

УДК 004.891

С.В. Куценко<sup>1</sup>, О.О. Дядюшенко<sup>2</sup>, С.В. Бєседіна<sup>3</sup><sup>1</sup> Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України, Черкаси<sup>2</sup> Черкаський державний технологічний університет, Черкаси<sup>3</sup> Національний університет ім. Богдана Хмельницького, Черкаси

## РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ БЕЗПРОВІДНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ОПОВІЩЕННЯ ПРО ПОЖЕЖУ У БУДІВЛЯХ

У статті розглядається моделювання безпроводних локальних мереж пожежних сповіщувачів всередині будівель, приведені результати математичної моделі розповсюдження сигналів, що дозволяє будувати локальні мережі із застосуванням безпроводної технології передачі даних ZigBee. Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує отримані математичні моделі.

**Ключові слова:** безпроводна локальна мережа, пожежні сповіщувачі, технологія ZigBee.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В системі пожежної безпеки будівель важливою ланкою є пожежні сповіщувачі (теплові, димові, іонізаційні, полум'я тощо). Як правило, застосовують кілька таких сповіщувачів, які об'єднують у локальну мережу. В такому випадку важливим питанням стає фізична природа передачі інформації в мережі, яка може бути як провідною, так і безпроводною. Останнім часом широко розповсюдження набувають мережі другого типу: безпроводні. Вони мають багато переваг у порівнянні з провідними, серед яких висока швидкість розгортання мережі і встановлення датчиків, систем контролю і виконавчих механізмів, низька вартість робіт по монтажу устаткування, легка реконфігурація тощо [1]. В якості прикладу безпроводних систем пожежної охорони можна назвати такі системи, що представлені на ринку України: ПЦН GSM-900/1800 серії «Орлан» (Україна), ППКП серії «Макс» (Україна), системи фірми Satel (Польща), системи «Стрелець» (Росія) тощо.

Проте при побудові безпроводних систем виникає чимало важливих технічних питань, які потребують вирішення: вибір типу безпроводної технології передачі даних, забезпечення завадостійкості, гарантований зв'язок між передавачами мережі для надійної передачі інформації тощо.

**Мета роботи** – розробити моделі безпроводних локальних мереж для системи оповіщення про пожежу, що можуть бути використані всередині будівель, на основі технології ZigBee.

### Основний матеріал

Питання вибору типу безпроводної технології передачі розглянуто авторами в роботах [1, 2]. На основі проведеного аналізу різних типів технологій авторами роботи запропоновано застосовувати технологію ZigBee. Це порівняно нова технологія, яка

має наступні переваги, що є суттєвими для побудови надійних безпроводних локальних мереж:

- низьке енергоспоживання, що робить незамінними їх у побудові локальних мереж з автономних пожежних сповіщувачів [3] (дозволяє автономно працювати модулю від батарейки впродовж кількох років);

- велика кількість модулів у мережі (до 65536 одиниць), що дозволяє будувати зручні та надійні мережі;

- працюють на частоті 2,4 ГГц, що не потребує отримання дозволу на використання частоти [4];

- відносно низька, у порівнянні з модулями інших безпроводних технологій, вартість передавачів (в деяких випадках вартість передавача не перевищує п'яти доларів США [5]);

- відносно велика кількість аналого-цифрових входів/виходів у модулів, наприклад, модулі XBee™ та XBee-PRO™ фірми Maxstream (Digi) (США) підтримують 8 цифрових та 5 аналогових входів/виходів, що дозволяє здешевлювати загальну вартість мережі або дублювати або суміщати кілька типів оповіщувачів для підвищення надійності мережі та системи пожежної охорони.

Другим важливим питанням, про яке зазначалося вище – є гарантований зв'язок між передавачами мережі. Для його забезпечення необхідно витримати дві умови:

- підібрати необхідну відстань між передавачами (не надто маленьку, що не збільшити кількість елементів мережі, і не велику, щоб забезпечити надійний зв'язок);

- розмістити у місці, де були б відсутні спотворення сигналу передачі даних (зниження сигналу через дифракції, інтерференції тощо).

