

УДК 621.396.946

*О.І. Лисенко, д-р техн. наук, проф., С.М. Чумаченко, д-р техн. наук, ст. наук. співроб., С.В. Валуйський, канд. техн. наук, О.М. Тесленко*

## **ТЕХНОЛОГІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В ЗОНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ**

В статті розглядається технологія екологічного моніторингу та оцінювання ризиків у зоні спостереження об'єктів підвищеної небезпеки з використанням інтелектуальної сенсорної техніки. Також розглядається задача оптимального розміщення сенсорів в області моніторингу. Для вирішення даної задачі визначені наступні основні евристичні підходи: блокова евристика покриття, гексагональна евристика покриття, квадратна евристика покриття. Результати експериментів показали, що всі запропоновані алгоритми можуть застосовуватися при вирішенні завдання, при цьому вибір конкретного алгоритму обумовлено конкретними вимогами до задачі.

*Ключові слова:* технологія, моніторинг, сенсор, мережа, евристика.

*O. Lysenko, Doc. of Sc. (Eng.), prof., S. Chumachenko, Doc. of Sc. (Eng.), Sen. Res., S. Valuiskyi, Cand. of Sc. (Eng.), A. Teslenko*

## **TECHNOLOGY FOR ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE AREA OF SURVEILLANCE BY THE INCREASED DANGER OBJECTS**

The article presents a technology for environmental monitoring and risk assessment in the area of surveillance by the increased danger objects using the intellectual sensor techniques. The problem of optimal placement of sensors in the surveillance area is also illuminated. To solve this problem the following principal heuristic approaches are outlined: block cover heuristic, hexagonal cover heuristic, square cover heuristic. The outcomes of experiments showed that all of the proposed algorithms can be applied to solve the problem, furthermore the selection of algorithm is dictated by the specific requirements to the task.

*Keywords:* technology, monitoring, sensor network, heuristics.

Як показують події останніх років практично вся територія України є зоною природно-техногенного ризику з точки зору виникнення надзвичайних ситуацій природного (інтенсивні снігопади, повені та зсуви в Закарпатті, Волині, степові і лісові пожежі на півдні України та в Криму) та техногенного (аварії газо- та нафтотранспортних мереж, події в акваторії Чорного та Азовського морів, Керченської протоки тощо) характеру. Отже актуальним питанням є розробка нових інформаційно-телекомунікаційних технологій, що дозволять дистанційно та оперативно здійснювати екологічний моніторинг заданого регіону та оцінювати загрози й ризик виникнення надзвичайної ситуації. Це можливо за рахунок розробки нової інтелектуальної сенсорної техніки та методів організації безпроводових сенсорних мереж (БСМ) для збору і передачі інформації в аналітичні центри ДСНС України для подальшої обробки і прийняття рішень. Колективом авторів у попередніх роботах було започатковано методологію створення сенсорної телекомунікаційної системи оперативного моніторингу в зоні надзвичайних ситуацій із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [1-3]. В подальшому розвитку даної методології авторами запропоновано нову технологію екологічного моніторингу та оцінювання ризиків в зоні спостереження атомних електростанцій із використанням інтелектуальної сенсорної техніки.

Отже, метою роботи було обґрунтування цієї технології та постановка задачі оптимального розміщення сенсорів в зоні спостереження об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН). Об'єктом досліджень був екологічний моніторинг ОПН. Предметом досліджень

були технології екологічного моніторингу із застосуванням безпроводових сенсорних мереж. В роботі застосовувались такі *методи дослідження*: чисельні методи математичного моделювання, методи теорії оптимізації, методи покриття багатозв'язних ортогональних багатокутників.

Технологія екологічного моніторингу та оцінювання ризиків у зоні спостереження об'єктів підвищеної небезпеки із застосуванням інтелектуальної сенсорної техніки (рис.1) являє собою сукупність технічних рішень побудови безпроводових сенсорних мереж (наприклад, на основі стандартів IEEE802.15.4/ZigBee) з використанням моніторингово-сигнальних датчиків, безпілотних літальних апаратів і геоінформаційних технологій.

Технологічний продукт дозволяє вирішувати такі важливі проблеми, як дистанційний 3D моніторинг зони спостереження, оцінка ризиків впливу потенційно-небезпечних об'єктів на здоров'я людей, які проживають у зоні спостереження, забезпечення інформаційно-телекомунікаційних послуг в районах із зруйнованою або відсутньою інфраструктурою.

