

УДК 621.396.96

М.П. Батуринський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДВОВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ПОВІТРЯНОГО ОБ'ЄКТУ ПРИ ОЦІНЮВАННІ МОЖЛИВОСТІ ЙОГО ВИЯВЛЕННЯ ЗАСОБОМ РАДІОЛОКАЦІЇ

*У статті проведено порівняльний аналіз та розглянута можливість використання двовимірної моделі повітряних об'єктів при проведенні штабних та іншого виду розрахункових задач з оцінюванням можливостей виявлення засобами радіолокації цих об'єктів.*

*повітряний об'єкт, якість виявлення, засіб радіолокації, штабні розрахунки*

### Вступ

#### Постановка проблеми та аналіз літератури.

Протягом останнього часу проводяться роботи прикладного характеру, як в інтересах Повітряних Сил Міністерства оборони так і в інтересах цивільної авіації, направлених на автоматизацію проведення штабних розрахунків, виконання аналітичних задач, створенню систем підтримки прийняття рішення командирів різної ланки [3, 9, 8]. Зазвичай це програмні продукти, що залучають елементи геоінформаційних систем, які відображають повітряну обстановку у двовимірному вигляді на тлі цифрової карти місцевості. Звісно, точність отриманих результатів залежить від багатьох факторів, в тому числі і від прийнятої моделі повітряного об'єкту та його руху. При проведенні розрахунків можливості його виявлення основною характеристикою виступає ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) об'єкту та її залежність від ракурсу спостереження. Знайомство з означеними вище роботами показало, що частина їх не враховує цієї залежності, ставлячи у відповідність одному повітряному об'єкту одне значення ЕПР. Ціною такого допущення є помилки розрахованих значень дальності або умовної ймовірності виявлення [7]. Інша частина робіт враховує залежність зміни ЕПР від ракурсу спостереження. При цьому проводиться апроксимація діаграми зворотного вторинного випромінювання (ДЗВВ) кусочно-лінійною або гладкою функцією. Для підвищення точності розрахунків бажано також враховувати статистичні характеристики розподілення значення ЕПР в залежності від ракурсу а також кута місця, під яким спостерігається об'єкт.

**Мета статті.** Метою статті є проведення порівняльного аналізу результатів розрахунку можливостей виявлення повітряних об'єктів засобами радіолокації при урахуванні кута місця, під яким спостерігається об'єкт, і без його урахування при проведенні штабних та іншого виду розрахункових задач.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення розрахунків було використано математичну модель повітряного об'єкту як вторин-

ного випромінювача [1]. Модель передбачає апроксимацію складної поверхні повітряного об'єкту набором тіл відносно простої форми, для яких відомі наближені методи розрахунку електромагнітних хвиль. В цьому випадку відбитий від всієї цілі сигнал знаходиться за принципом суперпозиції відбиттів від кожної з апроксимуючих поверхонь з урахуванням ефектів затінення.

Для проведення аналізу моделювалась серія прольотів повітряного об'єкту під кутами місця 0, 5, 10 та 30 градусів і ракурсами спостереження 0, 45 і 90 градусів. В якості об'єкту виступав літак СУ-24. За допомогою програми розрахунку зворотного вторинного випромінювання отримувались значення амплітуди відбитого сигналу на виході лінійної частини прийомного тракту в умовах відсутності заважаючих коливань [2]. При цьому не враховувався вплив підстилаючої поверхні на результуючу діаграму спрямованості антени засобу радіолокації, оскільки цьому питанню присвячена велика кількість робіт і такий аналіз не є метою статті.

У якості показників якості виявлення повітряних об'єктів застосовувались криві виявлення та криві залежності умовної ймовірності виявлення від дальності спостереження об'єкту. Тому після отримання амплітудних значень сигналу проводилась їх статистична обробка для отримання закону розподілення суміші відбитого сигналу і шуму. Означені закони розподілення розраховувались за допомогою чисельних методів з використанням методу Пазеновського вікна [4]. В цьому випадку шукана щільність ймовірності знаходилась у відповідності з виразом:

$$W(y) = \sum_{k=1}^n \phi_k(y, \alpha_k, h_n), \quad (1)$$

де  $n$  – об'єм вибірки;  $\phi_k(y)$  – функція вікна;  $\alpha_k, h_n$  – параметри функції вікна; Функція вікна  $\phi_k(y)$  повинна відповідати всім вимогам щільності розподілення: невід'ємна, площа під кривою дорівнює 1. У випадку що розглядається в якості функції вікна використовувалась функція узагальненого розподілення Релея, бо саме цим розподілом найбільш частіше

описують розподілення амплітуд відбитих від повітряних об'єктів сигналів [6]:

$$\phi(y, \alpha, \sigma) = \frac{y}{\sigma^2} e^{\left[-(y^2 + \alpha^2)/2\sigma^2\right]} I_0\left(\frac{\alpha y}{\sigma^2}\right), \quad (2)$$

де  $I_0(x)$  – модифікована функція Бесселя першого роду нульового порядку.

