

5. Ю. Сулейман. Модернізація метеорної системи передачі інформації [Текст] / Ю. Сулейман, А. Воргуль. "Актуальні задачі сучасних технологій": збірник тез доповідей міжн.наук.-технічн.конф. 19–20 грудн. 2012р. / Відп. ред. Дзюра В.О м. Тернопіль – Тернопіль,: Видавництво ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012.
6. А. В. Воргуль Исследование цифровых методов модуляции для метеорных систем передачи информации [Текст] / А.В. Воргуль, Ю.Х. Сулейман // Восточно-Европейский журнал передовых технологий 2/9 (62) 2013 сс.24-28.
7. А. В. Воргуль Адаптація цифрової системи передачі інформації к метеорному каналу [Текст] / А.В. Воргуль, Ю.Х. Сулейман // Вісник НТУ «ХПІ». 2013. – №1 (977). С 42-45.
8. В. Вишневикий С.Портной И.Шахнович. Энциклопедия Wimax. Путь к 4G [Текст] – М.:Техносфера, 2009. – 472 с.
9. Р. Морелос-Сарагоса Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. [Текст] – М.: Техносфера, 2005. – 320 с.
10. R.J. McEliece The Guruswami-Sudan Decoding Algorithm for Reed-Solomon Codes [Текст] // IPN Progress report 42-153. May 15, 2003.
11. John G. Proakis Contemporary Communication Systems using Matlab [Текст] / John G. Proakis, Masoud Salehi – Boston:PWS Publ.Comp, 1997. – 427 p.
12. Варагузин В. Вблизи границы Шеннона [Текст] / В. Варагузин – // Телемультимедиа, июнь 2005, сс 3-10.

*В роботі досліджуються методи удосконалення організації проведення пошукових і аварійно-рятувальних робіт із залученням авіаційних пошуково-рятувальних засобів шляхом використання сенсорних мереж, моніторингово-сигнальних датчиків і географічних інформаційних технологій. Запропоновано удосконалений метод прокладання оптимального маршруту польоту БПЛА для збору інформації з віддалених сенсорів за критерієм мінімуму пройденого шляху*

*Ключові слова: авіаційний пошук, сенсорна мережа, моніторингово-сигнальний датчик, безпілотний літальний апарат*

*В работе исследуются методы совершенствования организации проведения поисковых и аварийно-спасательных работ с привлечением авиационных поисково-спасательных средств путем использования сенсорных сетей, мониторингово-сигнальных датчиков и географических информационных технологий. Предложен усовершенствованный метод прокладывания оптимального маршрута полета БПЛА для сбора данных с удаленных сенсоров по критерию минимума пройденного пути*

*Ключевые слова: авиационный поиск, сенсорная сеть, мониторингово-сигнальный датчик, беспилотный летательный аппарат*

УДК 656.7.076; 621.396.946

## ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СЕНСОРНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ

**А. В. Гурник**

Заступник начальника центру - начальник відділу\*

E-mail: gurnikav@gmail.com

**С. В. Валуйський**

Кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник\*

E-mail: samubf@gmail.com

\*Науково-дослідний центр проблем авіації та авіаційного пошуку і рятування

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту

вул. Вишгородська, 21, м. Київ, Україна, 04074

### 1. Вступ

Забезпечення безпеки діяльності суспільства – складна проблема, яка вимагає вирішення комплексу різномірних завдань і залучення різних технічних засобів. Стихійні лиха, катастрофи на нашій планеті щороку забирають людські життя, руйнують населені пункти й різні об'єкти, приносять великі збитки господарству. Тільки стихійні лиха завдають населенню і світовому господарству, у тому числі Україні, збитків на суму по-

над 70 млрд. доларів щороку [1]. За оцінкою експертів, в Україні в цілому, техногенне навантаження на природне середовище у 5-6 разів вище, ніж у інших розвинутих країнах. Подальший розвиток складних технічних і технологічних систем в Україні пов'язаний з зростанням ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС), як техногенного, так і природного характеру [2].