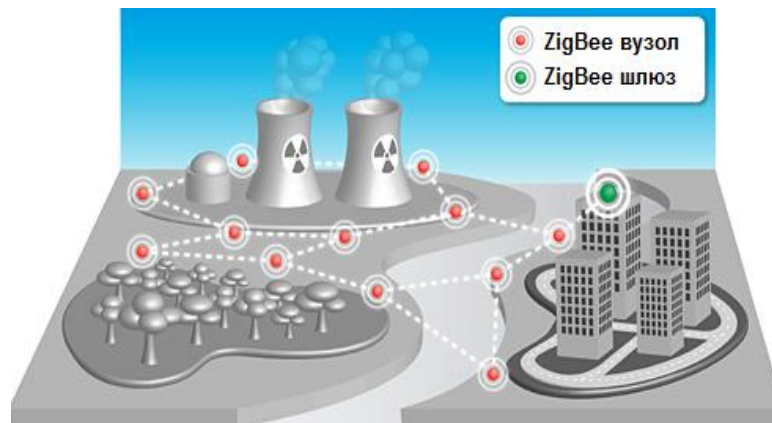


Рисунок 1 – Схемне зображення бездротової сенсорної мережі ZigBee в зоні спостереження АЕС

Ідея технологічного продукту полягає в інтеграції сучасної інтелектуальної сенсорної техніки (датчики моніторингу радіації, хімічних забруднень параметрів навколишнього середовища, безпілотні літальні апарати), з сучасними інформаційно-телекомунікаційними технологіями (БСМ, геоінформаційні системи (ГІС) та ін.). Моніторингові датчики повітряного, наземного і водного базування через мережу радіозв'язку забезпечують оперативний дистанційний моніторинг зони спостереження потенційно-небезпечних об'єктів, а геоінформаційні технології забезпечують візуалізацію і 3D географічну прив'язку отриманої інформації до конкретного ОПН.

Типовий сенсорний пристрій може містити такі елементи (рис.2): обчислювальна платформа (наприклад, на основі процесору Cortex), платформа датчика радіації з трубкою Гейгера, радіо модуль ZigBee, GPS (Global Positioning System) модуль, GPRS (General Packet Radio Service) модуль, літієва акумуляторна батарея. Пристрій працює циклічно: більшу частину часу він «спить», щоб економити заряд батареї, а через певні проміжки прокидається і протягом 1 хвилини зчитує імпульси, що генеруються трубкою Гейгера. Потім порівнює отриманні значення із заданими порогами безпеки. Якщо значення не перевищують поріг, вони передаються за допомогою радіо інтерфейсу ZigBee через мережу ретрансляторів до шлюзу і зберігаються в базі даних в Інтернеті. Якщо значення перевищують визначений поріг безпеки, то як і через мережу ZigBee вони також передається безпосередньо до служби безпеки за допомогою SMS повідомлення, використовуючи GPRS інтерфейс, або надсилаються в Інтернет через TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) сокет. Окрім значення, отриманого з лічильника Гейгера, пристрій додає також інформацію про GPS координати (широта, довгота, висота), щоб визначити точне місце розташування джерела випромінювання та забезпечити 3D візуалізацію в ГІС.

Однією з головних задач при організації безпроводової сенсорної мережі для

дистанційного збору інформації є задача пошуку оптимальної топології мережі, яка декомпонується на дві часткові задачі – пошук оптимального розміщення сенсорів для повного покриття області моніторингу та пошук оптимального розміщення множини ретрансляторів для організації зв'язаної мережі із заданими характеристиками передачі інформації (пропускна здатність, затримка тощо). В роботі [3] розглядалася задача синтезу оптимальної топології ретрансляторів за критерієм максимуму пропускної здатності, в даній роботі розглянемо задачу оптимального розміщення сенсорів в області моніторингу.

