

УДК 621.396.96

М.П. Батуринський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ СТАНУ ЗБУРЕНОСТІ АТМОСФЕРИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ВИЯВЛЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ АКТИВНОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ

Проведено аналіз впливу стану збуреності атмосфери, в якій проходить політ аеродинамічного об'єкту, на статистичні характеристики відбитих від нього сигналів. На основі отриманих даних проведені розрахунки залежності максимальної дальності виявлення аеродинамічних об'єктів для різних умов польоту. Характер впливу стану атмосфери на якість виявлення неоднозначний і відрізняється для великих і малих ймовірностей виявлення. Показано, що зміна стану збуреності атмосфери може приводити до зміни максимальної дальності виявлення об'єкту на величину до 10% від номінально розрахованої.

**Ключові слова** повітряний об'єкт, якість виявлення, збуреність атмосфери, засіб радіолокації.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** В Повітряних Силах ЗСУ для виконання широкого кола завдань все більше поширюються розрахункові моделі оцінювання можливостей засобів радіолокації щодо виявлення аеродинамічних об'єктів. Такі моделі знаходять застосування у системах підтримки прийняття рішень, системах оцінювання ефективності зразків озброєння [1], розробки нових та удосконалення існуючих зразків озброєння тощо. З теорії радіолокації відомо, що проведення розрахунку можливості засобу активної радіолокації щодо виявлення аеродинамічних об'єктів потребує знання статистичних характеристик відбитого від цих об'єктів сигналу [2].

**Метою статті** є визначення впливу умов польоту аеродинамічного об'єкту, а саме стану збуреності атмосфери, на статистичні характеристики відбитого від об'єкту сигналу та якість його виявлення.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення розрахунків використовувалась модель розрахунків відбитих сигналів від набору об'єктів, що запропонована Я.Д. Ширманом, С.П. Лещенко, С.А. Горшковим та іншими [3, 4]. Модель використовує апроксимацію складної поверхні ае-

родинамічного об'єкту набором тіл відносно простої форми (еліпсоїди, циліндри, пластини, тощо) для яких відомі точні методи розрахунку розсіювання електромагнітних хвиль. У цьому випадку відбитий від всього об'єкту сигнал знаходиться як суперпозиція відбиттів від кожної складової поверхні з урахуванням ефекту затінення. Вказана модель дозволяє отримати миттєві значення амплітуди відбитого сигналу для заданих інтервалів часу.

Розрахунки проводились для різних станів збуреності атмосфери: ясна погода (clear weather – ступінь збуреності атмосфери 1), тиха погода (quiet weather – ступінь збуреності атмосфери 2), хмарна погода (cloudy weather – ступінь збуреності атмосфери 3), штормова погода (storm weather – ступінь збуреності атмосфери 4). Стани атмосфери наведені в термінах моделі, що використовувалась [4].

Взаємодія повітряного об'єкту, що рухається, зі збуреною атмосферою приводить до постійної зміни вектора швидкості  $V$ . Ця зміна визначається статистикою неоднорідності атмосфери.

Для урахування стану збуреності атмосфери при польоті об'єкту в детерміновану складову його руху додатково вводилась випадкова складова. Схема розрахунку складової для курсу наведена на рис. 1.

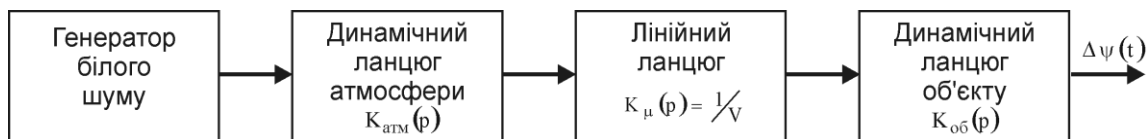


Рис. 1. Схема моделювання складової курсу при русі аеродинамічного об'єкту

Для інших складових: крену та тангажу схема така ж сама. Перший елемент схеми генератор білого нормального шуму. Другий елемент – динамічний ланцюг другого порядку з передаточною функ-

цією  $K_{атм} p$  що описує неоднорідності руху атмосфери. Третій елемент – динамічний ланцюг нульового порядку з передаточною функцією  $K_{μ} p = 1/V$  що описує кут  $μ$  між напрямком по-

вітряного потоку та вектором, зворотнім вектору швидкості об'єкту  $V$ . Останній елемент – динамічний ланцюг другого порядку з передаточною функцією  $K_{об}$   $p$  що описує аеродинамічні сили, які діють на об'єкт, його інерційні характеристики та інерційні характеристики пілота або автопілота.