Разом з цим державна система у сфері забезпечення безпеки життєдіяльності людей в Україні через економічну кризу і технологічне відставання на сьогодні не

може бути визнана як така, що повною мірою задовольняє вимогам міжнародних організацій та інститутів в галузі безпеки життєдіяльності й потребам забезпечення результативності цих систем, а отже підлягає вдосконаленню. Зокрема актуальним на сьогодні є виявлення нових методів удосконалення організації проведення пошукових і аварійно-рятувальних робіт.

Так залучення авіаційних пошуково-рятувальних засобів із використанням безпроводових сенсорних мереж (БСМ), моніторингово-сигнальних датчиків (МСД) і географічних інформаційних систем (ГІС) дозволить удосконалити моніторинг, прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, значно покращить організацію їх попередження, дозволить завчасно прийняти необхідні заходи для їх запобігання чи послаблення руйнівної сили, більш конкретно й оперативно виконувати завдання з ліквідації наслідків, у тому числі авіаційних пригод (авіаційних подій чи інцидентів).

**2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми**

На сьогодні багато іноземних і вітчизняних науковців досліджують застосування БСМ у багатьох галузях сфери цивільного захисту: при реагуванні на надзвичайні ситуації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій [3, 4], для виявлення зсувів [5], для патрулювання державних кордонів [6], для моніторингу стану атмосферного повітря [7], для виявлення та оповіщення про пожеги в лісах, всередині будівель та на промислових об'єктах [8, 9] тощо. Також існує чимало робіт по застосуванню безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу зони надзвичайної ситуації [10, 11].

Але, недостатньо дослідженими є нові напрями розвитку моніторингу надзвичайних ситуацій із залученням авіаційних засобів, які змогли б удосконалити організацію проведення пошукових і аварійно-рятувальних робіт, а отже підлягають більш поглибленому дослідженню.

**3. Мета і задачі дослідження**

Метою наукової статті є дослідження можливості використання безпроводових сенсорних мереж, моніторингово-сигнальних датчиків і географічних інформаційних технологій в системі моніторингу і прогнозування надзвичайних ситуацій із залученням авіаційних пошуково-рятувальних засобів.

Для досягнення мети досліджень необхідно вирішення наступних взаємопов'язаних задач: обґрунтування організації проведення моніторингу надзвичайної ситуації із застосуванням БСМ; розробка методів збору інформації з віддалених сенсорів, розміщених в зоні надзвичайної ситуації, із використанням БПЛА.

**4. Організація проведення моніторингу надзвичайної ситуації із застосуванням безпроводових сенсорних мереж**

Знання причин виникнення і характеру розвитку НС дозволяє завчасно прийняти необхідні заходи, щоб

запобігти, а в деяких випадках послабити їх руйнівну силу, більш конкретно й оперативно проводити заходи з ліквідації наслідків.

Удосконалюючи ці питання, наша держава повинна займатися утриманням і підготовкою потужної системи цивільного захисту, яка створена не тільки для ліквідації НС, але й для запобігання їх виникнення. Ці завдання мають вирішуватись шляхом постійного і ефективного моніторингу й запровадження превентивних заходів, які б завчасно припиняли розвиток загрозливих явищ і їх накопичення. Для цього має функціонувати дієва система спостережень, оцінок, прогнозування стану і змін з метою виявлення критичних ситуацій і факторів, що можуть спричинити НС, прогнозування й попередження про можливі її зміни, розробку науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень щодо організації й проведення запобіжних, а за необхідності, пошукових та аварійно-рятувальних робіт й надання допомоги потерпілим.

Для своєчасного виявлення загрози виникнення НС в Україні діє система моніторингу (рис. 1).

У системі моніторингу виконуються три специфічні функції: спостереження, оцінка й прогноз.

Через недостатнє забезпечення сучасним технічним обладнанням структур, що входять до неї, недоліки в мережі зв'язку, відсутність сучасних технічних засобів обміну комп'ютерної інформації з урахуванням інтелектуального аналізу даних, система може належно за певних умов вирішувати суто відомчі завдання і лише у разі виникнення НС починає працювати на єдиний координуючий орган.

Блоки «Спостереження» та «Прогнозування» тісно пов'язані між собою, оскільки прогнозування стану, моделі НС, можливе лише при наявності репрезентативної інформації про фактичний стан (прямий зв'язок, на рис. 1 показано суцільними стрілками).