Для вибраної функції вікна  $h_n$  має зміст параметру  $\sigma$ . Зрозуміло, що вибір значення  $h_n$  сильно впливає на  $W(y)$ . Якщо  $h_n$  дуже велике, оцінка буде поганою з-за дуже малої роздільної здатності. Якщо  $h_n$  дуже мале, оцінка буде поганою в результаті дуже великого статистичного розбігу. За обмеженої кількості вибірок саме краще рішення – піти на прийнятний компроміс. За необмеженої ж кількості вибірок можливо дозволити  $h_n$  повільно наближатися до нуля за одночасного зростання  $n$  і змусити  $W(y)$  зійтися до невідомої щільності розподілу  $p(y)$  [4].

При обчисленні параметру  $\alpha_k$  необхідно виходити з умови: мода розподілення (2) повинна відповідати  $y_k$  –  $k$ -му значенню вибірки. Для забезпечення цієї умови необхідно продиференціювати (2) по  $y$ :

$$\frac{d\phi}{dy} = \left[ I_0\left(\frac{\alpha y}{\sigma^2}\right) \left( \frac{1}{\sigma^2} - \left(\frac{y}{\sigma^2}\right)^2 \right) + I_1\left(\frac{\alpha y}{\sigma^2}\right) \frac{\alpha y}{\sigma^4} \right] \times e^{\left[-(y^2 + \alpha^2)/2\sigma^2\right]}. \quad (3)$$

При підстановці  $y = y_k$ ,  $\sigma = h_n$ , параметр  $\alpha_k$  знаходиться як корінь рівняння

$$\frac{d\phi}{dy} = 0. \quad (4)$$

Розрахунок (4) також здійснювався чисельними методами [5].

Отримані зазначеним алгоритмом криві ймовірності наведені на рис. 1. Криві отримані для довжини хвилі  $\lambda = 10$  м і ймовірності хибних тривог  $F = 10^{-5}$ . Як видно на рисунку, форма кривих виявлення для випадків спостереження об'єкту під різними кутами місця відрізняється. Це є результатом зміни самого закону розподілення амплітуди відбитого сигналу для різних умов спостереження.

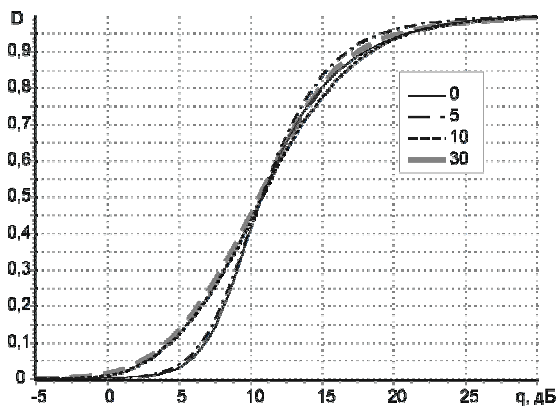
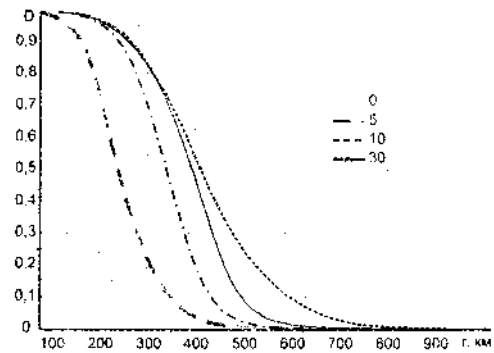
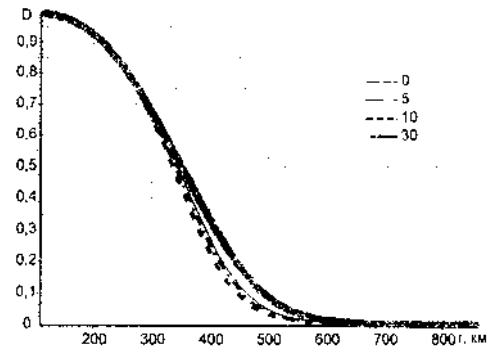


Рис. 1. Криві виявлення для ракурсу спостереження 0 градусів для різних кутів місця