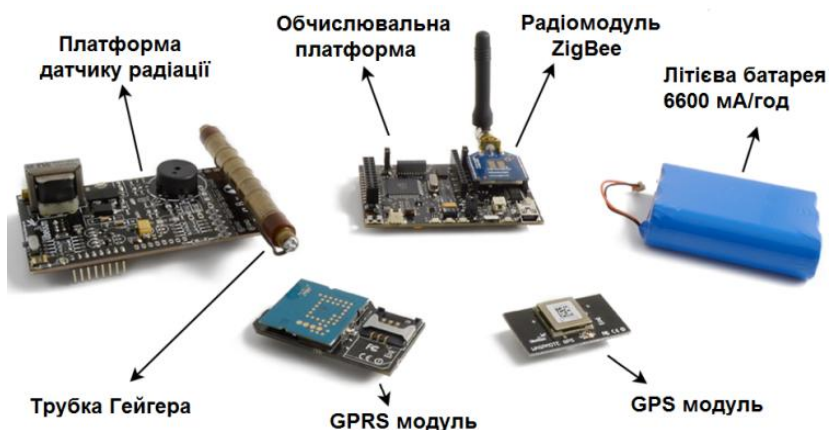


Рисунок 2 – Схемне зображення комплектації інтелектуального сенсорного пристрою БСМ екологічного моніторингу ОПН

Зона моніторингу сенсора (дальність детектування) зазвичай представляється у вигляді кола радіусу  $r$  з центром в місці розташування сенсора. Тоді задачу можна сформулювати наступним чином: необхідно розмістити мінімальну кількість сенсорів, що забезпечують моніторинг (покриття) всієї області потенційно-небезпечного об'єкту. Зазвичай зона моніторингу має довільну форму, яку можна легко апроксимувати багатозв'язним ортогональним багатокутником.

Задача покриття багатокутника легко зводиться до більш простої проблеми покриття прямокутної області з перешкодами (ПП) (рис.3). Вихідний багатокутник позначимо через  $P$ , обмежену прямокутником область –  $A$ . Доповнення  $A \setminus P$  будемо трактувати як безліч фіктивних перешкод. Далі будемо працювати з ПП. Задані і фіктивні перешкоди на малюнку заштриховані.

На площині введемо систему координат  $(OX, OY)$  таким чином, щоб осі координат збігалися з нижньою і лівою сторонами покриття прямокутної області  $A$ . Вихідна інформація задачі може бути представлена наступним набором даних:  $\{W, L, Z, r\}$ , де  $W$  і  $L$  – ширина і довжина прямокутника, що покривається;  $Z$  – перешкоди, що задані множиною прямокутників  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$ , де  $m$  – кількість прямокутників перешкод. Сторони прямокутників з  $Z$  паралельні осям координат.  $Z_i = \{z_x^i, z_y^i, z_l^i, z_w^i\}$  – прямокутник, що моделює перешкоду, де  $i = \overline{1, m}$ ,  $(z_x^i, z_y^i)$  – координати нижнього лівого кута прямокутника  $Z_i$ ;  $(z_l^i, z_w^i)$  – довжина і ширина прямокутника  $Z_i$ . Багатокутник  $A \setminus Z$  потрібно покрити мінімальною кількістю  $N$  рівних кіл радіусу  $r$ .

Розв'язок задачі може бути представлений у вигляді набору даних:  $R = \{N, X, Y\}$ , де  $N$  – кількість кіл, що покривають, у розв'язку;  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ ,  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$  – вектори координат центрів кіл. Розв'язок  $R$  є допустимим покриттям, якщо виконуються наступні умови  $\Omega$ :

1) Кола знаходяться усередині прямокутника  $A$ :

$$x_j \geq 0; y_j \geq 0; x_j \leq L; y_j \leq W \quad \forall j = \overline{1, N}.$$

2) Центри кіл не лежать всередині перешкод:

$$\text{виконується хоча б одна з нерівностей: } (x_j - z_x^i)(x_j - z_x^i - z_l^i) \geq 0 \text{ або } (y_j - z_y^i)(y_j - z_y^i - z_w^i) \geq 0$$

$$z_y^i - z_w^i) \geq 0 \quad \forall i = \overline{1, m}, j = \overline{1, N}.$$

3) *Покрита вся область  $A \setminus Z$* : якщо  $(p_x, p_y)$  – довільна точка на області  $A \setminus Z$ , то  $\exists j: (p_x - x_j)^2 + (p_y - y_j)^2 \leq r^2$ .

Допустимий розв'язок  $R$  є оптимальним, якщо число  $N$  кіл покриття мінімальне, тобто  $R_{opt} = \arg \min_{x, y \in \Omega} N$ .

Приклад покриття наведено на рис. 4. Перешкоди на рисунку зображені темним кольором.