Прогнозування, з одного боку, передбачає володіння інформацією щодо закономірності змін стану природного середовища (об'єкта), наявність схеми і можливостей математичного розрахунку, з іншого – спрямованість прогнозування, яка значною мірою повинна визначати структуру і склад мережі спостереження (зворотний зв'язок, на рис. 1 показано пунктирними стрілками).

Державний моніторинг НС України в межах своїх повноважень здійснюють відповідні міністерства й відомства.

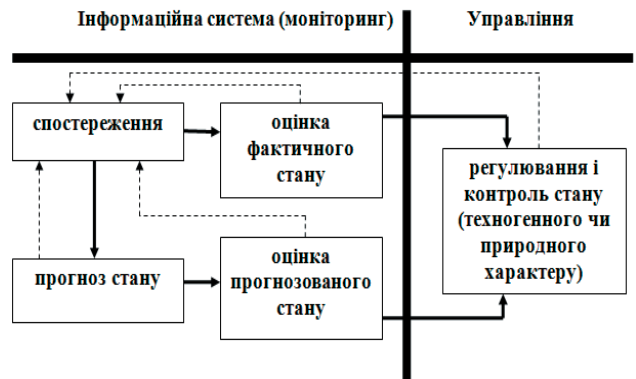


Рис. 1. Блок - схема системи моніторингу

У той же час суть моніторингу полягає в тому, що система попередження і ліквідації наслідків НС формується не тільки і не стільки як система, що оперує власними силами і засобами, але і як система, що здатна ефективно переключати на себе управління ресурсами всього господарського комплексу у необхідному обсязі у випадку виникнення НС чи при їх запобіганні.

Дані моніторингу і системна інформація про різні процеси та явища є основою для якісного і кількісного прогнозування.

В цілях прогнозування проводять нагляд за відповідними процесами на визначеній ділянці найбільш «чутливих» до НС техногенних і природних об'єктів і вираховують його майбутнє значення в упередженій точці. При цьому, як правило, оцінюється, як математичне очікування конкретного значення процесу в цій точці (точковий прогноз), так і величина інтервалу, в якій з заданою вірогідністю потрапляє майбутнє значення процесу (інтегральний прогноз) [12].

Побудувати математичну модель поведінки об'єкта можливо за умови знання об'єктивної інформації про об'єкт прогнозування, яка розкриває його поведінку в минулому й у теперішній час, а також закономірності його поведінки.

Умовами точності прогнозу на першому етапі математичного прогнозування є: збирання та підготовка вихідних даних; обробка інформації про об'єкт прогнозування, її уточнення, одержання додаткових характеристик, що впливають на його стійкість до зовнішніх факторів тощо.

До теперішнього часу розроблено широкий арсенал методів завчасного короткострокового прогнозування НС і їх можливих наслідків (завчасна зйомка території (об'єктів); відомі характеристики об'єктів у їхньому природному стані; виявлені фактори і явища, що можуть внести зміни; отримання даних з карт, описів, довідкової і спеціальної літератури).

Але в останнє десятиріччя розвиваються й набувають силу методи оперативного прогнозування запобігання НС, пошуку і рятування із залученням пілотованих і не пілотованих авіаційних засобів з використанням географічних інформаційних технологій і моніторингово-сигнальних датчиків та сенсорних мереж.

Використовувана ГІС може містити аналітичну інформацію про найбільш «чутливі» до НС техногенні й природні об'єкти, про населення і характеристики забудов на території країни.

Система по одержуваній через Інтернет у реальному масштабі часу інформації про якісні та кількісні параметри можливої НС може видавати прогнози наслідків, а також розрахунок необхідних сил і засобів для проведення пошуково-рятувальних, аварійно-рятувальних робіт.

Відомо, що показник ефективності цих робіт суттєво залежить від своєчасного прогнозу організації і проведення як попереджувальних, так і ліквідаційних робіт [13].

На сьогодні структурні підрозділи Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) не у повному обсязі оснащені технічними засобами, необхідними для моніторингу й розвідки важкодоступних і масштабних зон НС. Для цього органами ДСНС, як правило, залучається авіація.

