

## **Доступність радіолокаційних станцій у повітряному просторі**

Національний авіаційний університет, м. Київ

e-mail: ostroumovv@ukr.net

*Доступність послуг радіолокаційних станцій у обмеженому повітряному просторі відіграє важливу роль у функціонуванні автоматизованих систем обробки радіолокаційних даних. У тексті статті виконано оцінювання доступності радіолокаційних станцій та як результат оцінено межі контрольованого повітряного простору для певного регіону. Проведено оцінювання точності радіолокаційних даних.*

**Ключові слова:** радіолокаційна станція, обробка даних доступність, точність, первинні радіолокаційні системи, вторинні радіолокаційні системи.

### **Вступ**

На сьогоднішній день основними джерелами інформації про місцезоналення рухомих об'єктів у повітряному просторі для завдань організації повітряного руху залишаються радіолокаційні станції [1]. Радіолокаційна станція – це система для віддаленого виявлення повітряних, морських і наземних об'єктів, а також для ведення повітряного корабля на всіх етапах польоту. Порівняно з іншими засобами спостереження радіолокаційні станції є найбільш точними та доступними у повітряному просторі України[1]. У повітряній навігації, цивільного застосування, радіолокаційні системи застосовують як основне джерело координатної інформації про рухомі об'єкти – користувачів повітряного простору. Ці системи є основним інструментом організації повітряного руху. Слід зазначити, що системи спостереження сьогодні розвиваються швидкими темпами для забезпечення необхідного рівня безпеки повітряного руху з урахуванням постійного росту кількості авіаперевезень. Зокрема автоматичне залежне спостереження ADS-B у більшості країн світу розглядається як один з найперспективніших засобів[2]. Це зумовлено великою кількістю переваг його застосування. Проте, впровадження систем спостереження на основі ADS-B в українському повітряному просторі стикається з проблемою підвищення точності функціонування супутникових систем позиціонування. Відповідно до цього радіолокаційні станції залишаються єдиним точним засобом спостереження для задач цивільної авіації.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Оцінювання максимальної дальності дії радіолокаційних систем не є новою задачею. Питання оцінювання максимальної дальності дії розглядалися у працях [3,4], а описані алгоритми дозволяють оцінювати тривимірну діаграму зони дії з урахуванням різних факторів в залежності від необхідної деталізації, чи точності отриманих розрахунків. Зокрема описані підходи що враховують перевідбивання радіохвиль від Земної поверхні та штучних споруд, затування радіохвиль у різних шарах атмосфери та вплив дифракції[3,5].

### **Постановка завдання**

На сьогоднішній день весь контроль за повітряним простором виконується за допомогою радіолокаційних станцій. Математичний апарат для моделювання зона дії радіолокаційних станцій окремо розроблений та добре описаний у численних наукових працях, у той час, як питання взаємодії радіолокаційних станцій у певному повітряному просторі є дослідженими не у повній мірі. Зокрема, комп'ютерне моделювання доступності та оцінювання точності визначення координат об'єкту для повітряного простору України є перспективним та дасть змогу розробляти стратегії підвищення інформаційної обізнаності систем обробки радіолокаційної інформації з метою підвищення безпеки повітряного руху.

### **Мета статті**

Відповідно до наведеного вище основною метою статті є розробка методу аналізу

доступності радіолокаційного обслуговування для певного повітряного простору та оцінювання точності радіолокаційних даних у системі обробки інформації. Комп'ютерна реалізація запропонованого методу дозволить оцінити контурну карту зон доступності за допомогою імітаційного моделювання для будь-якої частини повітряного простору.

### **Дальність дії радіолокаційних засобів та оцінювання доступності**

Дальність дії радіолокаційних станцій є одним з основних параметрів побудови зони дії у тривимірному просторі. Оцінювання дальності дії можливе за описаною у [3,4] формулою для вільного простору з подальшим врахуванням ефекту взаємодії з Земною поверхнею та ефектів рефракції у тропосфері та дифракції радіохвиль від висотних частин рельєфу. Для виконання такого обчислення необхідними є основні технічні характеристики радіолокаційних станцій та їх антенних систем, цифрова карта місцевості та відомості про стан атмосфери.

З іншої сторони відомості про зону дії радіолокаційної станції можна отримати зі збірника аеронавігаційних даних певної країни [6,7]. Наведена інформація уявляє собою циліндричну модель зони гарантованого функціонування, за межами якої радіолокаційні сигнали можуть бути як доступні так і ні. Загалом ця зона функціонування є зоною контрольованого повітряного простору у межах якої діють певні правила дотримання яких пов'язано з безпекою повітряного руху у певному регіоні.

