

УДК 621.396

В.С. Дем'янчук,
О.В.Коба

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ ПЕЛЕНГАЦІЙНИХ СИСТЕМ З МЕТОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ РОБОЧИХ ЗОН

Розроблено машинні моделі для дослідження систем визначення координат об'єктів за допомогою багатопозиційних систем на базі кутомірних засобів.

На базі кутомірних засобів (візуальних, акустичних, теплових та радіопеленгаторів) можуть бути побудовані багатопозиційні системи, які дають можливість визначати не тільки напрямок на об'єкт пеленгування, але й оперативно розраховувати його координати. При цьому об'єкт може бути нерухомим або може змінювати з часом свої координати. Такі системи можуть працювати як в пасивному, так і активному режимах. Пасивні системи автономні і не вимагають організованої взаємодії з об'єктом пеленгування. Активні системи можуть визначати координати об'єкта, який випромінює сигнали після отримання спеціального запиту і ці сигнали можуть нести деяку додаткову інформацію.

Багатопозиційним системам визначення координат, які створюються на базі кутомірних засобів, властиві деякі позитивні якості та недоліки. Серед позитивних – надійність, економічність, екологічна безпечність (їх робота не пов'язана з випромінюванням і споживанням великих потужностей енергії). Існують і інші позитивні властивості, які в сукупності сприяють створенню таких систем. Серед недоліків – відносно невелика точність визначення координат об'єктів, висока вартість каналів передачі даних, використання яких пов'язано з необхідністю спільної обробки сигналів від сукупності пристроїв пеленгування в центрі обробки. Сучасна обчислювальна техніка та інформаційні технології дозволяють здійснювати обробку сигналів в зазначених системах навіть при пеленгуванні рухомих об'єктів.

Використання спеціального обчислювального комплексу та автоматичних радіопеленгаторів (АРП) дозволяє створити автоматизовану систему визначення координат повітряних кораблів (ПК), автоматично супроводжувати їх в польоті по траєкторіях, динамічно відображати інформацію про рух повітряного транспорту та керувати рухом сукупності ПК. Такі системи навіть з урахуванням їх недоліків в ряді випадків можуть бути доцільними. В одних випадках вони можуть бути єдиними системами для керування рухом, в інших випадках – резервними.

Але створення та використання багатопозиційних радіопеленгаційних систем (БРПС) вимагає дослідження ряду їх характеристик, розробки методик використання за призначенням в різних умовах польотів ПК [3].

Дальність дії БРПС визначається не тільки енергетичним потенціалом чи чутливістю системи виявлення ПК, а й вимогами до точності знаходження координат і траєкторій польоту ПК, що в багатьох випадках може бути вирішальним.

При виявленні полярних координат об'єктів точність пеленгування є функцією точності АРП. Точність визначення дальності об'єкта залежить від декількох факторів: точності пеленгування кожним АРП, розміру бази розміщення пари пеленгаторів, розміщення позицій БРПС, місцезнаходження об'єкта відносно системи виявлення (кутового становища та дальності).

У зв'язку з цим зона дії БРПС розраховується за заданими вимогами до точності визначення координат ПК, схемою розміщення позицій і точністю АРП. Це важливо з точки зору організації руху ПК в повітряному просторі, прокладання певних маршрутів польотів. Іноді може виникати задача доцільного чи оптимального розміщення БРПС для забезпечення керування рухом сукупності ПК в певній зоні повітряного простору.

З цією метою розроблено машинні моделі дослідження характеристик БРПС. В них на базі ПЕОМ можна вибирати і планомірно змінювати розташування певної кількості пеленгаторів, варіювати їх точністю, вибирати алгоритм обробки інформації з позицій АРП. При цьому знаходяться робочі зони системи, в межах яких забезпечується задана точність визначення дальності.

Основою побудови БРПС є двопозиційна система визначення полярних чи декартових координат об'єктів триангуляційним методом. На рис.1 показано розміщення позицій пеленгаторів та зону дії системи, розраховане за заданими вимогами до точності визначення дальності об'єкта. Зона дії заштрихована за допомогою радіусів-векторів, що виходять з середини бази. Слід відзначити, що дальність дії системи значно зменшується, якщо лінії положення об'єкта перетинаються під кутами, які значно відрізняються від 90 градусів. Це особливо стосується випадків, коли об'єкт пеленгування знаходиться поблизу бази розміщення позицій.