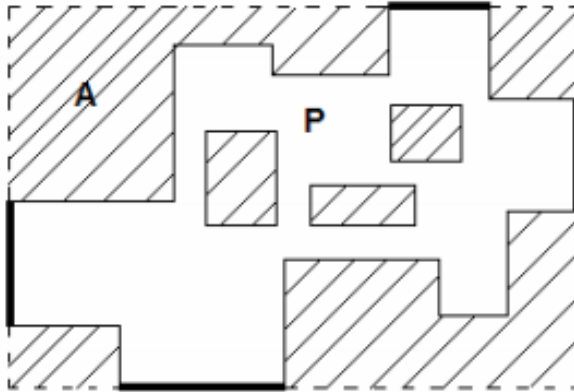


Рисунок 3 – Зона моніторингу у вигляді багатокутника

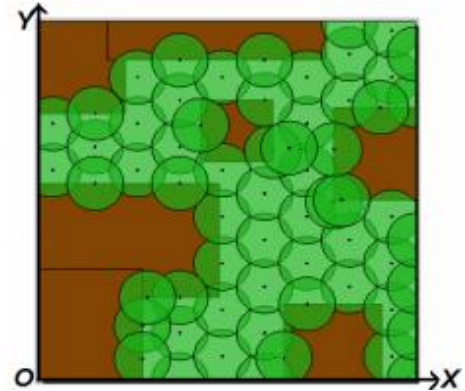


Рисунок 4 – Покриття багатокутника кругами

Розв'язком подібних задач займалися такі вчені, як Л.Ф. Тот, С.Н. Астраков, Е.А. Мухачева, В.Ю. Кузнецов та ін. [4-6]. Узагальнюючи їх досвід можна виділити наступні основи евристичні підходи: блочна евристика покриття, гексагональна евристика покриття, псевдо-гексагональна евристика покриття, еволюційна мета-евристика та ін. Розглянемо їх детальніше.

*Блокова евристика покриття* представляє модифікацію блокової упаковки. Її суть заснована на тому, що в задачах упаковки деталі не перетинаються і в підсумковій упаковці можуть залишатися порожнечі; в задачах покриття деталі можуть перетинатися і пустот в підсумковому рішенні немає.

Нехай є схема часткового покриття, що містить перешкоди і вже розміщені квадрати. Через вертикальні сторони фігур проводяться прямі. Таким чином, область розбивається на вертикальні блоки. Приклад блок-структури розміщення об'єктів на прямокутній ділянці ширини  $W = 245$  і довжини  $L = 451$  наведено на рис. 5. Блок-структура являє собою послідовність блоків, в яких можуть зберігатися елементи трьох типів:  $Z$  – заборонені ділянки,  $F$  – вільні ділянки,  $D$  – покриті об'єкти. При вирішенні задачі покриття вільні області блок-структури заповнюються послідовно зліва направо і знизу вверх квадратами, вписаними в круги радіусу  $r$ .

При розміщенні чергового квадрата може виникнути ситуація, коли його центр потрапляє всередину перешкоди. Отже центр кола в задачі покриття колами МП також потрапить всередину перешкоди. У цьому випадку квадрат потрібно пересунути таким чином, щоб його центр потрапив на межу забороненої ділянки. На рис. 6 цифрами 1-5 показані можливі переміщення квадрата. Переміщення центру квадрата здійснюється по будь-якій з допустимих траєкторій, але доцільно здійснювати зсув на можливо меншу відстань. У такому випадку положення центру буде ближче до розрахункового, що знижує щільність покриття і може призвести до скорочення кількості покриваючих кіл. Тому у прикладі, наведеному на рисунку, квадрат буде пересунутий по траєкторії 3. По закінченні процесу покриття, квадрати замінюються колами.

*Методологія замощення* використовується при різноманітних формах решітки. Наприклад, на рис. 7 зображене *гексагональне покриття* (Hexagonal cover, HC) та *квадратне*

покриття (Square cover, SC).

Алгоритм покриття передбачає виконання наступних кроків:

*Крок 1.* Виконується гексагональне (квадратне) покриття області А в припущенні, що немає перешкод.