Для цього необхідно правильно побудувати модель каналів зв'язку всередині приміщень. Для виконання цієї задачі використовують кілька моделей: статистичні, емпіричні та променеві [6]. Пер-

ший тип моделей може дати відповідь на рівень сигналів між антенами передавачів, проте не дає інформації, що дозволить знайти місце оптимального розміщення з точки зору спотворень сигналів. Другий тип моделей потребує попередні значення вимірів, що не завжди можливо, особливо на стадії проектування будівель. Таким чином, автори в своїх дослідженнях використовують променеві моделі [2, 7], які вирішують обидві поставлені в роботі задачі. Проте проведені дослідження авторів у попередніх роботах відносилися до розрахунків розміщення передавачів на відкритих місцевостях, що стосовно відрізняється від картини розповсюдження сигналів всередині будівель. Таким чином, актуальним є питання розробки моделей розповсюдження сигналів всередині будівель, що є невід'ємною задачею в побудові надійних локальних мереж пожежної охорони будівель.

Метою роботи є розробка моделей розповсюдження сигналів всередині будівель для побудови локальних мереж пожежних оповісників всередині будівель при застосуванні в якості безпроводної технології передачі даних технологію ZigBee.

В якості елементів (передавачів) локальної мережі пожежної охорони розглядаються наступні компоненти:

- пожежні сповісники на стелі (теплові та димові);
- пожежні сповісники на стіні (ручні та димові лінійні);
- пожежні сповісники полум'я, які розміщуються над джерелом вогню (можуть опинитися в будь-якій точці об'єму приміщення);
- один з приймально-передавального пристрою, який розміщується у пожежному приймально-контрольному приладі (наприклад, на столі).

Висоти розміщення елементів, можливі максимальні відстані між ними та інші геометричні умови до їх розміщення регламентуються відповідними стандартами [3].

Таким чином, в якості початкових даних для побудови моделі є:

- можливі відстані між передавачами від одиниць до кількох десятків метрів;
- розміщення елементів в будь-якій точці всередині приміщення;
- в якості поверхні віддзеркалення може бути будь-яка тверда або рідинна поверхня (вода, бетон, цегла, килими, бум ага, тканини тощо);
- частота передачі інформації 2,4ГГц (визначається параметрами технології ZigBee).

Слід зазначити, що до системи пожежної охорони, яка розглядається в роботі, можуть додаватися й інші елементи, такі як компоненти системи охорони будівлі (датчики переміщення, розбиття скла тощо); технологічного процесу (якщо розглядається

питання пожежної охорони на підприємстві); безпеки життєдіяльності людини (з елементів системи «Розумний дім»: датчики газу, води тощо). При цьому до модулів ZigBee можуть приєднуватися не тільки елементи сенсорів, а й виконавчих механізмів: систем пожежогасіння, контролю технологічного процесу тощо. Будь-який з описаних компонентів розглядається в моделі як ще один елемент прийому-передачі інформації, який має таке ж значення в моделі, як й усі інші. Тобто вирішувана в роботі задача моделювання може виходити значно більше за рамки побудови тільки локальних систем пожежної охорони.

Потужність на відстані  $d$  між передавачами можна виразити через потужність, виміряну на будь-якій стандартній відстані  $d_0$ , що визначається за прийнятими методиками:

$$P(d) = P(d_0) \left( \frac{d_0}{d} \right)^2, \quad d \geq d_0^2. \quad (1)$$

Інформація може передаватися багатьма каналами, що утворюються через неодноразові віддзеркалення сигналу. При кожному віддзеркаленні частина енергії поглинається поверхнею віддзеркалення. Припустимо, що на кожному  $i$ -му шляху кожне  $j$ -те віддзеркалення характеризується коефіцієнтом віддзеркалення  $a_{ij}$ . Таким чином, добутковий коефіцієнт віддзеркалення складатиме [8]:

$$a_i = \prod_{j=1}^{K_j} a_{ij}, \quad (2)$$

де  $K_j$  – кількість віддзеркалень на  $j$ -му шляху.