Передаточна функція  $K_{атм}$   $p$  при розрахунках обиралась відповідно до виразу [3]

$$K_{атм} p = \sqrt{\frac{3}{a\Delta t}} \cdot \sigma\Delta_v \cdot \frac{p + \frac{1}{a\sqrt{3}}}{p^2 + \frac{2p}{a} + \frac{1}{a^2}} \quad (1)$$

де  $a = \frac{L}{V}$  – відношення розміру турбулентності атмосфери до швидкості об'єкту;  $\sigma\Delta_v$  – середньоквадратичне відхилення швидкості поривів вітру. Оцінка середнього та максимального розміру турбулентності атмосфери на висоті від 3 до 7 км складає 400 та 600 м відповідно. Для висот 5 – 18 км ці значення дорівнюють 900 м та 2600 м відповідно [4]. Для проведення розрахунків значення  $\sigma\Delta_v$  використовувались відповідно табл. 1 [5].

Таблиця 1

Характеристики поривів вітру  $\sigma\Delta_v$

Стан погоди	Середньоквадратичне відхилення швидкості поривів вітру
Ясна погода	$\sigma\Delta_v < 0.5$ м/с
Тиха погода	$0.5 < \sigma\Delta_v < 2$ м/с
Хмарна погода	$2 < \sigma\Delta_v < 4$ м/с
Штормова погода	$\sigma\Delta_v > 4$ м/с

Для отриманих за допомогою моделі миттєвих значень амплітуди відбитого сигналу проводилась статистична обробка. Щільність ймовірності розподілення амплітуди відбитого сигналу розраховувалась за допомогою чисельних методів – методом Парзенівського вікна [6]. При цьому шукана щільність ймовірності  $W$  у знаходилась відповідно виразу:

$$W y = \sum_{k=1}^n \frac{1}{h_n} \phi\left(\frac{y - y_k}{h_n}\right), \quad (2)$$

де  $n$  – обсяг вибірки;  $\phi y$  – функція вікна;  $h_n$  – параметр вікна.

Функція вікна має мати всі ознаки функції щільності ймовірностей: невідємна, площина під кривою має дорівнювати одиниці. У випадку, що розглядається в якості функції вікна була взята функція розподілення Релея-Райса:

$$\phi y = \frac{y}{\sigma^2} e^{-\frac{y^2 + \alpha^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{\alpha y}{\sigma^2}\right), \quad (3)$$

адже цією функцією найчастіше описують характеристики радіолокаційних сигналів [2]. Розрахунок вказаної функції також проводився за допомогою чисельних методів.

Розраховані криві, що описують щільність розподілення відбитого сигналу, наведені на рис. 2. Для розрахунку використовувалась модель винишувача Миг-29 при опромінюванні його сигналом 30 см. діапазону хвиль. Отримані залежності представлені для ракурсу спостереження літака  $37^\circ$  та відношення сигнал/шум  $q = 20$  dB.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки: при збільшенні збурення атмосфери статистичні характеристики відбитого від об'єкту сигналу можуть мати суттєві зміни. Причому зміни найчастіше проявляються у розмиванні екстремумів функції щільності розподілення (рис. 2). Але для інших ракурсів спостереження та інших аеродинамічних об'єктів спостерігалися зміни закону розподілення і інших видів. Такі зміни обумовлені перш за все особливостями конструкції самих об'єктів.

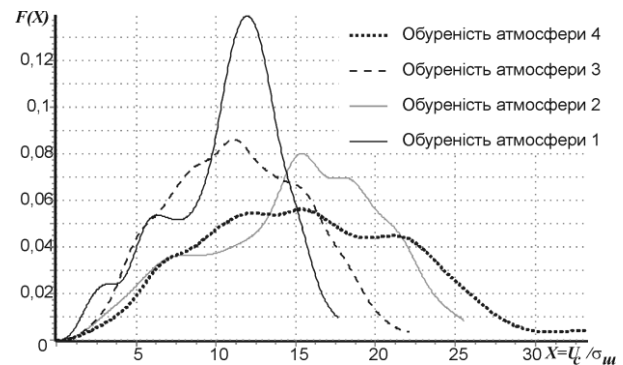


Рис. 2. Щільності розподілення відбитого сигналу для різних умов польоту аеродинамічного об'єкту

Для практики більший інтерес уявляють собою залежності дальності виявлення від ракурсу спостереження. Залежності такого типу наведені на рисунку 3. Розрахунки проводились для літака Миг-29. При цьому була обрана РЛС, що виявляє ціль з ефективною поверхнею розсіювання  $1 \text{ м}^2$  на відстані 100 км. Аналіз отриманих залежностей показує неоднозначний вплив стану збуреності атмосфери на дальність виявлення об'єкту. Так для великих ймовірностей виявлення (ймовірність правильного виявлення  $D=0,95$ ) при збільшенні ступеню збурення атмосфери спочатку спостерігалось збільшення дальності. Подальше збільшення турбулентності атмосфери приводило до зниження дальності виявлення.

Для малих ймовірностей виявлення (ймовірність правильного виявлення  $D=0,2$ ) спостерігалась інша залежність. Збільшення турбулентності в атмосфері приводило до покращення виявлення – незначного збільшення максимальної дальності виявлення.

