

Технічні науки

УДК 531.7.08

**Дуднік Андрій Сергійович**

*кандидат технічних наук, доцент,*

*доцент кафедри мережі та інтернет технологій*

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

**Дудник Андрей Сергеевич**

*кандидат технических наук, доцент*

*доцент кафедры сетевых и интернет технологий*

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко*

**Dudnik Andrey**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,*

*Associate Professor of the Department of Network and Internet Technologies*

*Taras Shevchenko National University of Kyiv*

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРИСТРОЇВ  
БЕЗПРОВІДНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ  
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВ  
БЕСПРОВОДНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ  
METHODS OF INCREASING THE PRODUCTIVITY OF DEVICES OF  
WIRELESS MEASURING SENSOR NETWORKS**

*Анотація.* В основі технології ZigBee/802.15.4 існує три класи пристроїв: FFD-пристрої маршрутизації (Full Function Device – пристрій з повним комплектом функцій – R), пристрої-координатори (Coordinators — FFD з додатковими ресурсами системи залежно від складності мережі – C) і RFD-кінцеві пристрої (Reduced Function Device – пристрій з обмеженим набором функцій – E). У кожній локальній мережі ZigBee присутній тільки один координатор. Його основне завдання полягає у встановленні параметрів і створенні мережі, виборі основного

радіочастотного каналу, в заданні унікального мережевого ідентифікатора. Тому координатор є найскладнішим з цих трьох типів пристроїв, має великий обсяг пам'яті і підвищене енергоспоживання (як правило, застосовується живлення від мережі змінного струму). Маршрутизатори використовуються для розширення радіуса дії мережі, тому що здатні виконувати функції ретрансляторів між пристроями, розміщеними далеко один від одного. Маршрутизатори підтримують будь-яку топологію мережі ZigBee, можуть виконувати функції координатора і звертатися до усіх вузлів мережі (FFD, RFD). Пристрої з обмеженим набором функцій не беруть участі у маршрутизації, не можуть виконувати функцію координатора, звертаються тільки до координатора локальної мережі (FFD-пристрою), підтримують топології типу «кожен з кожним», «зірка», відіграють роль кінцевих вузлів мережі. На практиці більшість вузлів мережі – RFD-пристрої, а використання FFD-пристроїв і координаторів потрібне для утворення мостів зв'язку і відповідної топології мережі. Як тільки маршрутизатори та інші пристрої під'єднуються до мережі, вони отримують інформацію про неї від координатора або будь-якого іншого існуючого маршрутизатора, вже залученого в мережу, і на основі цієї інформації встановлюють свої операційні параметри відповідно до характеристик мережі. Маршрутизатор ZigBee отримує таблицю мережевих адрес, які він поширює між сполученими з ним кінцевими пристроями.

**Ключові слова:** сенсорна мережа, механічні величини, комп'ютеризована система вимірювання, інформаційно-вимірювальна система.

**Анотація.** В основе технологии ZigBee / 802.15.4 существует три класса устройств: FFD-устройства маршрутизации (Full Function Device

- устройство с полным комплектом функций - R), устройства-координаторы (Coordinators - FFD с дополнительными ресурсами системы в зависимости от сложности сети - C) и RFD-конечные устройства (Reduced Function Device - устройство с ограниченным набором функций - E). В каждой локальной сети ZigBee присутствует только один координатор. Его основная задача состоит в установлении параметров и создании сети, выборе основного радиочастотного канала, в задании уникального сетевого идентификатора. Поэтому координатор является самым сложным из этих трех типов устройств, имеет большой объем памяти и повышенное энергопотребление (как правило, применяется питание от сети переменного тока). Маршрутизаторы используются для расширения радиуса действия сети, так как способны выполнять функции ретрансляторов между устройствами, расположенными далеко друг от друга. Маршрутизаторы поддерживают любую топологию сети ZigBee, могут выполнять функции координатора и обращаться ко всем узлам сети (FFD, RFD). Устройства с ограниченным набором функций не участвуют в маршрутизации, не могут выполнять функцию координатора, обращаются только к координатору сети (FFD-устройства), поддерживают топологии типа «каждый с каждым», «звезда», играют роль конечных узлов сети. На практике большинство узлов сети - RFD-устройства, а использование FFD-устройств и координаторов нужно для образования мостов связи и соответствующей топологии сети. Как только маршрутизаторы и другие устройства подключаются к сети, они получают информацию о ней от координатора или любого другого существующего маршрутизатора, уже вовлеченного в сеть, и на основе этой информации устанавливают свои операционные параметры в соответствии с характеристиками сети. Маршрутизаторы ZigBee получают таблицу