Якщо припустити, що кількість шляхів (каналів) дорівнює  $L$ , враховуючи фази сигналу на комплексній площині, вираз для потужності сигналу набуває вигляд:

$$P(d) = P(d_0) d_0^2 \left| \sum_{i=1}^L \frac{\prod_{j=1}^{K_j} a_{ij}}{d_i} e^{-j \frac{2\pi f d_i}{c}} \right|^2. \quad (3)$$

На канал зв'язку, окрім геометричних параметрів будівлі, суттєво впливає розміщення багатьох віддзеркалювальних поверхонь: меблі, килимів, людей, обладнання тощо, деякі з них можуть змінювати своє розташування або рухатися. При передачі інформації у приміщенні необхідно розглядати багатоканальну модель передачі даних, яка утворюється каналом прямої передачі даних та багаточисельними віддзеркаленнями від поверхонь із врахуванням типом цих поверхонь. Загальний вираз потужності сигналу для такої моделі для передачі даних із застосування технології ZigBee буде мати вигляд (з урахуванням тільки прямих та віддзеркалених сигналів [2]):

$$P(d) = P(d_0)d_0^2 \times \left[ \sum_{i=1}^L \frac{\prod_{j=1}^K \frac{\sin(\theta_j) - \sqrt{\varepsilon_j - \cos^2(\theta_j)} / \varepsilon_p}{\sin(\theta_j) + \sqrt{\varepsilon_j - \cos^2(\theta_j)} / \varepsilon_p}}{d_i} \right]^2 \times e^{-j16\pi d_i} \quad (4)$$

де  $\theta$  – кут падіння променя;  
 $\varepsilon$  – діелектрична проникність поверхні віддзеркалення;  
 $\varepsilon_p$  – коефіцієнт, який залежить від типу поляризації сигналу [2, 8].

Деякі з результатів моделювання приведені на рис. 1.

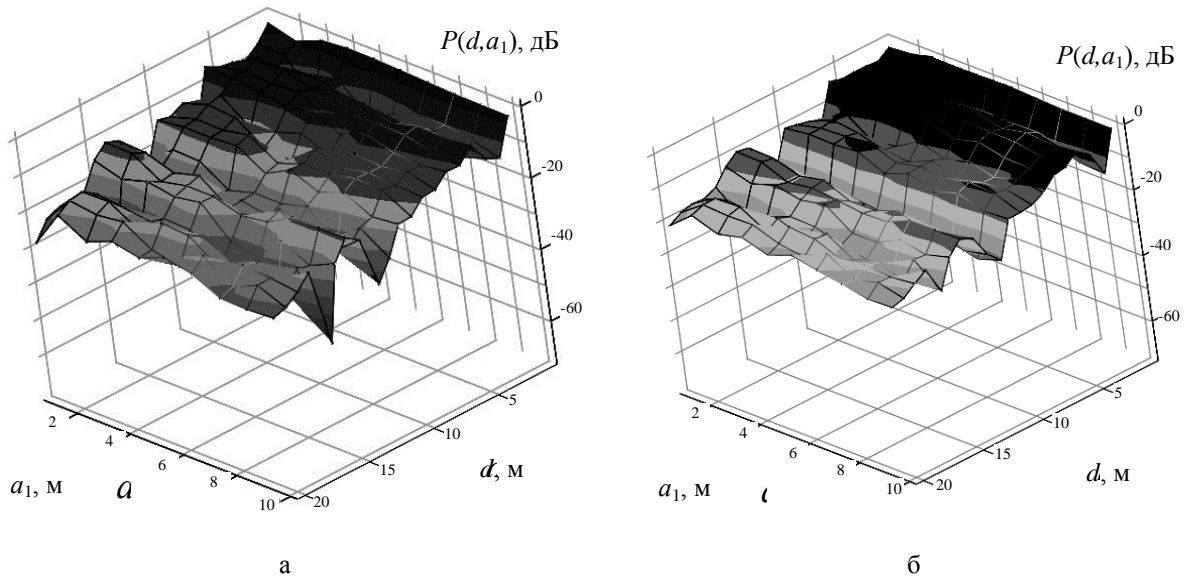


Рис. 1. Залежність потужності сигналу від відстані між передавачами (d) та відстані до однієї із стін (a<sub>1</sub>): а – для п'ятиканальної моделі; б – для шестиканальної моделі