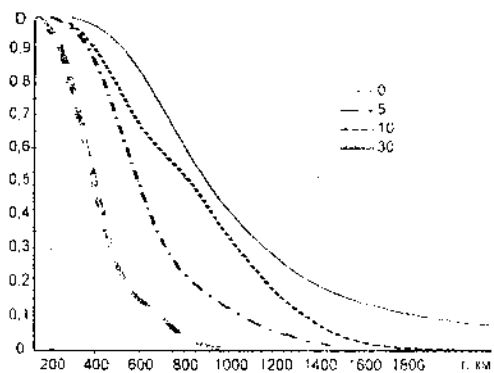
Але наведені графіки не дають уявлення про зміни енергетичних характеристик відбитого сигналу. Тому є сенс проаналізувати залежність умовної ймовірності виявлення не від значення сигнал/шум  $q$  а від дальності спостереження. Для виконання такого порівняння необхідно прив'язка до конкретного засобу радіолокації. Тому була обрана гіпотетична РЛС, що забезпечує виявлення об'єкту з ЕПР  $2,5 \cdot 10^2$  на дальності 200 км з рівнем хибних тривог  $F = 10^{-6}$ . Для такого засобу були розраховані залежності умовної ймовірності виявлення від дальності спостереження об'єкту. Криві наведено на рис. 2.



а



б



в

Рис. 2. Залежність умовної ймовірності виявлення від дальності для ракурсів спостереження а – 0; б – 45; в – 90 град.

Аналіз отриманих залежностей показав що для одного з розглянутих ракурсів спостереження – 45 градусів можливості виявлення об'єкту практично не залежали від кута місця, під яким він спостерігався.

Але для двох з розглянутих ракурсів спостереження: 0 і 90 градусів видна суттєва зміна можливостей виявлення об'єкту при зміні кута місця, під яким він спостерігається. Так для ракурсу спостереження 0 градусів зміна кута місця спостереження з 5 до 10 градусів приводить до збільшення дальності виявлення на 90 км на рівні умовної ймовірності виявлення  $D = 0,5$ . А при збільшенні кута місця до 30 градусів дальність виявлення знижується на 190 км. Для ракурсу спостереження 90 градусів спостерігаються ще більші коливання дальності виявлення при зміні кута місця, під яким спостерігається об'єкт.

### Висновки

Аналіз проведених розрахунків показав наступне. Виключення урахування кута місця, під яким спостерігається повітряний об'єкт, може приводити до значних помилок. Для деяких ракурсів значення дальності виявлення може при цьому бути спотворено на величину до 50%. Сказане обумовлено особливістю конструкції об'єкта, що розглядався, і як слідством великою зрізаністю ДЗВВ об'єкту. Тому бажано в програмних системах для проведення штабних розрахунків, системах підтримки рішення, оцінюванні можливостей підрозділів протиповітряної оборони використовувати якомога точніші моделі повітряних об'єктів та враховувати параметру руху, що суттєво впливають на якість виявлення об'єктів засобами радіолокації.

### Список літератури

1. *Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection, and Tracking / Y.D. Shirman, S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko, V.M. Orlenko, S.Y. Sedyshev, O.I. Sukharevskiy/Y.D. Shirman editor. – Boston – London: Artech house, 2002. – 294 p.*

2. *Radar Target Backscattering Simulation Software and User's Manual / Gorshkov S.A., Leshchenko S.P., Orlenko V.M., Sedyshev S.Yu, Shirman Y.D. – Boston – London: Artech House, 2002. – 71 p.*

3. Громов Г.Н., Иванов Ю.В., Савельев Т.Г., Синицын Е.А. *Адаптивная пространственно-доплеровская обработка эхо-сигналов РЛС управления воздушным движением. – С.-П.: Наука, 2002. – 244 с.*

4. Дуда Р., Харт П. *Распознавание образов и анализ сцен: Пер. с англ. / Под ред. В.Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1976. – 511 с.*

5. Калиткин Н.Н. *Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 512 с.*

6. Левин Б.Р. *Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.*

7. Лещенко С.П., Батурицкий М.П. *Расчет показателей качества обнаружения воздушных целей с учетом особенностей их конструкции и параметров полета // Сборник научных работ ХВУ. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 2 (49). – С. 94-96.*

8. *Разработка документации, паробация и внедрение методики прогнозирования зон обнаружения на ПЭВМ: Отчет о НИР "Апробация" (промежуточный). – Х.: ХВУ, 1995. – 109 с.*

9. Смертенко Є.В., Сніцаренко П.М., Утюшев М.М., Юзефович В.В. *Методика розрахунку зони виявлення РЛС кругового обзору для задач оцінювання ефективності радіолокаційної системи // Науково-технічний збірник ННДЦ ОТ і ВБ. – К: УУЛW, 2000. – Вып. 4. – С. 37-46.*

Надійшла до редколегії 15.11.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.П. Лещенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.