сетевых адресов, которые он распространяет между соединенными с ним конечными устройствами.

**Ключевые слова:** беспроводная сеть, механические величины, компьютеризированная система измерения, информационно-измерительная система.

**Summary.** The ZigBee / 802.15.4 technology has three classes of devices: FFD routing devices (Full Function Device - R), Coordinators - FFD with additional system resources depending on network complexity - C) and Reduced Function Device (Reduced Function Device - E). Each ZigBee local network only has one coordinator. His main task is to set the parameters and create a network, the choice of the main radio frequency channel, in the setting of a unique network identifier. Therefore, the coordinator is the most complex of these three types of devices, it has a large amount of memory and increased power consumption (usually used by AC power). Routers are used to extend the range of the network, because they are able to perform repeater functions between devices located far one from another. Routers support any ZigBee network topology, can perform coordinator functions and access all network nodes (FFD, RFD). Devices with a limited set of functions do not participate in routing, can not perform the function of the coordinator, apply only to the local network coordinator (FFD device), support topology type "each with each", "star", play the role of end nodes of the network. In practice, most of the network nodes are RFD devices, and the use of FFD devices and coordinators is needed to create communication bridges and the corresponding network topology. Once routers and other devices are connected to the network, they receive information about it from the coordinator or any other existing router already involved in the network, and based on this information, establish their operating parameters in accordance with the characteristics of the network. A

*ZigBee router receives a network address table that it distributes between its end-devices that are connected to it.*

**Key words:** *wireless network, mechanical quantities, computerized measurement system, information-measuring system.*

**Вступ.** Несвоєчасне визначення позиції об'єкта, що входить до складу безпроводних сенсорних мереж, призводить до генерування помилкової інформації в комп'ютеризованій системі вимірювання відстані між об'єктами. Такий недолік, в свою чергу, може призвести до, наприклад, несвоєчасного виявлення крадіжки цінних речей, джерела загоряння тощо. Особливо сприятливим середовищем, для такого роду негативних наслідків є завадова обстановка. Серед різноманітних класів комп'ютерних інформаційних систем і мереж особливе місце займають системи і мережі, транспортна служба яких побудована на використанні радіоефіру в якості середовища передачі даних комп'ютеризованих систем вимірювання відстані (безпроводні сенсорні мережі). Тому при створенні наукових основ побудови комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин важливе місце займає продуктивність безпроводових сенсорних мереж. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є модифікація існуючої класичної еталонної моделі взаємодії відкритих систем (EM OSI/ISO). Згідно з цією моделлю проектуються, створюються і експлуатуються більшість засобів передачі даних інформаційно-вимірювальних систем. Також не менш важливим є теоретичний аналіз та пошук оптимальних методів моделювання та збільшення продуктивності каналів передачі даних комп'ютеризованих систем вимірювання відстані.

Таким чином, одними з найбільш проблемних місць безпроводних сенсорних мереж є несвоєчасність передачі інформації, а також помилки при передачі. Це, в свою чергу, є причиною завадової обстановки та призводить до великої імовірності похибок при вимірюванні відстані.

**Мета дослідження** – розробка нових та удосконалення існуючих технологічних рішень для підвищення продуктивності безпроводних сенсорних мереж, що входять до складу систем вимірювання відстані.