Проте використання можливостей пілотованої авіації не завжди ефективно через достатньо довгий час реагування, великі фінансові витрати, жорстку залежність від погодних умов тощо.

Найбільш перспективним напрямком для вирішення даної проблеми, на наш погляд, є застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з корисним навантаженням до 50 кг, станціями наземного управління та широким спектром інструментальних засобів моніторингу, виявлення та розвідки НС, що дозволить значно зменшити часові витрати на організацію і проведення запобіжних заходів або пошуково-рятувальних (аварійно-рятувальних) робіт.

За допомогою інструментальних засобів літальні апарати можуть вирішувати різні завдання: отримання і передавання даних; загоризонтний огляд; визначення міри заподіяного збитку; виявлення обломків літаків і вертольотів й маркерів-відбивачів (для фіксації ділянок місцевості й людей); скидання (розміщення) невеликих вантажів (моніторингово-сигнальних датчиків, сенсорів різного призначення) для проведення моніторингу в пошуковій чи аварійній зоні в умовах небезпечних для людини і у той же час, що вимагають охопту значної площі в стислі терміни; проведення відбору проб (замірювань) в необхідних місцях й передачі інформації про їх результати тощо. У нашій державі не вироблено чіткої концепції будівництва і застосування моніторингово-сигнальних датчиків, різних сенсорів в комплексі із літальними апаратами.

На нашу думку, для моніторингу і прогнозування необхідних природних і техногенних об'єктів доцільно застосовувати оперативний мобільний комплекс модульного типу, який би розгортався як в стаціонарних, так і в польових умовах.

До його складу доцільно включити: систему дистанційного керування польотом БПЛА, оснащену системою позиціонування, радіоканалом для передачі даних з борту; комплектом сенсорів та моніторингово-сигнальних датчиків різного призначення, оснащених приймально-передавальним обладнанням, наприклад стандарту IEEE 802.15.4, які можуть об'єднуватися в єдину мережу в районі спостереження з радіусом до 100-120 км; автоматизоване робоче місце (АРМ) для старшого оператора і оператора; контейнер для утримання різних типів БПЛА; контейнер для зберігання сенсорів і моніторингово-сигнальних датчиків необхідного призначення; програмний комплекс – для можливості швидко і зручно для операторів виконати всі операції з настройки сенсорів і моніторингово-сигнальних датчиків й отримати результати не тільки за допомогою діаграм і графіків, але й за допомогою розробленої системи цифрового картографування та накладати результати вимірів на карту місцевості.

Оперативний мобільний комплекс і його прилади повинні мати можливість стиковки зі глобальними мережами зв'язку (Internet або NGN) для передачі даних в центр обробки даних.

---

## 5. Збір інформації з віддалених сенсорів за допомогою одного БПЛА

---

При наявності групи БПЛА збір інформації з віддалених сенсорів можливо шляхом організації

безпроводової сенсорної мережі із ретрансляцією (маршрутизацією) сигналів через мережу повітряних ретрансляторів, розташованих на БПЛА. Детально це розглядалося в [14]. Однак при цьому необхідною вимогою є повне радіо покриття сенсорів повітряними ретрансляторами (маршрутизаторами), що не завжди доцільно та не завжди вдається на практиці. Тому в даній роботі пропонується здійснювати збір інформації за допомогою одного БПЛА, що послідовно облітає всі сенсори, зчитує з них дані (коли знаходиться в зоні взаємної радіо видимості), запам'ятовує їх і «скидає» в пункт спостереження при поверненні в початкову точку. Це дасть змогу заощадити на кількості БПЛА, однак при цьому суттєво знизиться оперативність отримання інформації. Тому виникає необхідність пошуку такого маршруту польоту БПЛА, що дозволить послідовно зчитати дані з усіх сенсорів та мінімізує сумарно пройдений шлях та відповідно паливні витрати БПЛА.