Для оцінювання доступності радіолокаційних послуг у якості вихідної інформації використаємо дані збірника аеронавігаційної інформації, що дозволить виконати оцінювання у межах контрольованого повітряного простору.

Оцінювання доступності радіолокаційного обслуговування виконується за допомогою комп'ютерного моделювання та побудови певної сітки можливого місцеположення літаючого об'єкту у певній частині повітряного простору. Елементи такої сітки розбивають повітряний простір на певні елементарні частини (рис.1). Доступність у межах частинки простору вважається сталою у будь-якій її частині. Надалі для певної висоти польоту виконується обчислення взаємної відстані до радіолокаційної станції. Отримані відстані порівнюються з моделлю, що описує зону їх функціонування. Потім, результати по різних наземним станціям поєднуються та будується графік з контурними лініями, що відповідають кількості доступних засобів у певній частині повітряного простору.

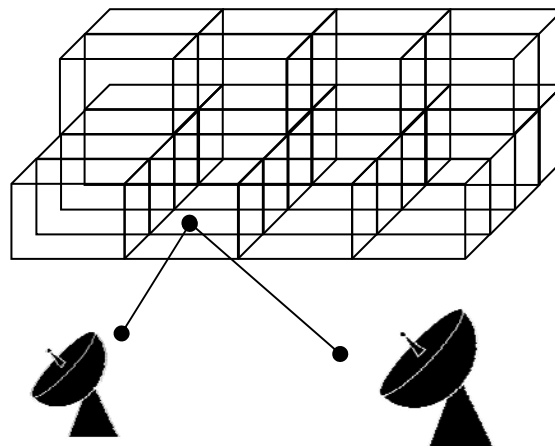


Рис. 1. Елементарні частинки повітряного простору

На рис. 2 та рис. 3 наведено результати оцінювання доступності радіолокаційних послуг за типом для повітряного простору України з використанням даних збірника аеронавігаційної інформації.