**Аналіз останніх досліджень.** Питанням дослідження інформаційно-вимірювальних систем, в тому числі і дослідженням технологій моделювання, управління і взаємодії комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин, присвячено роботи сучасних вчених Кваснікова В.П., Орнадського Д.П., Осмолівського А.І., а також роботи Геєра Д., Ірвіна Дж., Лієрі Дж., Рошана П., Столлінгса В., Харля Д. та ін.

**Виклад основного матеріалу.** Пристрій FFD використовує деревоподібну скорочену адресацію під час ухвалення рішення про маршрут. Кожен маршрутизатор, на якому дозволено використовувати скорочення, повинен підтримувати таблицю, що містить пари виду  $DN$ , де  $D$  – адреса призначення і  $N$  – адреса наступного пристрою на шляху до призначення. Комбінація маршрутизації на деревоподібному принципі забезпечує гнучкість роботи і надає розробникам вибір оптимального відношення ціна/продуктивність рис. 1 [1; 2].

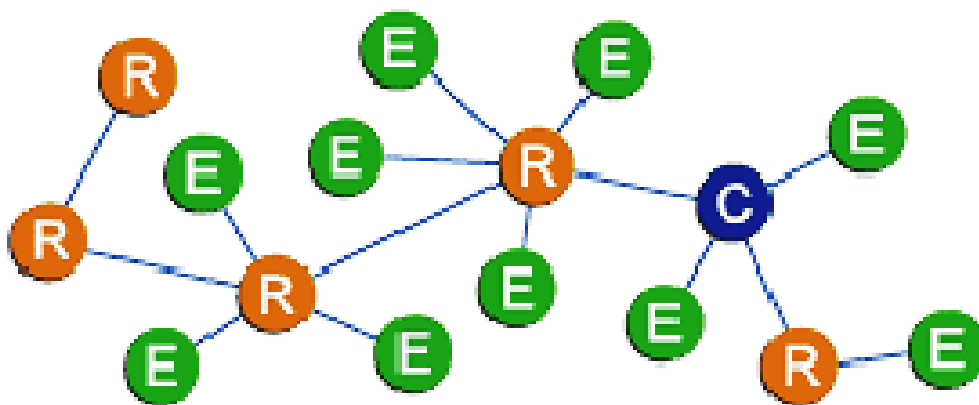
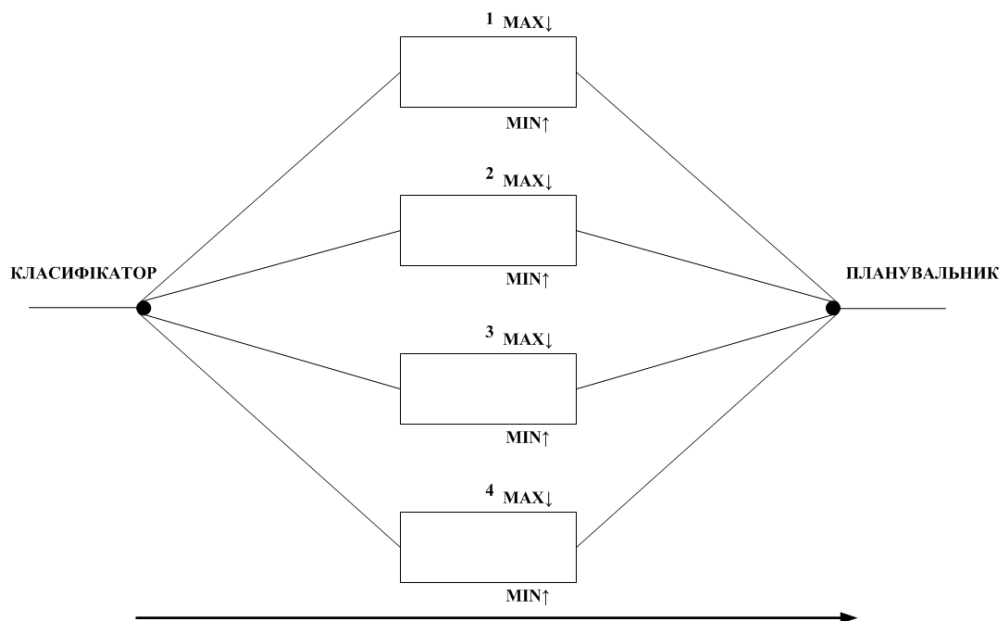