В розрахунках розглядалося розміщення передавачів біля стін на висоті 1 – 1,5 м, при зміщенні одного з модулів вздовж стіни (зміна параметру a<sub>1</sub>) у пустій кімнаті.

З рис. 1 видно, що будь-які зміни у розташуванні перетворювачів призводять до зменшення рівнів сигналів на кілька десятків дБ. Проте при чутливості ZigBee модулів на рівні -90 – -110 дБ в рамках однієї кімнати такий вплив не є перешкодою для передачі інформації [9].

Для реалізації отриманої математичної моделі було розроблене програмне забезпечення з використанням середовища розробки Microsoft Visual Studio та мови програмування C++. При введенні параметрів кімнати, місць розташування на схемі передавачів та висоти програма розраховує потужність сигналу між передавачами. На рис. 2 показані оболонки програми для трьох випадків: дво-, три- та чотирипроменевої моделі.

Із рис. 2 видно, що при збільшенні кількості каналів у моделі відбувається зменшення різниці між значеннями.

Потужність для двопроменевої моделі дорівнює -16,706 дБ, для трипроменевої -14,837 дБ, для

чотирипроменевої -14,820 дБ, тобто якщо різниця між 2-х та 3-х променевими моделями складає 1,869 дБ, то між 3-х та 4-х променевими вже 0,017 дБ. Причому із збільшенням кількості каналів в моделі зростає складність розрахунків. Таким чином для недопущення перевантажень в розрахунках необхідно вибрати оптимальну кількість променів в моделі. Для цього в роботі запропоновано використовувати міру середньоквадратичних відстаней між функціями:

$$\rho(p_i, p_{i+1}) = \sqrt{\frac{\int_{d_{\min}}^D (p_i(x) - p_{i+1}(x))^2 dx}{D \int_{d_{\min}}^D p_3^2(x) dx}} \cdot 100\% \quad (5)$$

де  $i$  – кількість каналів в моделі.

Дослідження функції (5) показали, що використовувати моделі з кількістю інформаційних каналів більше чотирьох-п'яти недоцільно, оскільки це призводить до незначних змін інтерференційних картин.