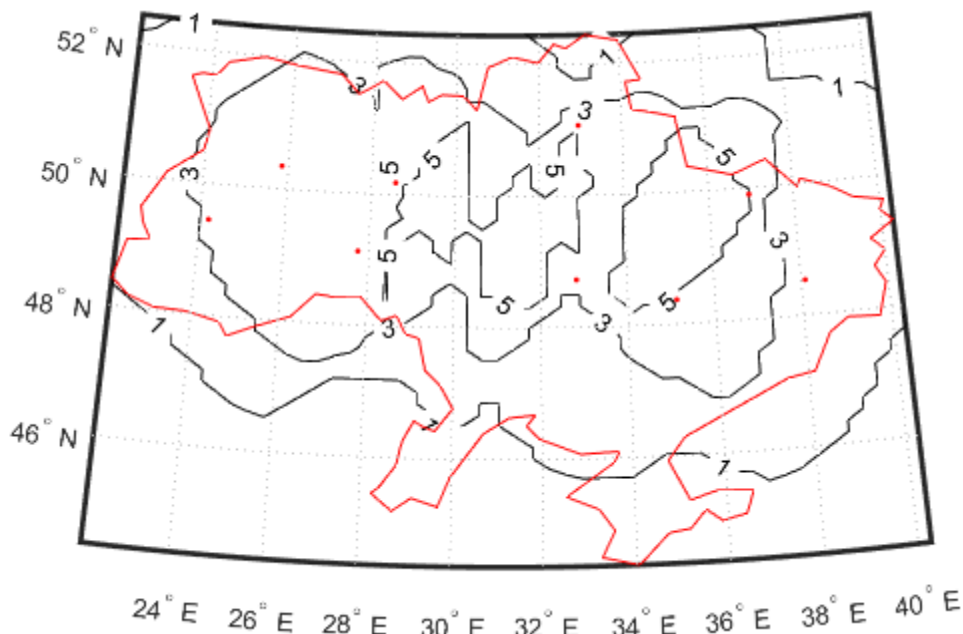


Рис. 2. оцінювання доступності первинних радіолокаційних систем

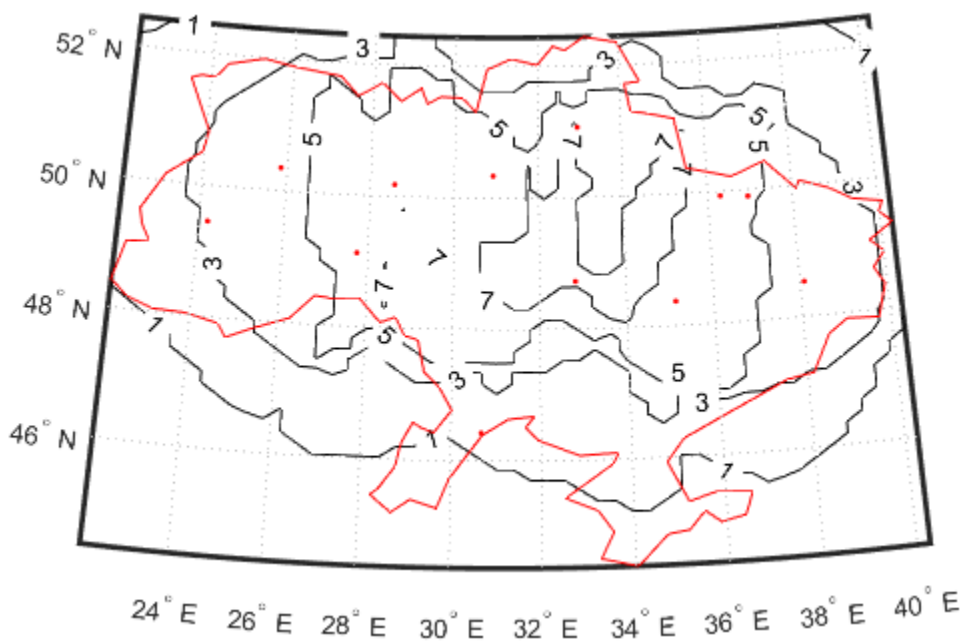


Рис. 3. оцінювання доступності вторинних радіолокаційних систем

Відповідно до рис.2 найкращі показники доступності спостерігаються у північних та центральних регіонах. Максимальне кількість доступних первинних радіолокаційних систем становить п'ять. У той час радіолокаційний огляд вторинними радіолокаційними станціями більш поширений. На рис. 3. наведено результати оцінювання доступності для вторинних радіолокаційних систем. Переважна частина повітряного простору покрита щонайменше трьома радіолокаторами а у центральній частині країни існують зони з одночасним оглядом сімома наземними станціями.

### Оцінювання точності

Радіолокаційна станція, як сенсор виконує вимірювання дальності до об'єкту та кута азимуту у полярній системі числення, проте як і будь-якому іншому вимірювальному обладнанню радіолокаційній станції притаманні певні похибки вимірювання по дальності та куту. На подальших етапах обробки радіолокаційної інформації координати об'єкта переводяться з полярної до певної локальної декартової системи координат (наприклад

зв'язаної з місцеположенням радіолокаційної станції) для подальших обчислень та візуалізації. Відповідно до цього важливо оцінювати вплив похибок радіолокаційних станцій на точність визначення координат цілі у декартовій системі координат.

У загальному випадку можна вважати, що похибки вимірювань дальності  $\Delta\rho$  і азимута  $\Delta\theta$  у радіолокаційній станції є адитивними, результати вимірювань, що надходять в певний момент часу  $\rho_M$  і  $\theta_M$  можна представити у наступному вигляді:

$$\rho_M = \rho + \Delta\rho; \quad \theta_M = \theta + \Delta\theta.$$

Для імітації радіолокаційних вимірювань необхідно для раніше розрахованих точок локації обчислити азимут і дальність точки локації до РЛС.

Наступним кроком застосовуються формули переходу від полярної до декартової системи координат, які у випадку напрямлення вісі  $x$  на північ (розглядається горизонтальна частина NED системи координат) будуть мати такий вигляд:

$$x = \rho \cos(\theta); \quad y = \rho \sin(\theta).$$

Для обчислення похибки отримання координат у декартовій системі виконують лінеаризацію рівнянь переходу з застосування розкладу у ряд Тейлора [8]. Наприклад, обмежившись точністю у одну похідну, для координати  $x$  можна записати:

$$\begin{cases} x_M = f(\rho, \theta) + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \rho} (\rho_M - \rho) + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \theta} (\theta_M - \theta) \\ y_M = f(\rho, \theta) + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \rho} (\rho_M - \rho) + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \theta} (\theta_M - \theta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_M = x + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \rho} \Delta\rho + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \theta} \Delta\theta \\ y_M = y + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \rho} \Delta\rho + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \theta} \Delta\theta \end{cases}$$

