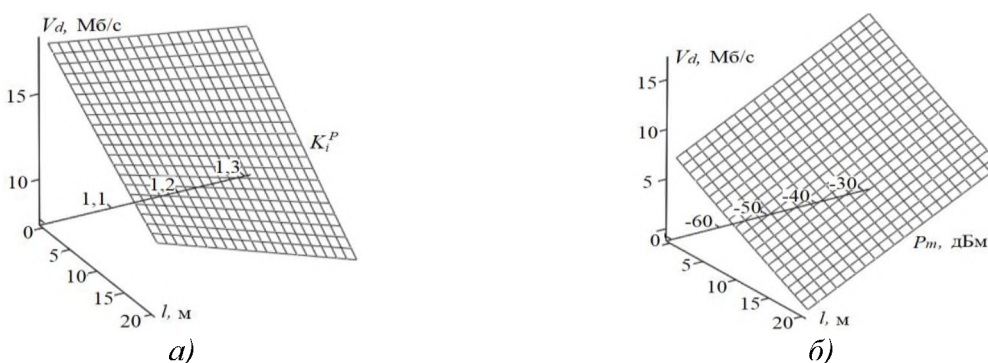


Рисунок 3 – Залежність діагностичних параметрів від коефіцієнтів впливу інтерференційних завад: а) – для потужності сигналу на вході приймача; б) – ефективної швидкості передавання інформації.

Отримані результати показують, що запропоновані моделі можна використовувати для приміщень, в яких можуть існувати канали довжиною до 20 м. Дія енергетичного та інформаційного коефіцієнтів інтерференційних завад на основні параметри каналу має різний характер, що говорить про необхідність використання моделі (9), для високої достовірності оцінювання при існуванні складного радіооточення під час радіомоніторингу [17-20]. Недоліком такого оцінювання є необхідність мати базу експериментальних досліджень для різних умов. Якщо, в середовищі передачі присутні одна або декілька інтерференційних завад, то оцінювання можна виконати використовуючи модель (10) для отримання швидкого результату, але із похибкою, яка буде збільшуватись за умов збільшення навантаження у каналах інтерференційних мереж.

Отже, в даній роботі вирішувалась актуальна задача оцінювання впливу окремо взятого дестабілізуючого фактора на основні параметри безпроводного каналу стандарту 802.11. Для цього було запропоновано емпіричні моделі, що дозволяють оцінювати вплив будь-якого виду енергетичного та інформаційного дестабілізуючого фактора на ефективність безпроводного каналу із сімейства стандартів 802.11x. Як приклад, для перевірки запронованих моделей було обрано інтерференційну заваду та визначено можливості їх застосування.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. 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.
2. Mykhalevskiy D. V. Development of information models for increasing the efficiency of evaluating wireless channel parameters of 802.11 standard / D. V. Mykhalevskiy, V. M. Kuchak // Latvian journal of physics and technical sciences. – 2019. – № 2. – p. 41-51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0009.

3. Received Signal Strength Indicator and Its Analysis in a Typical WLAN System / Chapre, Y., Mohapatra, P., Jha, S., Seneviratne, A. // 38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks. – 2013. – p. 304-307. DOI: 10.1109/LCN.2013.6761255.
4. Soldo, I. Wi-Fi Parameter Measurements and Analysis / I. Soldo, K. Malarić // Proceedings of the 9th International Conference (Measurement 2013). – 2013. – p. 339-342.
5. Laitinen, E. On the RSS biases in WLAN-based indoor positioning / E. Laitinen, J. Talvitie, E.S. Lohan // ANLN Workshop at ICC. – 2015. – p. 1–6. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2015.7414038.
6. 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.
7. Mykhalevskiy D. Development of a mathematical model for estimating signal strength at the input of the 802.11 standard receiver / D. Mykhalevskiy, N. Vasylykivskiy, O. Horodetska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 4/9 (88). – p. 38-43. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.
8. Rathod K. Optimization of Campus Wide WLAN / K. Rathod, R. Vatti, M. Nandre // International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering. – 2017. – V. 4, I. 5. – p. 1-6.
9. Sârbu A. 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. – Vol. 23. I. 2(90). – p. 143-150. DOI: <https://doi.org/10.2478/raft-2018-0017>.
10. Chruszczyk Ł. Statistical Analysis of Indoor RSSI Read-outs for 433 MHz, 868 MHz, 2.4 GHz and 5 GHz ISM Bands / Ł. Chruszczyk // Intl journal of electronics and telecommunications. – 2017. - № 63, V. 1. – p. 33-38. DOI: 10.1515/eletel-2017-0005.
11. Dolińska, I. Method of DCF Simulation and Analysis for Small Wi-Fi Networks / I. Dolińska, G. Rządowski // Zeszyty naukowe. – 2014. № 38. – p. 50-64.
12. Laitinen, E. On the RSS biases in WLAN-based indoor positioning / E. Laitinen, J. Talvitie, E.S. Lohan // ANLN Workshop at ICC. – 2015. – Pp. 1–6. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2015.7414038.
13. CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide: Exam PW0-270 / D. A. Wescott, D. Coleman, D. Mackenzie, P. B. Miller // Wiley Technology Pub. – 2011. 712 p.
14. Михалевський Д.В. Розробка математичних моделей оцінювання ефективної швидкості передачі інформації у просторі приміщень для безпроводних каналів стандарту 802.11 / Д.В. Михалевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2020. – № 1. – С. 110-115. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-148-1-110-115.
15. Михалевський Д. В. Дослідження передачі інформації в умовах суміщеного та сусіднього інтерференційного каналів для стандарту 802.11n / Д. В. Михалевський, В.В. Номировська, О.М. Постернак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 155 – 159.
16. Perahia, E. Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac / E. Perahia, R. Stacey // Cambridge University Press, 2013. – 480 p.
17. Mahanti, A. Ambient Interference Effects in Wi-Fi Networks / A. Mahanti, N. Carlsson, C. Williamson, M. Arlitt // NETWORKING 2010. – Springer Science + Business Media, 2010. – Pp. 160 -173. DOI:10.1007/978-3-642-12963-6\_13.
18. Understanding and mitigating the impact of RF interference on 802.11 networks / R. Gummadi, D. Wetherall, B. Greenstein, S. Seshan // Proceedings of the 2007 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications – SIGCOMM '07. – Association for Computing Machinery (ACM), 2007. – p. 385-396. doi:10.1145/1282380.1282424
19. Andjamba T. S. Interference analysis of IEEE 802.11 wireless networks: A case study of Namibia University of Science and Technology / T. S. Andjamba, G-A. L. Zodi, D. S. Jat. // International Conference on ICT in Business Industry & Government (ICTBIG). – 2016. – IEEE – p. 1–5. DOI: 10.1109/ICTBIG.2016.7892726
20. Investigating the Effects of Microwave Oven on the Performance of Wi-Fi Network / N. Qadar, J. Khan, U. Farooq, N. Mufti // 12th International Conference on Frontiers of Information Technology, Islamabad. – 2014. – Pp. 34-36. DOI: 10.1109/FIT.2014.15