Здійснимо математичну постановку задачі. Нехай задано множину сенсорів  $S = \{x_i, y_i\}, i = 1, N$ , де  $N$  – кількість сенсорів, розміщених випадковим чином на площині (зоні спостереження) заданого розміру  $r$  з координатами  $(x_i, y_i)$ . Нехай БПЛА переміщується у просторі на постійній висоті  $h$  з постійною швидкістю  $v$  по деякому маршруту  $M$ , що характеризується множиною опорних точок простору з координатами проєкції на земну поверхню  $\{x_j, y_j\}, j = 1, K$ , де  $K$  – кількість точок в маршруті. Вважатимемо, що між точками маршруту БПЛА переміщується по прямолінійній траєкторії, а перша і остання точки співпадають та мають координати  $(0,0)$ . Нехай БПЛА утворює на земній поверхні зону стабільного радіо покриття радіусу  $R$ . Вважатимемо, що при наявності сенсора в зоні стабільного радіо покриття БПЛА, тобто при  $(x_i, y_i) \in R$ , миттєво відбувається зчитування даних моніторингу за певним протоколом взаємодії (наприклад, IEEE 80-2.15.4). Позначимо сумарний шлях, пройдений БПЛА по маршруту, через  $S$ .

Тоді можна сформулювати наступну постановку задачі: знайти такий маршрут польоту БПЛА (сукупність точок  $\{x_j, y_j\}, j = 1, K$ ), який дозволяє в довільній послідовності покрити всі сенсори зоною радіо покриття радіусу  $R$  і при цьому мінімізувати сумарний шлях  $S$ . Математично це можна записати так:

$$M^0 = \underset{\substack{\{x_j, y_j\} \in R \\ \{x_i, y_i\} \in S \\ R << r}}{\operatorname{argmin}} S. \tag{1}$$

При збігу точок маршруту БПЛА з точками розміщення сенсорів, тобто при  $i=j$ , дана задача представлятиме класичну геометричну задачу про комівояжера та може бути вирішена одним з відомих методів комбінаторної оптимізації (методи пожадливих алгоритмів, метод гілок і границь, метод повного перебору та ін.). Однак із зростанням кількості сенсорів поліноміально зростає складність та відповідно час вирішення задачі. Для вирішення цієї проблеми в роботі [15] запропоновано метод рекурсивного повного перебору, що дозволяє вирішувати задачу до 1000 вузлів за прийнятний час. Також для вирішення поставленої задачі можуть бути застосовані стандартні методи переміщення пошуково-рятувальних засобів (кораблів, літаків, верто-

льотів) при виконанні пошукових операції на морі або на суші – паралельні галси (рис. 2а) або квадрат, що розширюється (рис. 2б).

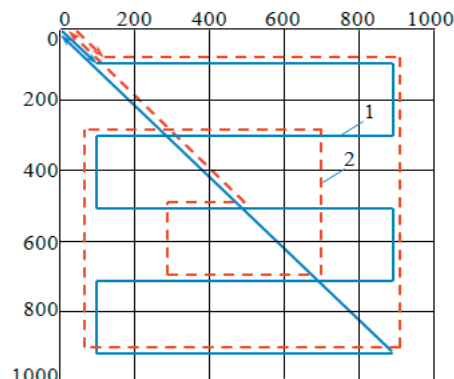


Рис. 2. Схеми пошуку: 1 – паралельні галси, 2 – квадрат, що розширюється

Однак рішення, отримані цими методами, будуть не завжди оптимальними. Наприклад, метод слідування по всім точкам розташування сенсорів буде не ефективним при великій кількості вузлів, а пошукові методи будуть явно поступатися при малій кількості сенсорів. Отже виникає необхідність їх вдосконалення. Це можливе шляхом застосування певних евристичних підходів.

Наприклад, буде доцільно слідувати не по всім точкам розташування сенсорів, а групувати сенсори по радіусу зони покриття БПЛА і слідувати по центрам тяжіння цих груп. Таким чином ми будемо вирішувати ту ж саму задачу комівояжера, але меншої розмірності, заощаджуючи при цьому час розв'язання та пройдений БПЛА шлях.

Таким чином, удосконалений метод пошуку маршруту польоту БПЛА матиме наступний порядок:

1. Розбиття сенсорів на групи по радіусу зони покриття БПЛА, застосовуючи пожадливий підхід – послідовний відбір груп з максимальною кількістю сенсорів, що покриваються зоною радіо покриття БПЛА радіусу  $R$ .