Тобто, похибка буде мати наступний вигляд:

$$\begin{cases} \Delta x = \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \rho} \Delta\rho + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \theta} \Delta\theta \\ \Delta y = \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \rho} \Delta\rho + \frac{\partial f(\rho, \theta)}{\partial \theta} \Delta\theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta x = \Delta\rho \sin \theta + \rho \Delta\theta \cos \theta \\ \Delta y = \Delta\rho \cos \theta + \rho \Delta\theta \sin \theta \end{cases}$$

Тоді середньоквадратичне відхилення матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} \sigma_x^2 = M[\Delta x^2] = M[\Delta\rho^2 \sin^2 \theta + 2\rho\Delta\rho\Delta\theta \sin \theta \cos \theta + \rho^2 \Delta\theta^2 \cos^2 \theta] \\ \sigma_y^2 = M[\Delta y^2] = M[\Delta\rho^2 \cos^2 \theta + 2\rho\Delta\rho\Delta\theta \sin \theta \cos \theta + \rho^2 \Delta\theta^2 \sin^2 \theta] \end{cases}$$

Оскільки математичні сподівання:  $M[\Delta\rho^2] = \sigma_\rho^2$ ,  $M[\Delta\theta^2] = \sigma_\theta^2$ , тоді

$$\begin{cases} \sigma_x^2 = \sigma_\rho^2 \sin^2 \theta + \rho^2 \sigma_\theta^2 \cos^2 \theta \\ \sigma_y^2 = \sigma_\rho^2 \cos^2 \theta + \rho^2 \sigma_\theta^2 \sin^2 \theta \end{cases}$$

Загальна похибка оцінювання координат об'єктів може бути обчислена як :

$$\sigma_r^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2.$$

На рис 3-4 наведено результати оцінювання похибок у прямокутній системі числення з урахуванням меж доступності радіолокаційних сигналів для оптимальної станції спостереження з точки зору забезпечення максимальної точності для первинних та вторинних радіолокаційних станцій відповідно.