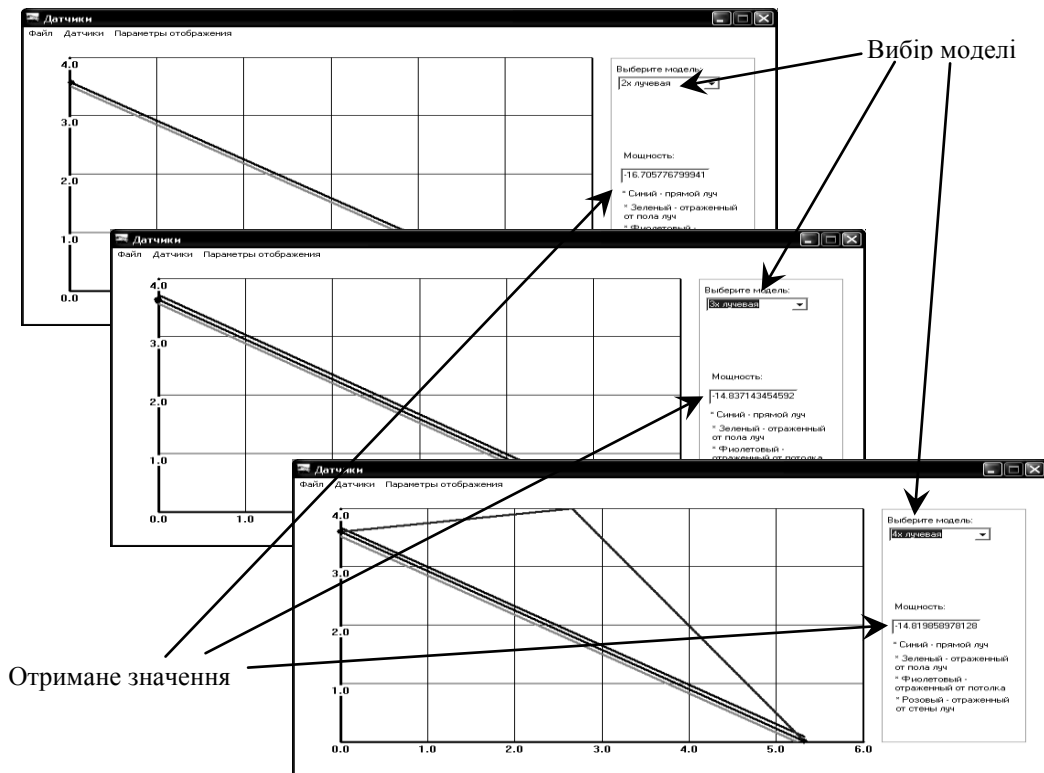


Рис. 2. Вікна оболонок програми побудови моделі для кімнати 6×4 м

### Висновки

Таким чином, в роботі розроблена модель розповсюдження сигналів всередині будівель, яка дозволяє будувати локальні мережі пожежних оповіщувачів в приміщеннях із застосуванням безпроводної технології передачі даних ZigBee.

### Список літератури

1. Мусиенко М.П. Выбор беспроводной технологии в автоматизированных системах передачи данных / М.П. Мусиенко, В.И. Томенко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – №3-4. – С. 164-169.
2. Томенко В.І. Інформаційні технології створення автоматизованих систем управління підрозділами МНС при надзвичайних ситуаціях у природних екосистемах: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Томенко В.І. – Черкаси, 2008. – 169 с.
3. Пушкарев О. Построение ZigBee-модуля на базе беспроводного микроконтроллера Jennic JN5139 с пита-

нием от дисковых элементов / О. Пушкарев // Беспроводные технологии. – 2007. – № 2(07). – С. 68-71.

4. Гуреев А.В. Волноводная модель беспроводных каналов связи внутри зданий / А.В. Гуреев, В.А. Кустов // Электронный журнал "Исследовано в России" [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/135.pdf>.

5. Мусиенко М.П. Розрахунок втрат розповсюдження радіохвиль в комунікаційних системах на транспортних засобах / М.П. Мусиенко, В.І. Томенко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, 2008. – № 1. – С. 122-126.

6. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи: пер. с польск. И.Д. Рудинского; под. ред. А.И. Ледовского / Ё. Айпагайпееё. – Ё.: Айду-ау ёёёё-Оаёаёё, 2006. – 536 й.

Надійшла до редколегії 30.08.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Рудницький, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси.

### РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ БЕСПРОВОДНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ О ПОЖАРЕ В ЗДАНИЯХ

С.В. Куценко, А.А. Дядюшенко, С.В. Беседина

В статье рассматривается моделирование беспроводных локальных сетей пожарных извещателей внутри зданий, представлены результаты математической модели распространения сигналов, что позволяет строить локальные системы с использованием беспроводной технологии передачи данных ZigBee. Разработано программное обеспечение, которое реализует полученные математические модели.

**Ключевые слова:** беспроводная локальная сеть, пожарные извещатели, технология ZigBee.

### MODELLING WIRELESS LAN SYSTEM OF ALERTS MISSILE FIRE IN THE BUILDING

S.V. Kutsenko, O.O. Dyalushenko, S.V. Besedina

The article deals with modeling of wireless local area networks within buildings fire detectors, the results of the mathematical model of signal propagation, which allows you to build local systems using wireless data transmission technology ZigBee. Developed software that implements the obtained mathematical model.

**Keywords:** wireless LAN, fire detectors, the technology ZigBee.