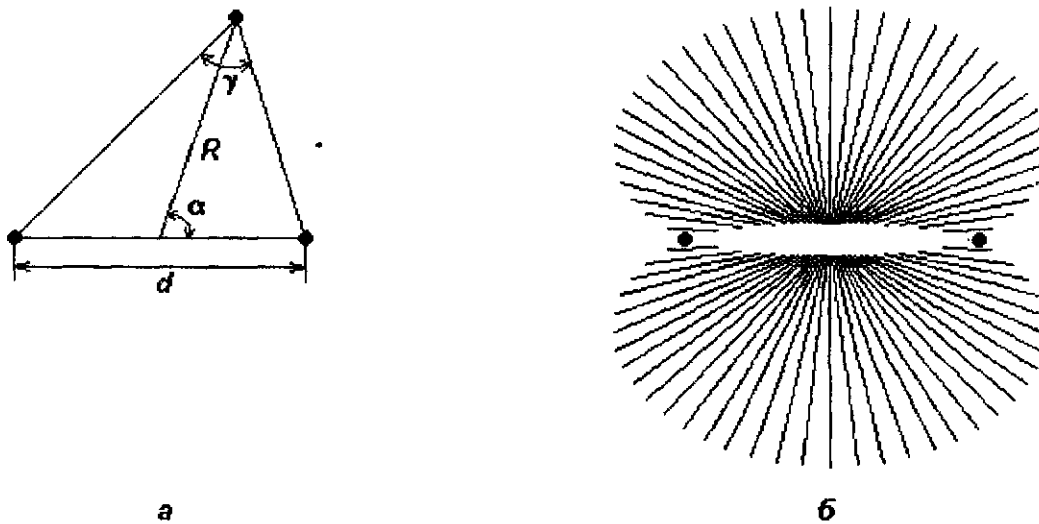


Рис.1. Схема розміщення двопозиційної системи (а) та її робоча зона (б)

Площа робочої зони двопозиційних систем збільшується при збільшенні розміру бази та зменшенні похибки у визначенні пеленгу АРП.

В такій системі випадкові похибки визначення координат об'єкта знаходяться в межах еліпсу розсіювання похибок визначення дальності, орієнтованого своїми осями згідно з положенням відповідного ромбу похибок, який має місце в результаті перетину секторів можливих похибок у визначенні кута об'єкта кожним з АРП.

З точки зору безпеки польотів похибка визначення координат об'єкта повинна відповідати розміру великої вісі еліпса похибок незалежно від його розміщення на площині пеленгування.

Деякі автори вважають, що найбільш доцільним є визначення меж робочих та мертвих зон систем, виходячи з середньоквадратичної похибки визначення дальності. Однак з точки

зору безпеки польотів ПК з цією метою слід користуватися максимальною похибкою за дальністю, яка відповідає великій осі еліпса похибок.

Середньоквадратична похибка двопозиційної системи визначення дальності у полярних координатах має вигляд [1]:

$$\sigma_r = \frac{d\sigma}{\sin \alpha} \sqrt{\left[\left(\frac{R}{d} + \frac{d}{4 \cdot R} \right)^2 - \cos^2 \alpha \right] \left(\frac{2 \cdot R^2}{d^2} + \frac{1}{2} \right)},$$

де σ - середньоквадратична похибка у визначенні кута, рад; d - розмір бази; R - величина радіус-вектора, що окреслює робочу зону та виходить із середини бази.

Схеми розміщення позицій АРП можуть бути різноманітними, виходячи з потреб практики. На рис.2 зображена схема розміщення п'яти позицій для пеленгування об'єктів в зоні, яка має велику протяжність. Дослідження зони дії важливе з точок зору точності визначення дальності об'єктів та забезпечення необхідної дальності дії системи. До цього був вибраний алгоритм обробки інформації від кожної з баз вимірювані.