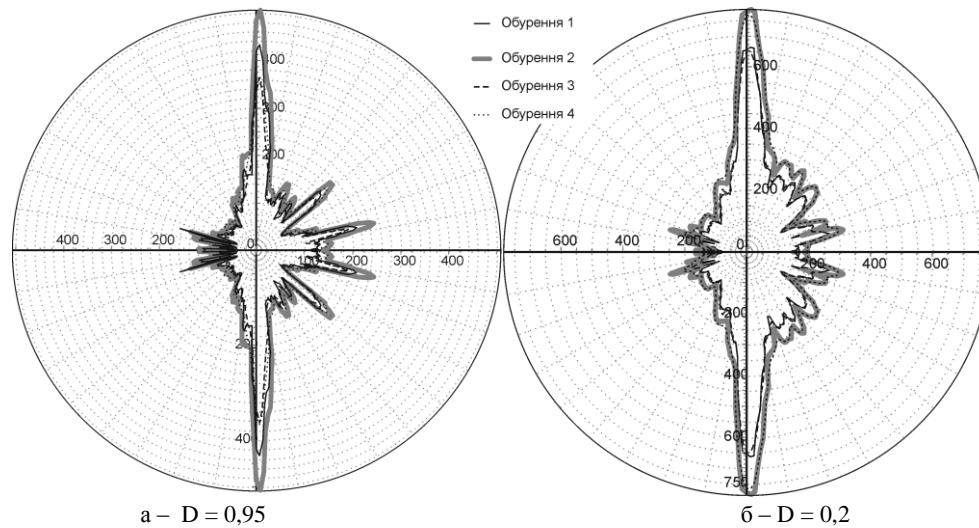


Рис. 3. Залежності дальності виявлення від ракурсу спостереження

### Висновки

Аналіз проведених розрахунків показав, що ступінь збуреності атмосфери, в якій проходить політ аеродинамічного об'єкту впливає на якість виявлення цього об'єкту засобами радіолокації. Однак вплив виявився неоднозначним, так в деяких випадках при збільшенні турбулентності в атмосфері спостерігалось зменшення максимальної дальності виявлення об'єкту, а в інших випадках збільшення. Найбільш однозначний вплив спостерігався для умов невеликих ймовірностей виявлення об'єкту  $D$ . В цих випадках при збільшенні ступеню турбулентності атмосфери спостерігалось незначне, але постійне, збільшення максимальної дальності виявлення на рівні близькому 10% від номінальної розрахованої дальності.

### Список літератури

1. Єрмошин М.О., Ткаченко В.І., Макаров А.Ф. Застосування геоінформаційних і космічних навігаційних систем для підвищення ефективності дій зенітних ракетних

підрозділів // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – № 4(12). – С. 7-10.

2. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.

3. 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 с.

4. 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.

5. Sukharevsky, O.I. et al., Pulse Signal Scattering from Perfectly Conducting Complex Object Located near Uniform Half-Space / Progress in Electromagnetic Research. – Vol. 29, 2000. – P. 169–185.

6. Дуда Р., Харп П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976. – 511 с.

Надійшла до редколегії 22.09.2008

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

### ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗМУЩЕННОСТИ АТМОСФЕРЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СРЕДСТВАМИ АКТИВНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

М.П. Батуринский

В статье проведен анализ влияния состояния возмущенности атмосферы на статистические характеристики отраженного от аэродинамического объекта сигнала и качество его обнаружения средствами активной радиолокации. На основе полученных данных проведены расчеты зависимости максимальной дальности выявления аэродинамических объектов для разных условий полета. Характер влияния состояния атмосферы на качество выявления неоднозначен и отличается для больших и малых вероятностей выявления. Показано, что изменение состояния возмущенности атмосферы может приводить к изменению максимальной дальности выявления объекта на величину до 10% от номинально рассчитанной.

**Ключевые слова:** воздушный объект, качество обнаружения, возмущенность атмосферы, средство радиолокации.

### EVALUATION OF INFLUENCING OF ATMOSPHERIC TURBULENCE LEVEL ON THE QUALITY INDEXES OF DETECTING AERODYNAMIC OBJECTS ACTIVE RADAR STATIONS

M.P. Baturinskiy

In the article the analysis of influencing atmospheric turbulence level is conducted on statistical descriptions of the signal reflected from an aerodynamic object and quality of his detecting of active radar stations. On the basis of findings the calculations of dependence of maximal distance of exposure of aerodynamic objects are conducted for the different terms of flight. Character of influencing of the state of atmosphere on quality of exposure is ambiguous and differs for large and small probabilities of exposure. It is shown that the change of the state revolted of atmosphere can cause change maximal distance of exposure of object on a size to 10% of nominally expected.

**Keywords:** air objects, detection quality, atmosphere turbulence, radar.