

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГЛЯДОВИХ РАДІОЛОКАТОРІВ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРИ ВИСОКІЙ ІНТЕНСИВНОСТІ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

*Розглянуто особливості радіолокації повітряних цілей при високій щільності повітряних потоків. Показано, що основною проблемною задачею підвищення інформаційного забезпечення радіонавігаційних систем керування повітряним рухом є забезпечення суттєвого підвищення кутової роздільної спроможності (РС) оглядових радіолокаційних станцій (РЛС). Наведено результати оцінки реальної РС існуючих РЛС і сформульовані висновки щодо визначення сучасних тактичних вимог до РС по азимуту.*

*Ключові слова: радіонавігація, радіолокаційна станція, роздільна спроможність.*

*The features of radar aerial targets at high density of air flow. Showed that the most problematic issue improve information management navigation system for air traffic control is to provide a significant increase in angular resolution surveillance radars. The results of the evaluation of the real resolution of the existing radar station and formulate conclusions on the definition of modern tactical requirements for resolution in azimuth.*

*Keywords: radio navigation, radar, the resolution capacity.*

**Вступ та постановка завдання.** Серед радіотехнічних засобів, що використовуються в радіонавігації (РН), особливе місце займають оглядові трасові і аеродромні РЛС, тактичні та експлуатаційні характеристики яких визначаються нормативами ІКАО і стандартом СЕВ.

У практиці навігації повітряних суден (ПС) виникають специфічні проблемні завдання, пов'язані зі збільшенням щільності повітряного руху (ПР), особливо в зоні великих аероузлів, і зростаюча тенденція збільшення інтенсивності польотів, що призводить до суттєвого ускладнення сигнальної і сигнально-завадової обстановки на вході аеродромних і трасових оглядових РЛС.

У цих умовах підвищуються вимоги до характеристик РЛС, від яких безпосередньо залежить успішне вирішення найважливішого завдання РН – забезпечення безпеки польотів і, перш за все, усунення можливостей зіткнення ПС.

У вирішенні цього завдання з усіх тактичних характеристик РЛС першочергового значення набуває роздільна спроможність (РС), оскільки інші тактичні характеристики (параметри зони огляду, якість виявлення цілей і помилки вимірювання координат) практично не залежать від щільності розташування ПС (цілей) в зоні.

Якщо РС по дальності може бути істотно підвищена збільшенням бази зондуючого сигналу типу ЛЧМІ, то поліпшення РС по кутових координатах (азимуту) являє собою проблемну технічну задачу.

У статті ставиться завдання – дати аналітичну оцінку реальної РС кращих зразків аеродромних РЛС з урахуванням всіх факторів які впливають на неї, на підставі результатів аналізу якої визначити вимоги до РС, що забезпечує підвищення інформаційного забезпечення керування повітряним рухом в умовах високої інтенсивності повітряного руху.

**Основні положення дослідження.** Згідно вимогам стандарту СЕВ розрізнення по дальності ( $\delta R$ ) і по азимуту ( $\delta \beta$ ) повинні бути забезпечені не гірше: 350... 500 м і 1,5... 2°.

Завдання підвищення РС по дальності досить легко вирішується шляхом збільшення бази зондуючого сигналу. Застосовувані в деяких радіолокаторах (РЛ) сигнали типу ЛЧМІ мають порівняно малу базу (8... 10). У той же час практично отримані результати в техніці генерування і стиснення складних сигналів (зокрема, ЛЧМІ) забезпечують коефіцієнти стиснення до  $10^4$  і більше. Реально досягнуті значення РС по дальності мають порядок 10... 50 м (а в окремих випадках, – до одиниць метрів).

Ця обставина визначила вибір основного акценту при аналізі можливостей оглядових РЛС РН по розрізненню ПС в умовах складної сигнально-завадової обстановки на оцінці можливостей кутового розрізнення.

В загальному вигляді вираз реальної РС по будь-якій координаті має вигляд [1]:

$$\delta \chi = \delta \chi_{\text{ном}} + \delta \chi_{\text{інстр}},$$

де  $\delta \chi_{\text{м}}$  – міра РС, що визначає потенційне розрізнення;

$\delta \chi_{\text{інстр}}$  – величина погіршення РС за рахунок пристроїв знімання і системи обробки.