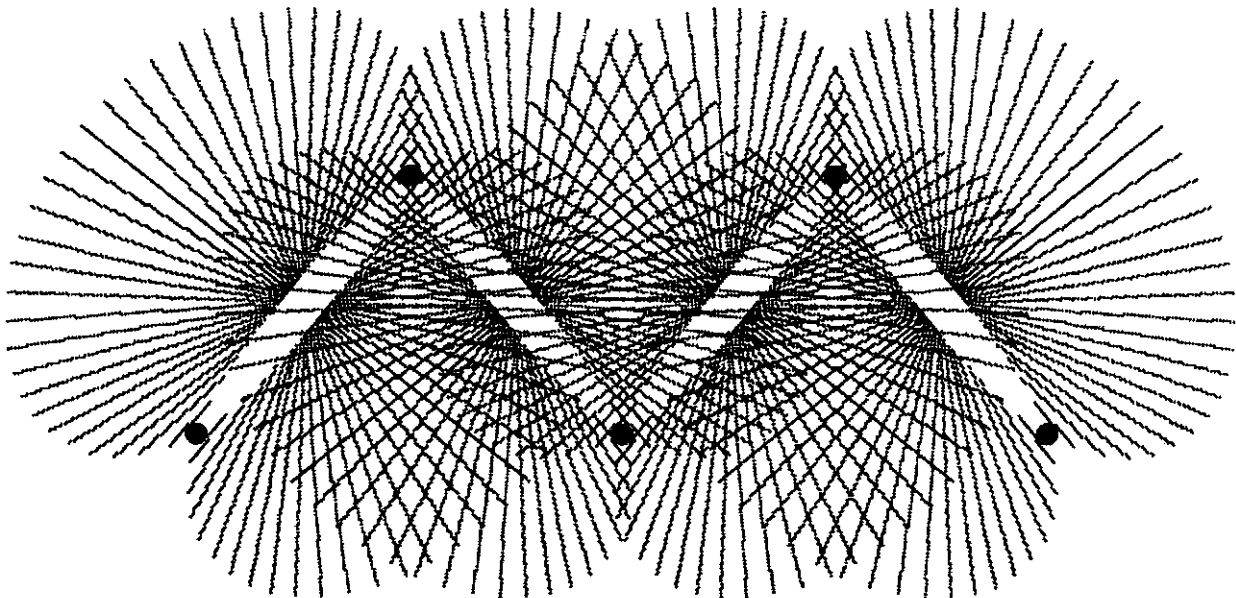


Рис.2. Схема можливого розміщення п'яти позицій та робоча зона системи

В практиці цивільної авіації доцільним може бути використання БРПС для керування рухом повітряного транспорту в аеровузлових зонах. На рис.3 показана схема можливого розміщення АРП на аеродромах Борисполя, Василькова та Гостомеля, розташованих на базах довжиною 40-50 км. Розрахунки показують, що при певній точності визначення дальності ПК робоча зона системи перекриває повітряний простір Київської аеровузлової зони. Тому реалізація такої трипозиційної системи може бути доцільною як резервний варіант системи керування рухом повітряного транспорту.