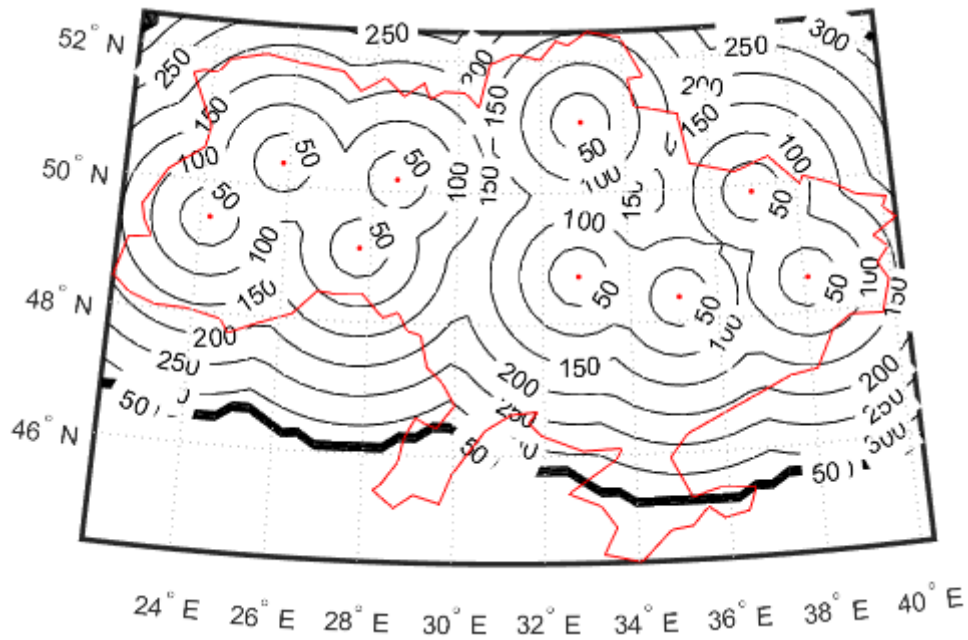


Рис. 4. Загальна похибка для мережі первинних радіолокаційних станцій

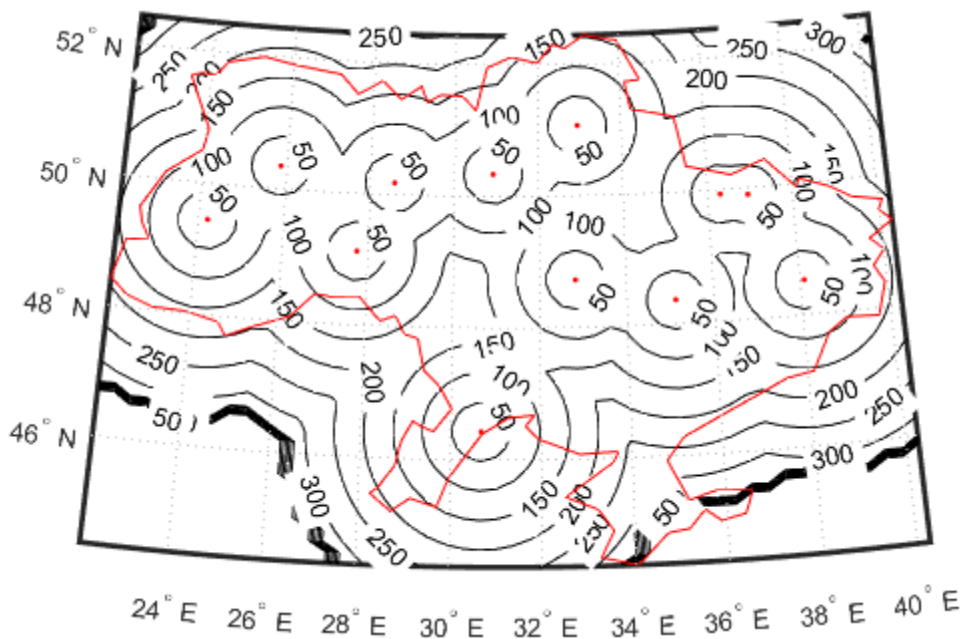


Рис. 5. Загальна похибка для мережі вторинних радіолокаційних станцій

Отримані результати оцінювання значень похибки локації літальних апаратів вказують на високу точність та задовольняють вимогам організації авіаперевезень у розглянутому повітряному просторі.

### Висновки

Підвищення точності систем спостереження є важливим питанням організації повітряного руху. Проте, у сучасних системах обробки радіолокаційної інформації значна увага приділяється етапу мультирадарної обробки даних. Точність отриманих даних визначається характеристиками наземних радіолокаційних систем та геометрією розташування. Результати комп'ютерного моделювання доступності систем спосереження вказують на доступність послуг більш як трьох систем у переважній частині повітряного простору України. Крім того, існують

зони в яких аеронавігаційне обслуговування здійснюють від чотирьох до семи радіолокаторів, що забезпечує більшу точність, є зони де контроль здійснюється двома або одним радіолокатором, але все рівно аеронавігаційне обслуговування здійснюється хоча не з такою великою точністю.

#### Список літературних джерел

1. Быковцев И.С. Средства наблюдения в системе управления воздушным движением //И.С. Быковцев, А.М. Гладков, В.С. Демьянчук, А.М. Злобинец, Г.Г. Камалтынов, В.А. Клименко, В.Г. Колесник и др. –К.: ГП ОВД Украины, – 152с.
2. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов – К.: НАУ, 2012 – 281с. – ISBN 978-966-598-783-3
3. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. Учебник для вузов. М. Сов радио, 1973.– 496с.
4. Остроумов І.В. Оцінювання максимальної дальності дії радіонавігаційних засобів / І.В. Остроумов, // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 4. – С. 30–35.
5. Радиотехнические системы: Основы построения и теория. Справочник / Я.Д. Ширман, Ю.И. Лосев и др. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: ЗАО “МАКВИС”, 1998. – 828 с.
6. Aeronautical Information Publication of Ukraine. Published by AIS of Ukraine under the authority conferred by the State Aviation Administration. – 2017. – electronic version, available by link: <http://www.aisukraine.net>.
7. Остроумов І.В. Розрахунок зони дії радіолокаційних станцій та оцінювання точнісних характеристик / І.В. Остроумов, О.В.Ковальчук, А.М. Гавриленко, С.В. Ворожбит // Авіа-2017 : міжнародна науково-технічна конференція, 19 – 21 квітня 2017 р. : матеріали конференції.– К., 2015. – С. 12.40–12.41.
8. Васильев В.М. Моделирование аеронавігаційних систем. Оброблення інформації та прийняття рішень в системі керування повітряним рухом: навч. посіб. / В.М. Васильев, В.П. Харченко. – К.: НАУ, 2008. – 180 с. ISBN 978-966-598-444-3