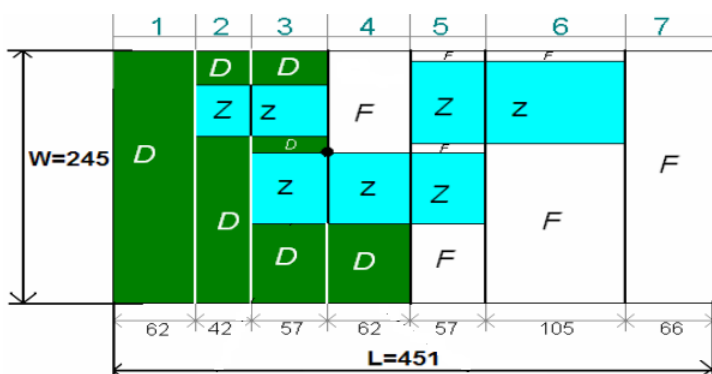


Рисунок 5 – Блок-структура покриття

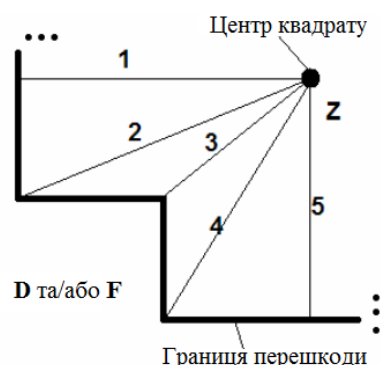
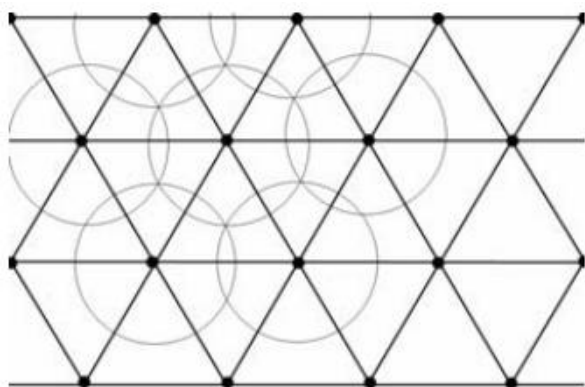
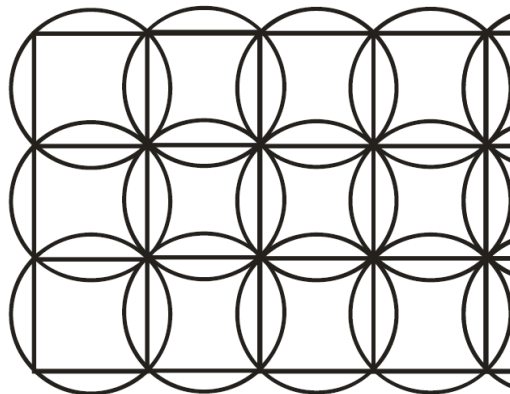


Рисунок 6 – Обхід забороненої ділянки



а)



б)

Рисунок 7 – Гексагональна (а) та квадратна (б) решітка при НС та SC

*Крок 2.* Перешкоди відновлюються; кола з центрами всередині них оголошуються забороненими і видаляються.

*Крок 3.* Виконується пошук і покриття порожніх ділянок, що виникли після видалення заборонених кіл.

Визначення порожніх ділянок можливе шляхом більш дрібнішого замощення. Точки, що потрапили у порожнину покриваються колом, центр якого розміщується в центрі тяжіння точок.

Запропоновані алгоритми (BC, HC, SC) являються однопрохідними. Наступний етап підвищення ефективності покриття можливий при використанні багатопрохідних метаевристик.

Результати обчислювального експерименту застосування алгоритмів покриття BC, HC та SC наведено на рис. 8. Вони дають змогу зробити наступні висновки:

1. Блоковий алгоритм поводить гірше на задачах з малим заповненням області перешкодами, в порівнянні з гексагональним алгоритмом. Це пов'язано з тим, що блоковий алгоритм вирішує задачу покриття квадратами. На сильно заповнених областях гексагональний алгоритм поводить гірше блочного через тенденцію «скупчення» кіл;

2. На всіх класах завдань SC гірше ніж BC і HC;

3. Чим більше заповнена область А перешкодами, тим ближче результати SC до HC і BC.

Таким чином всі запропоновані алгоритми можуть застосовуватися при вирішенні

задачі оптимального розміщення сенсорів в зоні моніторингу, вибір конкретного алгоритму диктується конкретними вимогами до задачі. Отримане рішення  $R_{opt}$  є вихідними даними для алгоритмів розміщення ретрансляторів [3].