Рис. 1. Структура сенсорної мережі

Для підвищення продуктивності пристроїв FFD, розглянемо алгоритм підвищення продуктивності безпроводної мережі, оснований на перерозподілі пропускної спроможності каналу передавання [3].

Структура системи розподілу пропускної спроможності по підканалам наведена на рис.2.



**Рис. 2. Структура моделі каналу передавання сенсорної мережі з використанням адаптованого методу перерозподілу пропускної спроможності**

Перерозподіл буде відбуватися наступним чином:

1. Користувачеві або групі користувачів з найнижчим пріоритетом присвоюється число 1, кожному наступному пріоритету присвоюється число на 1 більше.
2. Таким же чином пріоритети будуть присвоюватись і класам трафіку.
3. Далі обчислюється пропускна спроможність підканалу, який буде надано для відправки пакету, за формулою 4.1:

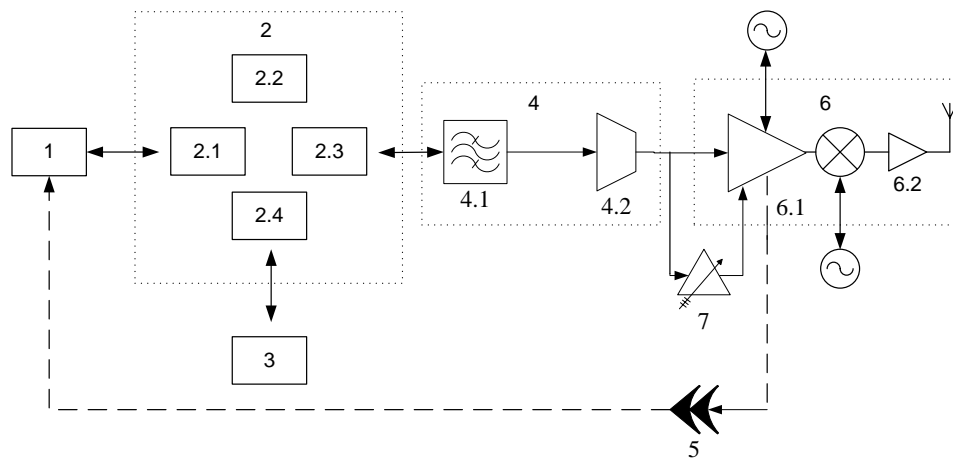
$$C(\%) = \frac{P_K + P_T}{2} \times 10 \quad (4.1)$$

де  $C$  – пропускна спроможність у відсотках,  $P_K$  – пріоритет користувача,  $P_T$  – пріоритет трафіку (дана формула справедлива лише в тих випадках, коли сума пріоритету користувача та трафіку не перевищує 10).



Головною умовою є те, щоб користувачеві з найвищим пріоритетом ніколи не нараховувались усі 100% пропускної спроможності, а з найнижчим ніколи не було 0%.

Іншою задачею є введення в структурну схему пристрою бездротового передавання даних лінії, що виконувала б функцію зв'язку між додатками фізичного та мережевого рівнів еталонної моделі *OSI*. Тобто працювала б на основі алгоритму моніторингу стану якості сигналу. Саме з цієї причини в існуючу структурну схему пристрою бездротового зв'язку вводиться аналізатор якості сигналу (5) рис. 3 [4; 5].