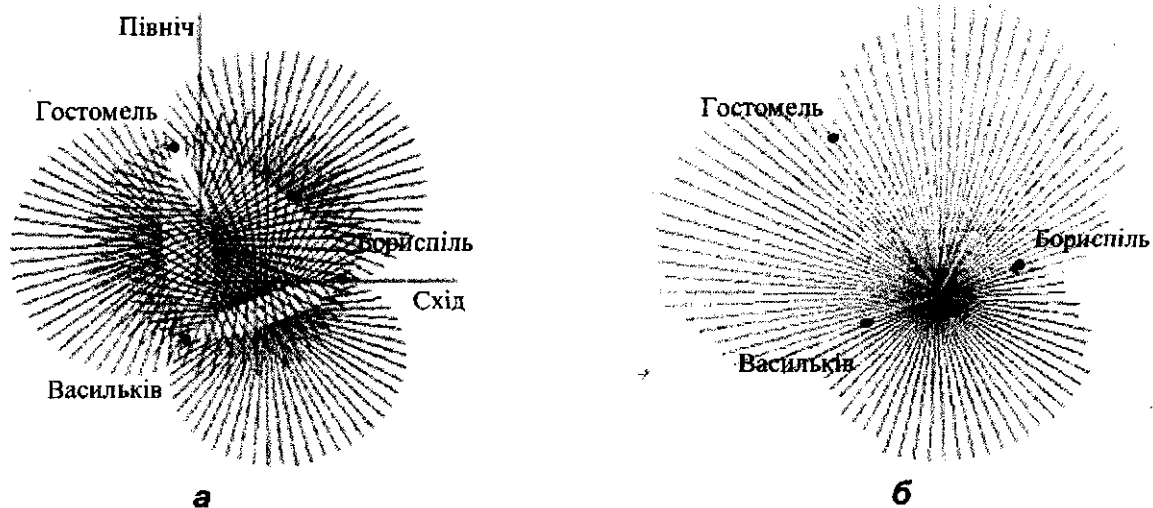


Рис.3. Робочі зони трибазової радіопеленгаційної системи для Київської аероузлової зони при попарній (а) та спільній (б) обробці інформації АРП

На рис.3 показані робочі зони трипозиційної радіопеленгаційної системи при максимально допустимій похибці визначення дальності 0,1 км.

Як видно з рис.3, деяка частина робочої зони перекривається зонами дії двох баз вимірювання. В цих областях можуть бути реалізовані різні алгоритми обробки інформації. На рис.3,а зображена робоча зона при використанні алгоритма обробки інформації, яка поступає попарно від кожної з трьох баз вимірювання. Дослідження показали, що одночасна обробка інформації від трьох АРП дозволяє дещо розширити зону дії цієї трипозиційної системи (рис.3,б).

Використання багатьох пеленгаторів для спільного виявлення об'єктів дозволяє дещо зменшити площу еліпса похибок, який із збільшенням числа позицій наближається по формі до кола. При цьому підвищується точність виявлення об'єкта, але ускладнюється спільна обробка інформації. Перехід від двопозиційних до трипозиційних систем сприяє значному зниженню похибок по дальності. Використання більше чотирьох позицій в такій системі вже не дає відчутного результату з точки зору зменшення похибок. Для збільшення точності доцільно обмежувати дальність дії системи при фіксованих точках розміщення позицій.

Значного результату в підвищенні точності БРПС можна досягти при застосуванні високоточних пеленгаторів. Використання АРП при виборі схеми розміщення позицій та їх кількості може забезпечити необхідну робочу зону системи.

На рис.4 зображена схема розміщення чотирьохпозиційної системи на аеродромі для контролю польотів на прямокутному маршруті та при посадці. При польоті на прямокутному маршруті робочу зону забезпечують попарно чотири пеленгатори (шість баз).

При цьому розміри робочих зон також залежать від точності АРП, схеми їх розміщення відносно злітно-посадочної смуги та вимог до заданої точності системи при визначенні дальності.

Іноді виникає необхідність контролю повітряного простору в дещо більших, ніж на рис.4, межах при тому ж розташуванні позицій АРП, що показано на рис.5. В даному випадку допустима похибка визначення дальності становитиме 0,28 км.

Окрім конфігурації робочих зон, БРПС повинні забезпечувати певну ймовірність виявлення ПК. При цьому виявленим вважається ПК, координати якого можна визначити.