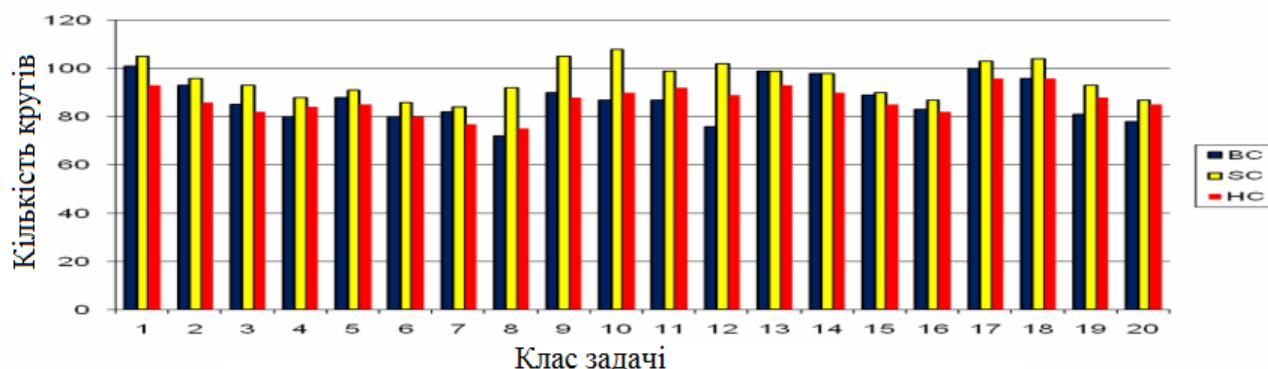


Рисунок 8 – Порівняння евристик SC, BC та HC

**Висновки.** Розроблено нову технології екологічного моніторингу та оцінювання ризиків в зоні спостереження атомних електростанцій із використанням інтелектуальної сенсорної техніки. Сформульовано математичну постановку задачі пошуку оптимального розміщення сенсорів для повного покриття області моніторингу. Розглянуто основні евристичні підходи покриття та можливість їх застосування для даної задачі. За результатами обчислювального експерименту застосування алгоритмів покриття BC, HC та SC встановлено, що всі запропоновані алгоритми можуть застосовуватися при вирішенні задачі оптимального розміщення сенсорів в зоні моніторингу ОПН, при цьому вибір конкретного алгоритму обумовлено конкретними вимогами до задачі. Отримані рішення задачі  $R_{opt}$  можуть застосовуватись у якості вихідних даних для алгоритмів розміщення ретрансляторів безпроводових сенсорних мереж ZigBee, і таким чином дозволять планувати оптимальну топологію сенсорної мережі в зоні спостереження ОПН.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Lysenko O.I., Valuisnyi S.V. Capacity increasing of sensor telecommunication networks / O.I. Lysenko, S.V. Valuisnyi // Telecommunication Sciences. – 2012. – vol. 3. – № 1. – P. 5–11.
2. Лисенко О.І. Сенсорна телекомунікаційна система оперативного моніторингу в зоні надзвичайних ситуацій техногенного характеру / О.І.Лисенко, С.М. Чумаченко, П.І. Кірчу, С.В. Валуйський // Проблеми телекомунікацій : 7-а Міжнар. наук.-техн. конф., 16-19 квіт. 2013р. : матеріали конф. – К., 2013. – С. 37–39.
3. Лысенко А.И., Валуйский С.В., Романюк А.В. Синтез рациональной топологии сенсорной радиосети // Матеріали 22-ї міжнародної Кримської конференції (КрыМиКо '2013) «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» . – 2013. – Т.1. – с. 269 – 270.
4. Тот Л.Ф. Расположения на плоскости, на сфере и в пространстве. – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 1958. – 364 с.
5. Сенсорные сети и покрытие плоскими кругами / С.Н. Астраков, А.И. Ерзин, В.В. Залубовский // Дискретный анализ и исследование операций (Новосибирск). – 2009. – Т. 16, № 3. – С. 3–19.
6. Кузнецов В.Ю. Методы покрытия многосвязных ортогональных многоугольников для задач оптимального размещения сенсоров в области мониторинга: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» / В.Ю. Кузнецов. – Уфа, 2009. – 17 с.