**Рис. 3. Структурна схема пристрою передавання даних в сенсорних мережах стандарту *IEEE 802.15.4* з системою підвищення якості роботи в зонах невпевненого прийому або з недостатньою завадостійкістю**

При побудові пристрою, блоки розбито на модулі, згідно їхньої належності до того чи іншого рівня еталонної моделі *OSI*. Даний пристрій містить керуючий блок 1, модуль підрівня *LLC* канального рівня моделі *OSI* 2, блоку хост інтерфейсу 2.1, вбудованого мікроконтролера 2.2, блоку додатку прийомо/передавача 2.3, блоку шинного інтерфейсу 2.4, пам'яті 3, модулю підрівня *MAC* канального рівня *OSI* 4, контролера смуги частот 4.1, радіочастотного прийомо/передавача 4.2, аналізатора сигналу 5, модуля фізичного рівня *OSI* 6, інтерфейсу фізичного рівня 6.1, антени 6.2., блоку автоматичного налаштування частоти 7. Далі наводиться опис



роботи даного пристрою. Керуючий блок 1, надсилає команду про відправку пакета та сам пакет на модуль підрівня *LLC* канального рівня моделі *OSI* 2. В модулі підрівня *LLC* канального рівня моделі *OSI* через блок хост інтерфейсу 2.1, пройшовши відповідні перетворення, за допомогою додатків даного модуля, пакет стає фреймом. Після чого вбудований мікроконтролер 2.2 передає фрейм до блоку додатку прийомо/передавача 2.3 та через блок шинного інтерфейсу 2.4 записує дані про стан передавання до пам'яті 3, де вони ще певний час зберігаються. Блок додатку прийомо/передавача 2.3 спрямовує фрейм до модуля підрівня *MAC* канального рівня *OSI* 4. В модулі підрівня *MAC* канального рівня *OSI* модулі контролер смуги частот 4.1 підбирає для даного фрейму оптимальний діапазон частот, та спрямовує фрейм до радіочастотного прийомо/передавача 4.2. В даному модулі відбувається як перетворення фрейму у електромагнітні коливання та й їх модуляція відповідно до вмісту фрейму. Після цього коливання передаються до модулю фізичного рівня *OSI* 6, а інформація про підібраний блоком 4.1 діапазон частот передається до блоку автоматичного налаштування частоти 7. Блок 6.1 модулю фізичного рівня *OSI* накладає електромагнітні коливання на частоту, яка налаштовується блоком 7. Коливання спрямовуються до антени 6.2, яка передає сигнал до радіоефіру.

Аналізатор сигналу 5 постійно відстежує інформацію про стан передавання даних. Він відсилає відповідні запити до інтерфейсу фізичного рівня 6.1 та отримує від нього інформацію про стан передавання даних. Інформацію про стан передавання даних аналізатор сигналу 5 передає до керуючого пристрою 1, після чого відбувається прийняття рішення про зміну умов передавання даних за необхідністю. Під прийняттям рішень розуміється очікування покращення стану якості сигналу (за правилами алгоритму).

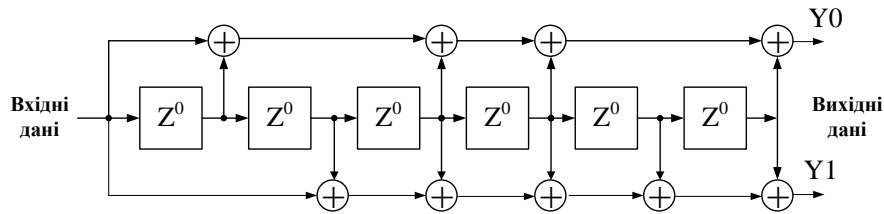
Далі опишемо метод згорткового (*PBSS*) кодування, що пропонується в попередніх пунктах, як технологія для покращення якості передавання даних при падінні стану сигналу. Даний метод рекомендується для застосування в пристрої рис. рис. 3.