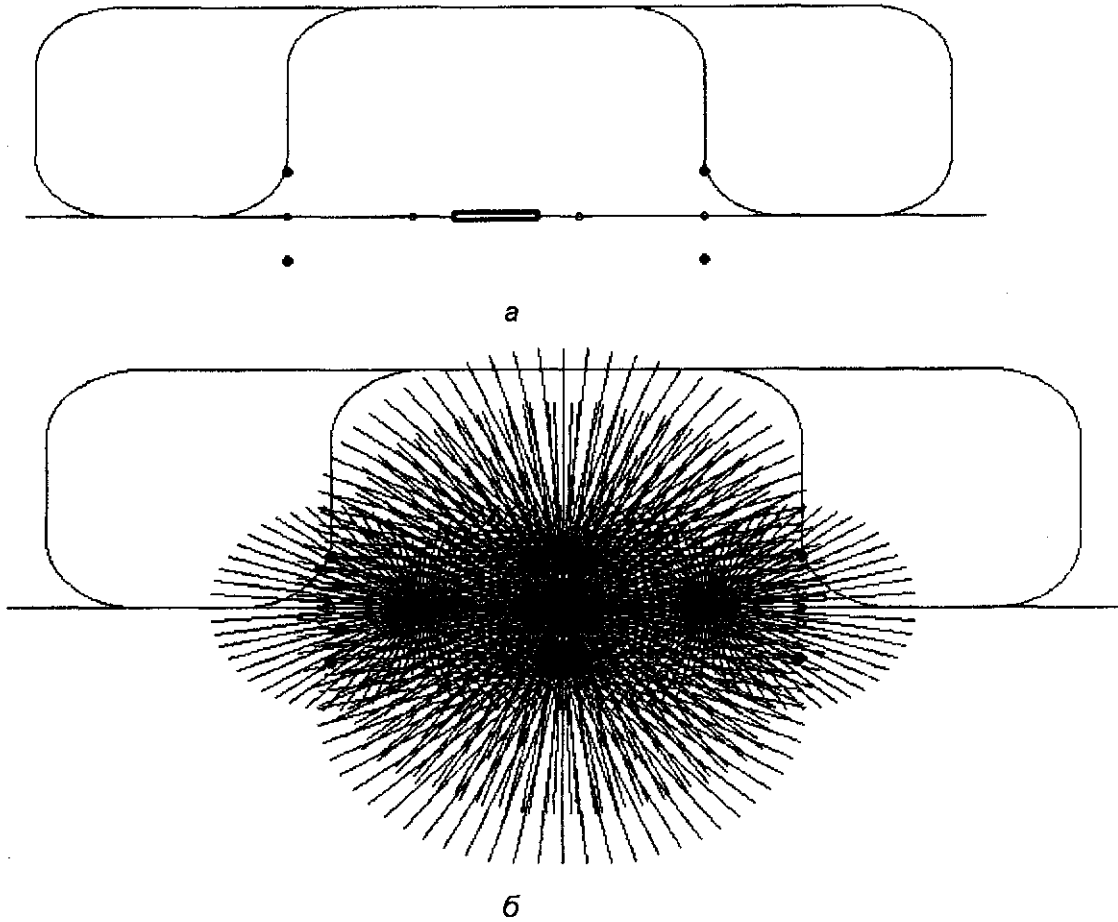


Рис.4. Схема розміщення чотирьох пеленгаторів (а) та робочі зони системи при максимальній похибці визначення дальності 0,1 км (б)

Наявності тільки пеленгу ПК при цьому недостатньо. В таких системах, де робоча зона формується за допомогою декількох баз вимірювання координат, має місце інформаційний резерв, який сприяє збільшенню ймовірності виявлення ПК.

При вирішенні задачі розміщення БРПС в заданій конфігурації місцевості доцільно представити робочу зону двопозиційної системи еквівалентним прямокутником, розміри якого є функцією похибки пеленгатора, розміру бази розміщення та максимально допустимого значення похибки дальності цієї системи вимірювання.