REFERENCES:

1. Mykhalevskiy D. V. Investigation of wireless channels of 802.11 standard in the 5GHz frequency band. Latvian journal of physics and technical sciences, 2019, № 1, p 41-51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0004.
2. 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, 2019, № 2, p. 41-51. DOI: 10.2478/lpts-2019-0009.



3. 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, 2013, p. 304-307. DOI: 10.1109/LCN.2013.6761255.
4. Soldo I., Malarić K. Wi-Fi Parameter Measurements and Analysis. Proceedings of the 9th International Conference (Measurement 2013), 2013, p. 339-342.
5. Laitinen E., Talvitie J., Lohan E.S. On the RSS biases in WLAN-based indoor positioning. ANLN Workshop at ICC, 2015, p. 1–6. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2015.7414038.
6. 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. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2018, № 6/9 (96), p. 16-21. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150983.
7. Mykhalevskiy D., Vasyukivskiy N., Horodetska O. Development of a mathematical model for estimating signal strength at the input of the 802.11 standard receiver. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017, № 4/9 (88), p. 38-43. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.
8. Rathod K., Vatti R., Nandre M. Optimization of Campus Wide WLAN. International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering, 2017, V. 4, I. 5, p. 1-6.
9. Sârbu A., Sârbu M., Şumălan C. Non Wi-Fi Devices Interference Testing in a 2.4 GHz Wi-Fi Home. Land Forces Academy Review, 2018, Vol. 23. I. 2(90), p 143-150. DOI: <https://doi.org/10.2478/raft-2018-0017>
10. Chruszczyk Ł. Statistical Analysis of Indoor RSSI Read-outs for 433 MHz, 868 MHz, 2.4 GHz and 5 GHz ISM Bands. Intl journal of electronics and telecommunications, 2017, № 63, V. 1, p. 33-38. DOI: 10.1515/eletel-2017-0005.
11. Dolińska I., Rządowski G. Method of DCF Simulation and Analysis for Small Wi-Fi Networks. Zeszyty naukowe, 2014, № 38, p. 50-64.
12. Laitinen E., Talvitie J., Lohan E.S. On the RSS biases in WLAN-based indoor positioning. ANLN Workshop at ICC, 2015, p. 1–6. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2015.7414038.
13. Wescott D. A., Coleman D., Mackenzie D., Miller P. B. CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide: Exam PW0-270. Wiley Technology Pub, 2011, 712 p.
14. Mykhalevskiy D.V. Rozrobka matematychnykh modelei otsiniuvannia efektyvnoi shvydkosti peredachi informatsii u prostori prymishchen dlia bezprovodnykh kanaliv standartu 802.11. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu, 2020, № 1, S. 110-115. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-148-1-110-115.
15. Mykhalevskiy D.V., Nomyrovskaya V.V., Posternak O.M. Doslidzhennia peredachi informatsii v umovakh sumishchenoho ta susidnoho interferentsiinoho kanaliv dlia standartu 802.11n. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh, 2015, № 2, S. 155 – 159.
16. Perahia E., Stacey R. Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac. Cambridge University Press, 2013, 480 p.
17. Mahanti A., Carlsson N., Williamson C., Arlitt M. Ambient Interference Effects in Wi-Fi Networks. NETWORKING 2010. – Springer Science + Business Media, 2010, p. 160 -173. DOI:10.1007/978-3-642-12963-6\_13.
18. Gummadi R., Wetherall D., Greenstein B., Seshan S. Understanding and mitigating the impact of RF interference on 802.11 networks. Proceedings of the 2007 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications – SIGCOMM '07. – Association for Computing Machinery (ACM), 2007, p. 385-396. DOI:10.1145/1282380.1282424
19. Andjamba T. S., Zodi G-A. L., Jat D. S. Interference analysis of IEEE 802.11 wireless networks: A case study of Namibia University of Science and Technology. International Conference on ICT in Business Industry & Government (ICTBIG), 2016, IEEE, p 1–5. DOI: 10.1109/ICTBIG.2016.7892726
20. Qadar N., Khan J., Farooq U., Mufti N. Investigating the Effects of Microwave Oven on the Performance of Wi-Fi Network. 12th International Conference on Frontiers of Information Technology, Islamabad, 2014, p. 34-36. DOI: 10.1109/FIT.2014.15

DOI 10.33243/2518-7139-2020-1-1-59-67