2. Визначення центрів тяжіння груп сенсорів:

$$x_{0j} = \sum_{i=1}^{N^{\max}} \alpha_i x_i, \quad y_{0j} = \sum_{i=1}^{N^{\max}} \alpha_i y_i, \quad (x_i, y_i) \in R \tag{2}$$

де  $\alpha_i = 1/N^{\max}$ ,  
 $N^{\max}$  – кількість сенсорів максимальної групи.

Також зазначимо, що  $\sum_{i=1}^{N^{\max}} \alpha_i = 1$ .

3. Вирішення задачі комівояжера на множині точок  $\{x_{0j}, y_{0j}\}$ , наприклад, методом рекурсивного повного перебору із застосуванням програмного забезпечення CommisVoyageur, розробленого автором роботи [15].

Проведено оцінку ефективності удосконаленого методу у порівнянні з методом слідування по всім сенсорам і методами пошуку (паралельні галси та квадрат, що розширюється).

Нехай задано вихідні дані: зона спостереження розміром  $r = 1000 \times 1000$  м; радіус зони стабільного радіо покриття  $R = 200$  м; координати точок розміщення



сенсорів  $\{x_i, y_i\}, i=1, N$ , де  $N = 1...100$ , задають випадковим чином.

Використовуючи зазначені дані було побудовано маршрути польоту БПЛА методом слідування по всім сенсорам та удосконаленим методом слідування по центрам тяжіння груп сенсорів, як показано на рис. 3. Маршрути польоту згідно методів пошуку будуть незмінними в залежності від кількості сенсорів і відповідатимуть схемам, вказаним на рис. 2. Результати розрахунку сумарно пройденого шляху  $S$  від кількості сенсорів  $N$  згідно зазначених методів наведено на рис. 4. Залежність кількості точок в маршруті  $K$  від кількості сенсорів  $N$  при різних методах збору інформації наведено на рис. 5.

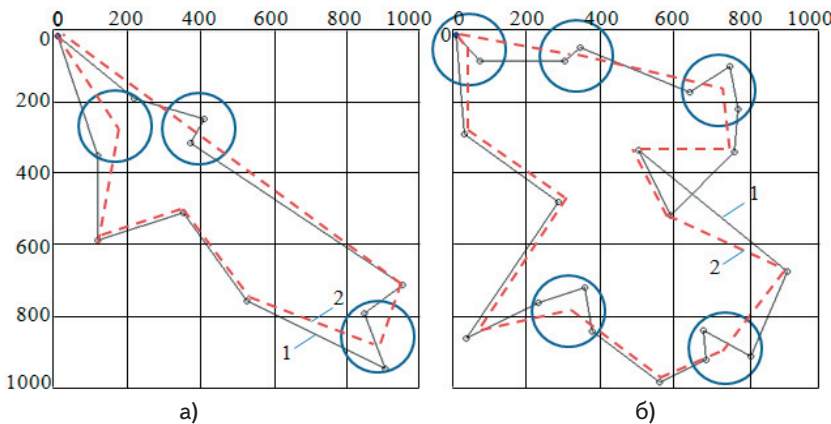


Рис. 3. Маршрути польоту БПЛА згідно методу слідування по всім сенсорам (1) і методу слідування по центрам тяжіння груп сенсорів (2) при  $N=10$  (а) та  $N=20$  (б)

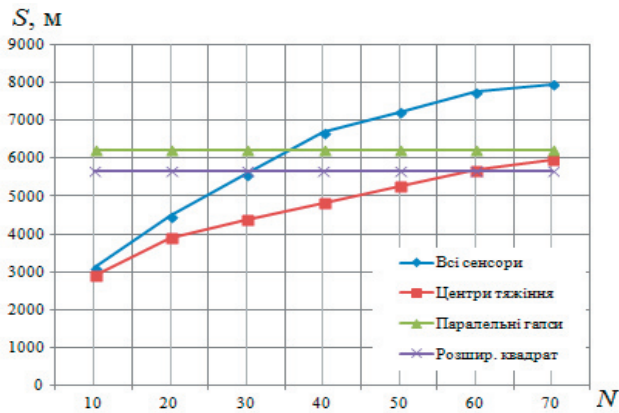


Рис. 4. Графік залежності сумарного пройденого шляху  $S$  в залежності від кількості сенсорів  $N$  при різних методах збору інформації