Ідея згорткового кодування полягає в наступному. Послідовність вхідних інформаційних бітів, перетвориться в згортковому кодері так, щоб кожному вхідному біту відповідало більш за один вихідний. Тобто згортковий кодер додає певну надлишкову інформацію до початкової послідовності. Якщо, приміром, кожному вхідному біту відповідають два вихідних, то говорять про згорткове кодування із швидкістю  $r = 1/2$ . Якщо ж кожним двом вхідним бітам відповідають три вихідних, то швидкість згорткового кодування складатиме вже  $2/3$  [6; 7].

Будь-який згортковий кодер будується на основі декількох послідовно пов'язаних запам'ятовуючих осередків і логічних елементів *XOR*. Кількість осередків визначає кількість можливих станів кодера. Якщо, приміром, у згортковому кодері використовується шість осередків, то в кодері зберігається інформація про шість попередніх станів сигналу, а з урахуванням значення вхідного біта, отримаємо, що в такому кодері використовується сім бітів вхідної послідовності. Такий згортковий кодер називається кодером на сім станів ( $K = 7$ ).

Вихідні біти, що формуються в згортковому кодері, визначаються операціями *XOR* між значеннями вхідного біта і бітами, що зберігаються в осередках, що запам'ятовують, тобто значення кожного формованого вихідного біта залежить не лише від інформаційного біта, що входить, але і від декількох попередніх бітів.

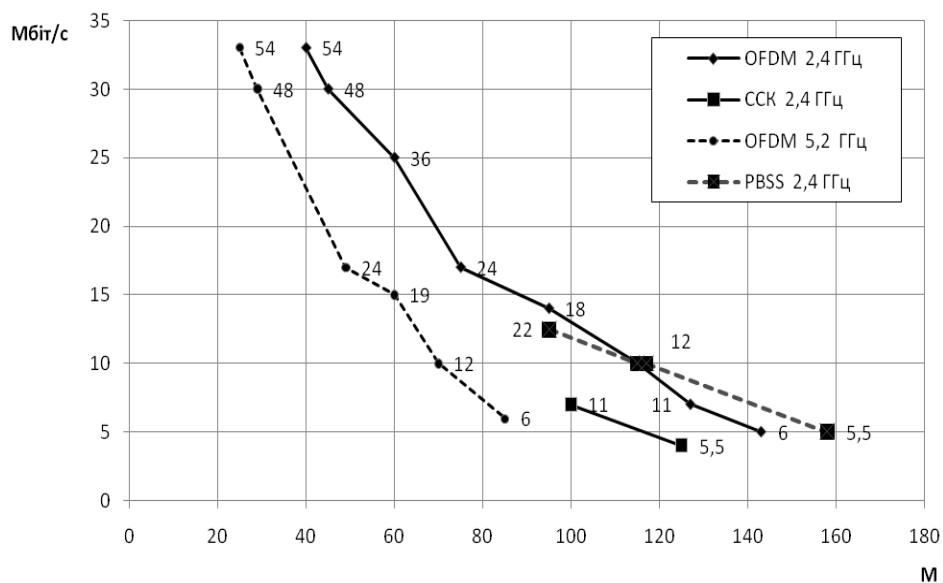
У технології *PBSS* використовуються згортковому кодері на сім станів ( $K = 7$ ) із швидкістю  $r = 1/2$ . Схема такого кодера показана на рис 4.



**Рис. 4. Схема згорткового кодера, що застосовується в кодуванні PBSS  
( $K = 7, r = 1/2$ )**

Головною перевагою згорткових кодерів є завадостійкість формованої ними послідовності: навіть у разі виникнення помилок прийому початкова послідовність бітів може бути безпомилково відновлена. Для відновлення початкової послідовності бітів на стороні приймача застосовується декодер Витербі [8-10].