**Оцінка потенційної РС по азимуту.** Потенційна РС по азимуту визначається (за принципом Релея) шириною діаграми спрямованості (ДС) на рівні 0,5 (по потужності) від нормованої амплітуди обвідної сигналу ( $\beta_{0,5P}$ ), яка за формою відповідає виду пеленгаційної характеристики (ПХ) антени за відсутності обмеження сигналів в тракці прийому:  $\delta \beta_{\text{ном}} = \beta_{0,5P}$ .

Класичне (релеївське) розрізнення забезпечує роздільне спостереження двох цілей – ПС, розташованих в сусідніх імпульсних об'ємах (ІО) РЛС.

При щільному розташуванні цілей обвідні ПХ переक्रиваються на рівні, більше 0,5 (реально від 0,6

до 0,9 ... 0,95). Це відповідає випадку, коли обидві цілі знаходяться в межах одного ІО і являють собою для оглядової РЛС групу зосереджену ціль. Розрізнення таких цілей можливо лише при подоланні потенційні релєївської границі.

Вплив параметрів приймального тракту на потенційну РС. На малих дальностях до цілі виникає обмеження сигналів в тракті прийому, внаслідок недостатнього динамічного діапазону приймача. При цьому, починаючи з певних дальностей, рівень обмеження сигналів ( $U_{об}$ ) перевищує поріг розрізнення ( $U_p$ ), який визначається за принципом Релея на рівні перетину ПХ при їх нормованому значенні, рівному 0,5. У результаті обмеження сигналу перетин ПХ відбувається на більш низькому рівні і інтервал розрізнення збільшується від значення  $\beta_{0,5}$  до значення  $\delta\beta_{об}$  (рис. 1).

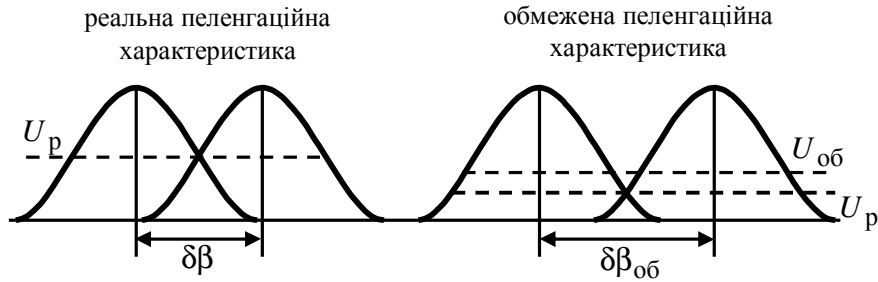


Рис. 1

При впливі обмеження сигналів умовою розрізнення  $\epsilon$ :

$$U_{об} > U_p = U_{пер}, \tag{1}$$

де  $U_{пер}$  – рівень перетину пеленгаційних характеристик.

Визначимо зв'язок зазначених в (1) величин з кутовим інтервалом використовуючи гаусову апроксимацію пеленгаційних характеристик:

$$U(\beta) = U_o F^2(\beta) = U_o \exp\left(-2.8 \cdot \frac{\beta^2}{\beta_{0,5p}^2}\right), \tag{2}$$

при цьому

$$U_{пер} = U(\beta = \frac{\Delta\beta}{2}) = U_o \exp\left(-0,7 \cdot \frac{\Delta\beta^2}{\beta_{0,5p}^2}\right), \tag{3}$$

де  $U_o$  – амплітуда обвідної пачки.

Підставляючи (2) і (3) в (1), отримаємо:

$$\frac{U_{озр}}{U_o} > \exp\left(-0,7 \frac{\Delta\beta^2}{\beta_{0,5p}^2}\right) \text{ або } \ln\left(\frac{U_o}{U_{озр}}\right) < 0,7 \frac{\Delta\beta^2}{\beta_{0,5p}^2},$$

звідси:

$$\delta\beta_{об} > \Delta\beta = \beta_{0,5p} \sqrt{1,4 \ln\left(\frac{U_o}{U_{об}}\right)}. \tag{4}$$

В отриманому виразі необхідно величини  $U_o$  і  $U_{об}$  виразити через відомі параметри приймального тракту. Враховуючи, що  $U_{об} = D \sigma_{ш}^2$  ( $D$  – динамічний діапазон приймача,  $\sigma_{ш}^2$  – потужність шумів), (4) можна представити у вигляді:

$$\delta\beta_{об} = \beta_{0,5p} \left\{ 1 - 1,43 \left[ 2 \ln\left(\frac{r}{R}\right) + 0,115(D(db) - \gamma(db)) \right] \right\}^{1/2}, \tag{5}$$

при

$$\left(\frac{r}{R}\right) \leq \exp[-0,0575(D(db) - \gamma(db))], \tag{6}$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт розрізнення, що визначається з кривих виявлення.