Результати моделювання (рис. 4) свідчать, що при малих значеннях  $N$  метод слідування по всім сенсорам і удосконалений метод слідування по центрам тяжіння мають майже однакові результати через малу кількість груп. Однак із зростанням кількості сенсорів значну перевагу (до 17-23%) має удосконалений метод за рахунок збільшення кількості груп і відповідно зменшення кількості точок в маршруті (рис. 5). При великій кількості вузлів (більше 60-70) доцільніше застосовувати один з методів пошуку.

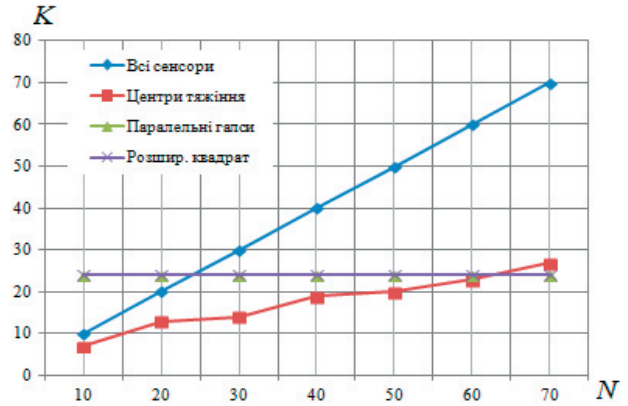


Рис. 5. Графік залежності кількості точок в маршруті  $K$  в залежності від кількості сенсорів  $N$  при різних методах збору інформації

З практичної точки зору подібні БСМ можуть бути реалізовані на основі сучасної елементної бази, наприклад, налагоджувальної плати Arduino з вбудованим процесором ATMEGA328 (де може бути реалізовані зазначені вище методи), радіо модулів XBee, набору сенсорів (рис. 6). Зібрані на їх основі макети дозволяють вирішувати ряд прикладних задач, наприклад, моніторинг параметрів навколишнього середовища, керування рухом шасі автомобіля або БПЛА.

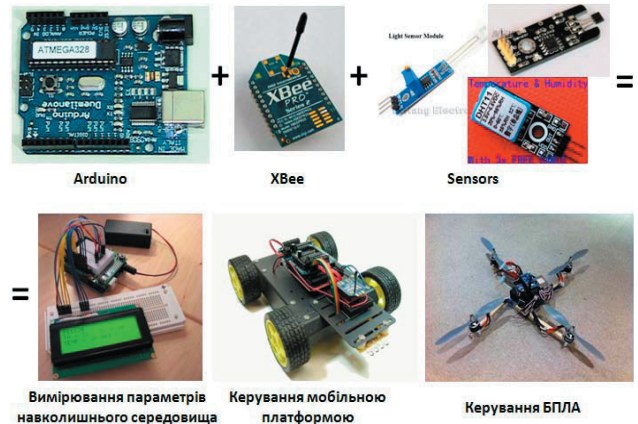


Рис. 6. Побудова безпроводових сенсорних мереж ZigBee із застосуванням налагоджувальних плат Arduino та радіо модулів XBee

## 6. Висновки

В роботі досліджувались можливості використання сенсорних мереж, моніторингово-сигнальних датчиків і географічних інформаційних технологій в системі моніторингу і прогнозування надзвичайних ситуацій із залученням авіаційних пошуково-рятувальних засобів. Це дозволить своєчасно провести заходи щодо захисту населення і територій в районах

розміщення небезпечних об'єктів у випадках загрози чи виникнення надзвичайних ситуацій.

Розроблено удосконалений метод збору інформації з віддалених сенсорів із застосуванням одного БПЛА, який від існуючих відрізняється тим, що замість прокладання маршруту слідування БПЛА по всіх сенсорах, маршрут прокладається по центрах тяжіння груп

сенсорів, що дозволяє значно (на 17-23%) скоротити сумарний шлях. При великій кількості вузлів (більше 60-70) доцільніше застосовувати один з методів пошуку (паралельні галси або квадрат, що розширюється). Також запропоновано варіант практичної реалізації сенсорної радіомережі із застосуванням налагоджувальних плат Arduino і радіо модулів XBee.