Далі дослідимо особливості даного пристрою при його роботі в бездротовій комп'ютерній мережі. При допомозі засобу моделювання бездротових мереж спеціального призначення, розрахуємо зниження дальності передавання даних, в залежності від механічних перешкод, а також пов'язані з цим втрати пропускнуєї спроможності. На основі одержаних результатів побудуємо графік (Рис. 5).



**Рис. 5. Залежність фактичної швидкості передавання від дальності**

На даному графіку видно, що при переході на метод кодування *PBSS*, 2,4 ГГц (виділено жирним шрифтом), дальність передавання даних збільшується у порівнянні з технологією *OFDM*, 2,4 ГГц, приблизно на 15 – 17 м. Для пристроїв, що при цьому залишаться працювати на стандарті *IEEE 802.15.4*, фактична швидкість буде сягати майже 18 Мбіт/с. На основі цього можна сказати, що введення в пристрій передавання даних додаткового блоку цілком виправдане, щодо питання збільшення дальності передавання даних.

**Висновки.** Проведено детальний аналіз видів пристроїв безпроводних сенсорних мереж, їх основні відмінності, а також розглянуто варіант топології включення їх в мережу.

Запропоновано удосконалити принцип роботи маршрутизатора безпроводної сенсорної мережі, ввівши в нього алгоритм, що оснований на перерозподілі пропускної спроможності каналу передавання

Розроблено корисну модель структурної схеми пристрою підвищення якості бездротового передавання даних в зонах невпевненого прийому або з не-достатньою завадостійкістю, що базується на основі методу «Моніторинг стану якості зв'язку»

### **Література**

1. Callaway E.H. *Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols*. – New York: CRC Press LLC, 2004. - 350 p.
2. Rishi Pidva "Security in Wireless Sensor Networks" (March 3 2003 [http://www.cs.wmich.edu/wsn/doc/spins/Pidva\\_SPINS.pdf](http://www.cs.wmich.edu/wsn/doc/spins/Pidva_SPINS.pdf)).
3. Дуднік А.С., Якунін В.П. Безпроводовий маршрутизатор з динамічним перерозподілом потоку заявок. Пат. № 69626 України, МПК Н04В 7/005.№ u201111748; Заявл. 05.10.11; Опубл. 10.05.12. Бюл. - № 9. – 4 с.

4. Дуднік А.С. Спосіб підвищення продуктивності безпроводових комп'ютерних мереж на основі міжрівневої взаємодії та пристрій для його реалізації / А.С. Дудник, Є.В. Шевцова, О.О. Зубарева // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – 2011. – № 4 (36). – С. 45-50.
5. Дуднік А.С., Шевцова Є.В., Яценко М.М., Зубарева О.О. Пристрій підвищення якості передавання даних в бездротових мережах в зонах невпевненого прийому або з недостатньою завадостійкістю Пат. № 60400 України, МПК Н04В 7/005;. - № u201007469; Заявл. 15.06.10; Опубл. 25.06.11. Бюл. - № 12. – 4с.
6. Кузьмин Л.В., Морозов В.А. Статистические характеристики ансамбля сверхширокополосных линий связи в условиях многолучевого распространения внутри помещений, РиЭ, 2009. – т. 54. - №3. – С. 329-338.
7. Кузьмин Л.В., Морозов В.А., Старков С.О., Хаджи Б.А. Анализ помехоустойчивости приема сверхширокополосных хаотических сигналов в условиях многолучевого распространения внутри помещений, РиЭ, 2006. – Т. 51. – №11. – с. 1360-1367.
8. Jay Martin Mineo Takai and Rajive Bagrodia. Effects of wireless physical layer modeling in mobile ad hoc networks. In Proceedings of the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, 2008. – p. 87-94.
9. Jim Geier Wireless Networks first-step – Indianapolis: Cisco Press: 2005. – 189 pp.
10. Judd, G.; Steenkiste, P., "Design and implementation of an RF front end for physical layer wireless network emulation," Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th , vol., no. – pp. 974-979. – 22-25 April 2007.