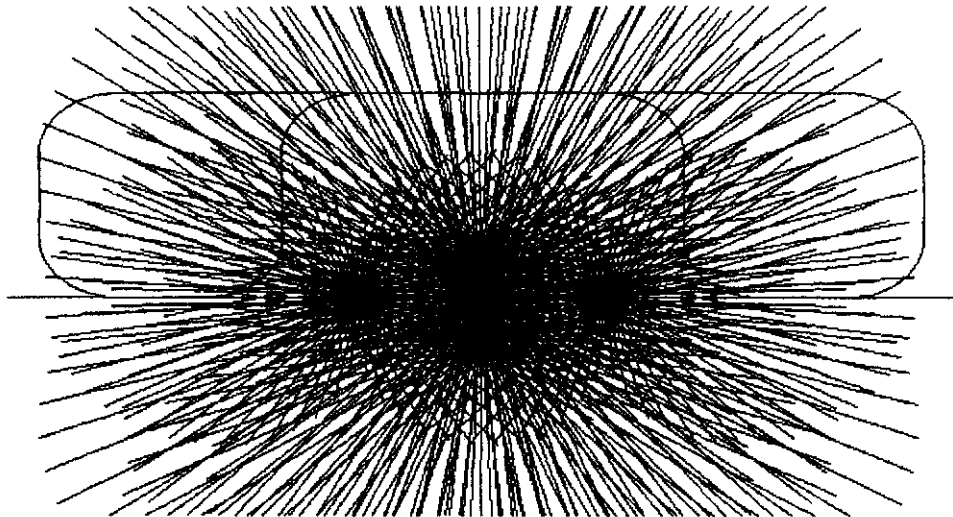


Рис.5. Схема розміщення чотирьох радіопеленгаторів та робочі зони дії системи при максимальній похибці визначення дальності 0,28 км

При цьому одна із сторін цього прямокутника дорівнюватиме $2R$, де R —радіус-вектор, що виходить із середини бази під кутом 90 градусів. Довжина цього радіуса повинна відповідати заданій точності визначення дальності. Друга сторона еквівалентного прямокутника повинна бути в залежності від точності визначення координат у межах від d до $2d$. Радіус-вектор обчислюється за допомогою виразу:

$$R = \sqrt{\left(-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}\right)^{\frac{1}{3}}},$$

де
$$p = -\frac{\sigma_r^2}{2\sigma^2} d^2, \quad q = \frac{\sigma_r^2}{8\sigma^2} d^4.$$

Для заданої площі F та периметра L території, в якій треба визначати координати ПК з заданою точністю, скориставшись формулою Хадвігера [2], можна дати оцінку кількості таких прямокутників (відповідно АРП), що повністю покривають територію. А саме, мінімальне число прямокутників зі сторонами a та b , якими можна повністю покрити цю територію, не перевищує:

$$v = 1 + \frac{F}{ab} + \frac{L}{\pi b} + \frac{L}{\pi a}$$

В разі, коли не допускається погіршення точності визначення дальності поблизу бази елементарного модуля – прямокутника, рекомендується використовувати елементарний модуль з трьох позицій АРП, розміщених в кутах рівностороннього трикутника. Тоді для оцінки кількості модулів (відповідно АРП) з площею F_0 та периметром L_0 , якими можна покрити область з площею F_1 та периметром L_1 , можна скористуватися загальною формулою Хадвігера. А саме, мінімальна кількість таких модулів

$$v = \frac{2\pi(F_0 + F_1) + L_0 L_1}{2\pi F_0}$$

Таким чином, розроблені машинні моделі дозволяють проаналізувати різні схеми розміщення БРПС з точки зору отримання необхідних зон їх дії та доцільних показників ефективності.

Список літератури

1. Пестряков В.Б. Радионавигационные угломерные системы. – Л.: Государственное энергетическое издательство, 1955.– 302 с.

2. Сантало Л.А. Введение в интегральную геометрию. – М.:Иностранная литература, 1956 – 183 с.

3. Демьянчук В.С., Коба Е.В. О синтезе многопозиционных радиопеленгационных систем управления воздушным движением. // Теоретические и прикладные вопросы эксплуатации программного обеспечения АС УВД:Сб.науч.тр. – К.: КИИГА, 1988 – С.54-59.

Стаття надійшла до редакції 11 червня 1999 року.

Вільгельм Степанович Дем'янчук (1936) закінчив Київський інститут цивільного повітряного флоту в 1960 році. Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем керування повітряним рухом Київського міжнародного університету цивільної авіації. Автор 300 наукових праць в галузі навігації та керування рухом повітряного транспорту.

Wilhelm St. Demyanchuk, (b.1936) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Fleet (1960). DSc (Eng), professor. Head of Computerized Systems of Traffic Control Department. Author of 300 publications in the field of navigation and traffic control.

Олена Вікторіна Коба (1956) закінчила Київський державний університет ім. Т.Г. Шевченка в 1978 році. Кандидат технічних наук, доцент. Автор 30 наукових праць в галузі моделювання складних систем.

Olena V. Koba (b. 1956) graduated from Shevchenko Kyiv State University (1978). PhD (Eng), ass. professor. Author of 30 publications in modeling of complicated systems.