### Література

1. Попередження надзвичайних ситуацій в Україні. Досвід та проблеми [Текст] : зб. наук. статей / Штаб цив. оборони України – К. : Штаб ЦО України, 1997. – 208 с.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році [Текст] : нац. доповідь (жовт. 2012) / гол. ред. В.П. Квашук. – К. : МНС України, 2012. – 359с.
3. Lorincz, K. Sensor Networks for Emergency Response: Challenges and Opportunities [Текст] / K. Lorincz, D. J. Malan, T. R. F. Fulford-Jones, A. Nawoj, A. Clavel, V. Shnayder, G. Mainland, M. Welsh, S. Moulton // Pervasive computing. – 2004. – №10-11. – P. 16–23.
4. Meissner, A. Design Challenges for an Integrated Disaster Management Communication and Information System [Текст] / A. Meissner, T. Luckenbach, T. Risse, T. Kirste, H. Kirchner // The First IEEE Workshop on Disaster Recovery Networks (DI-REN 2002) : conference, June 24, 2002: proceedings. – New York City, 2002. – P. 1–7.
5. Ramesh, M. V. Wireless Sensor Network for Landslide Detection [Текст] / M. V. Ramesh, S. Kumar, P. V. Rangan // 2009 International Conference on Wireless Networks (ICWN'09) : conference, June 14, 2009: proceedings. – Las Vegas, 2009. – P. 1–7.
6. Sun, Z. BorderSense: Border patrol through advanced wireless sensor networks [Текст] / Z. Sun, P. Wang, M. C. Vuran, M. A. Al-Rodhaan, A. M. Al-Dhelaan, I. F. Akyildiz // Ad Hoc Networks. – 2011. – № 9. – P. 468–477.
7. Артемчук, В. О. Дослідження існуючих безпроводних сенсорних мереж моніторингу стану атмосферного повітря [Текст] / В. О. Артемчук // Моделювання та інформаційні технології. – 2012. – Вип. 65. – С. 3–9.
8. Мусієнко, М. П. Моделювання безпроводних локальних мереж пожежних сповіщувачів всередині будівель [Текст] / М. П. Мусієнко, В. І. Томенко, Д. О. Полоз, С. В. Куценко // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2010. – №2(22). – С. 126–130.
9. Минеев, А. Н. Беспроводные сенсорные системы обнаружения пожаров на промышленных предприятиях России [Текст] / А.Н. Минеев, Е. Н. Минеев, Д. А. Архипов, С. В. Агеев // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – №1(41). – С. 1–5.
10. Quaritsch, M. Fast Aerial Image Acquisition and Mosaicking for Emergency Response Operations by Collaborative UAVs [Текст] / M. Quaritsch, R. Kuschig, H. Hellwagner, B. Rinner // 8th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2011) : conference, May 8-11, 2011: proceedings. – Lisbon, 2011. – P. 1–5.
11. Choi, K. A multi-sensor rapid mapping system for disaster management [Текст] / K. Choi, J. Lee, I. Lee // Geo-information for Disaster Management (Gi4DM 2011) : conference, May 3-7, 2011: proceedings. – Antalya, 2011. – P. 1–6.
12. Михно, Е. П. Ликвидация последствий аварий и стихийных бедствий [Текст] / Е. П. Михно. – М. : Атомиздат, 1979. – 282 с.
13. Акимов, В. А. Природные и техногенные ситуации: опасности, угрозы, риски [Текст] / В. А. Акимов. – М. : Деловой экспресс, 2001. – 343 с.
14. Lysenko, O. I. Capacity increasing of sensor telecommunication networks [Текст] / O. I. Lysenko, S. V. Valuisky // Telecommunication Sciences. – 2012. – vol.3, №1. – P. 5–11.
15. Решение задачи коммивояжера рекурсивным полным перебором [электронный ресурс]. – Режим доступа : \www/ URL: <http://habrahabr.ru/post/151151/> – 8.05.2012 г. – Загол. з екрану.