Якщо ця умова не виконується, то  $\delta\beta_{об} = \beta_{0,5p}$ .

З отриманого виразу (5) видно, що якщо в приймальному тракті не вжито заходів щодо розширення динамічного діапазону, то із зменшенням дальності РС по азимуту погіршується. Так, при  $D = 20$  Дб,

$r/R = 0,3$  і  $\gamma = 13$  Дб, потенційна РС погіршується в 1,8 рази.

Оцінка впливу індикатора на реальну РС по азимуту. З урахуванням впливу індикатора реальна РС по азимуту визначається виразом (якщо не виконуватись умова (6)) [3]:

$$\delta\beta = \beta_{0,5P} + m_{\beta} \cdot d_n \cdot k, \quad (7)$$

де  $m_{\beta}$  – масштаб індикатора по азимуту;

$d_n$  – діаметр променя індикатора,  $k$  – коефіцієнт розрізнення екрану.

Для визначення розрахункового виразу потрібно проаналізувати вплив масштабу індикатора по кутку –  $m_{\beta}$ .

$$m_{\beta} = \frac{2\pi}{L_p(\beta)}; \quad L_p(\beta) = 2\pi l_{\psi}, \quad (8)$$

де  $l_{\psi}$  – довжина (в міліметрах) кругової розгортки до дальності цілі.

Таким чином, при фіксованій дальності цілі масштаб залежить від масштабу по дальності:

$$L_p(\beta) = 2\pi l_{\psi}; \quad l_{\psi} = L \frac{r}{\Delta R}, \quad (9)$$

де  $\Delta R$  – масштаб по дальності;

$r$  – дальність до цілі,

$L$  – розмір (діаметр) екрана (мм).

При підстановці (8) і (9) в (7) отримаємо:

$$\delta\beta_{\text{інд}} = \frac{1,3 \cdot 360 \cdot d_n \Delta R}{L \cdot r}. \quad (10)$$

В якості прикладу отримано значення відношення  $\delta\beta_{\text{інд}} / \beta_{0,5P}$  при наступних даних:

$\Delta R = 10$  км,  $r = 50$  км,  $d_n = 0,5$  і  $0,75$  мм,  $\beta_{0,5P} = 1,5^{\circ}$ . Результати розрахунку: 0,4; 0,6.

Оцінка лінійного розрізнення по азимуту. Можливість роздільного спостереження двох близько розташованих РС (при відсутності розрізнення їх по дальності) визначається лінійною РС по азимуту, рівною:

$$\delta l_{\beta} = \frac{\delta\beta \cdot r}{57,3}. \quad (11)$$

При кількісній оцінці  $\delta l_{\beta}$  в якості  $\delta\beta$  використовується потенційна складова без урахування впливу обмеження сигналів і індикатора.

З метою наочності оцінки на рис. 2 представлений графік залежності  $\delta l_{\beta}$  від дальності до цілі в межах 50... 150 км (з виділенням основної ділянки дальностей) для трьох значень ширини ДС (вказані на рис. 2).

Як випливає з графіка для РЛ з вузькою ДС ( $1,5^{\circ}$ ) можуть роздільно спостерігатися два РС, інтервал між якими більше ніж 2 км (на дальності 70 км), а при інших значеннях ширини ДС – 3... 4 км.

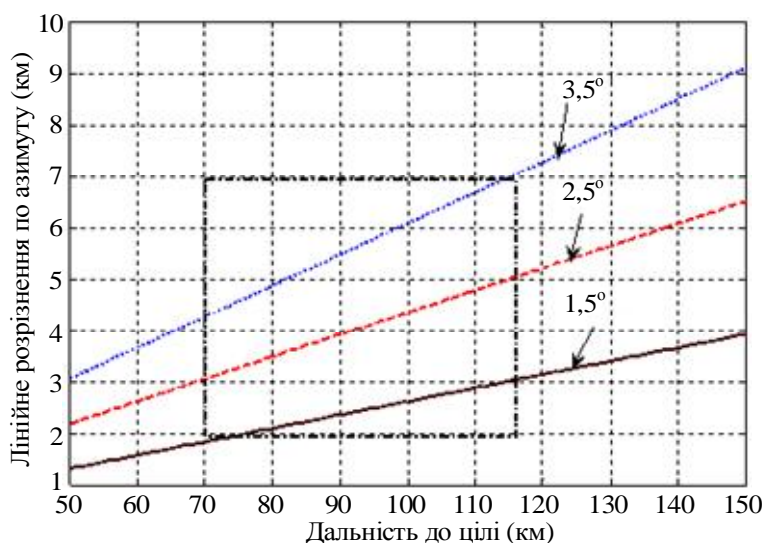


Рис. 2

Такий результат розрізнення не може задовольняти сучасним вимогам інформаційного забезпечення.

З результатів проведеного аналізу випливають два попередніх висновки-рекомендації, виконання яких можна реалізувати в ході модернізації існуючих зразків оглядових РЛ РН:

- 1) забезпечення великого динамічного діапазону приймального тракту (до 50 і більше дБ);
- 2) усунення впливу пристроїв знімання інформації на реальну РС за рахунок застосування замість індикаторів дисплейних систем з цифровим зніманням або зменшення ступеня впливу до 5... 10 %.

Не маючи достовірних даних по статистиці і прогнозуванню параметрів повітряних потоків в умовах високої їх інтенсивності, виходячи з розумного підходу з точки зору можливостей сучасної технології побудови радіолокаційних засобів, можна в якості тактичної вимоги до лінійного розрізнення запропонувати наступне: забезпечити при ширині ДС  $1,2^\circ$  лінійне розрізнення:

- на дальності 100 км – до 1 км,
- на дальності 75 км – не більше 650 м,
- на дальності 50 км – 450 м.

Така задача може бути вирішена тільки при застосуванні методів і алгоритмів обробки, що одержали назву «надрозрізнення». Практичні потреби в розрізненні близьких джерел випромінювання стимулювали розробку великого числа методів «надрелеївського» розрізнення. Найбільш відомими і достатньо теоретично проробленими є методи спектрального оцінювання [4]. Практичне застосування будь-якого з цих методів в оглядових РЛС систем радіонавігації обмежується цілою низкою факторів: високими вимогами до обчислювальних ресурсів системи обробки, орієнтацією на розрізнення сигналів, структура яких відрізняється від використовуваних в РЛС РН та інше.

**Висновок.** Забезпечення підвищених вимог до інформаційних характеристик оглядових РЛС навігації вимагає пошуку алгоритмів «надрозрізнення», прийнятних з точки зору можливостей практичної реалізації, а також розробці нових методів просторово-часової обробки сигналів.

### Література

1. Перевезенцев Л.Т. Радиолокационные системы аэропортов / Л.Т. Перевезенцев, В.Н. Огарков. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.
2. Радионавигация. Зарубежная радиоэлектроника. – 1989. – № 1.
3. Теория радиолокационных систем / [под ред. С.В. Ленкова]. – К. : «Киевский университет», 2008. – 350 с.
4. Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Марпл С.Л.; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1990.

Надійшла 23.11.2012 р.  
Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.

УДК 389.001(075.8)

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины

## **ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ: РЕШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НЕНАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ БЕЗ ПРИПИСЫВАЕМОЙ ОБЪЕКТУ ИЗМЕРЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ. СООБЩЕНИЕ 1.3**

*В сообщении 1.3 рассмотрены пути и методы решения задач избыточных измерений физических величин ненаправленного действия без приписываемой объекту измерений математической модели и при линейной функции преобразования измерительного канала.*

*Ключевые слова: метрологические задачи, методы решения, избыточные измерения, информационно-избыточные модели.*

*In the message 1.3 ways and methods of the decision of metrological problems of redundant measurements of physical sizes of the no directional action are considered. And problems without attributed to object of measurements of mathematical model are considered and at linear function of transformation of the measuring channel.*

*Keywords: metrological problems, decision methods, redundant measurements, informatively-redundant models.*

### **Введение**

Как было показано в [1], при решении задач избыточных измерений физических величин ненаправленного действия (при линейной функции преобразования измерительного канала) предпочтительно использовать ряды физических величин (ФВ), связанные между собой по закону геометрической прогрессии. В этом случае осуществляется опосредованное формирования физических величин методом линейного