

УДК 621.391.26

О.Л. Кузнецов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Харків

## ВПЛИВ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗОВИХ ФЛУКТУАЦІЙ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СИГНАЛУ НА ТОЧНІСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИСКОРЕННЯ ЦІЛІ

У статті надані вирази для розрахунку середньоквадратичної помилки вимірювання радіального прискорення цілі при врахуванні випадкових фазових викривлень радіоімпульсів прийнятого пачкового радіосигналу. Проведений чисельний аналіз впливу статистичних характеристик фазових флуктуацій радіоімпульсів прийнятої пачки на точність оптимального вимірювання радіального прискорення цілі.

**Ключові слова:** радіальне прискорення, точність, пачка радіоімпульсів, фазові флуктуації.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасні РЛС виконують завдання за призначенням в умовах впливу атмосферних неоднорідностей та земної (морської) поверхні. Вказані фактори є причинами виникнення випадкових викривлень фазової структури радіолокаційного сигналу, які здатні суттєво знизити точність вимірювання координат цілі та їх похідних за часом [1].

В РЛС супроводження здійснюється оцінювання першої, другої, а в деяких випадках й третьої похідної дальності за часом. Тому, представляє практичну користь проведення чисельного аналізу впливу статистичних характеристик фазових флуктуацій прийнятого радіосигналу на точність оптимального вимірювання радіального прискорення цілі.

Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] проведена оптимізація вимірювання радіального прискорення цілі за рахунок врахування фазових флуктуацій прийнятого радіолокаційного сигналу. Оцінювання ефективності запропонованої оптимізації проведено у роботі [3].

**Метою статті** є проведення чисельного аналізу залежності точності оптимального вимірювання радіального прискорення цілі від статистичних характеристик фазових флуктуацій радіосигналу.

### Основний матеріал

Припускається, що фазові флуктуації розподілені за нормальним законом з кореляційною матрицею виду [2, 3]

$$K = \left\| \sigma_{\varphi}^2 a^{|i-j|} \right\| \quad i, j \in 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де  $\sigma_{\varphi}^2$  – дисперсія фазових флуктуацій;  $a$  – коефіцієнт кореляції фазових флуктуацій сусідніх радіоімпульсів пачки;  $i, j$  – номери радіоімпульсів пачки;  $n$  – кількість радіоімпульсів у пачці.

Середньоквадратична помилка оптимального вимірювання радіального прискорення цілі може бути оцінена згідно виразу

$$\sigma_a = \lambda \sigma_{\dot{\Omega}_{\text{опт}}} / 4\pi, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі;  $\sigma_{\dot{\Omega}_{\text{опт}}}$  – середньоквадратична помилка (СКП) оптимального вимірювання швидкості зміни кругової частоти пачки при врахуванні фазових флуктуацій її радіоімпульсів.

Вираз для дисперсії помилки оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки [3] має вид

$$\begin{aligned} \sigma_{\dot{\Omega}_{\text{опт}}}^2 = & \{q^2 T^4 [ \sum_{k=2}^m \sum_{i=1}^{k-1} \xi_k \xi_i (k^2 - k - i^2 + i)^2 - \\ & - \frac{1}{|\Theta|} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m (-1)^k \xi_k \xi_l (k^2 - k - l^2 + 1) \times \\ & \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (-1)^i \xi_i \xi_j (i^2 - i - j^2 + j) |\Theta_{k,i}| \}^{-1}. \end{aligned} \quad (3)$$

де  $q^2$  – відношення сигнал/шум по потужності;  $T$  – період слідування радіоімпульсів пачки;  $m$  – кількість пар радіоімпульсів симетричних відносно

центру пачки;  $\xi_k = \frac{Z_k}{Z_{\Sigma}}$ ;  $Z_k = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{Y}_k(t) \dot{X}_k^*(t) dt$

– модуль сигнальної частини комплексного кореляційного інтегралу для  $k$ -го радіоімпульсу;  $\dot{Y}_k(t)$  – комплексна амплітуда прийнятого  $k$ -го радіоімпульсу;  $\dot{X}_k^*(t)$  – комплексно спряжена амплітуда  $k$ -го опорного радіоімпульсу;  $Z_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n Z_k$ .

В цьому виразі  $|\Theta_{k,i}|$  – мінор елемента  $k, i$  матриці  $\Theta$  [2, 3], визначник якої має виукзд

$$|\Theta| = \begin{vmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,m} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \dots & a_{m,m} \end{vmatrix}, \quad (4)$$

де  $a_{1,1} = \frac{1-a+a^2}{2\gamma(1+a)} + \xi_1 \sum_{i=2}^m \xi_i$ ;  $a_{m,m} = \frac{1}{2\gamma(1+a)} + \xi_m \times$

$$\times \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i; a_{k,k} = \frac{1+a^2}{2\gamma(1+a)} + \xi_k \left( \sum_{i=1}^{k-1} \xi_i + \sum_{i=k+1}^m \xi_i \right); a_{k,k+1} =$$

$$= a_{k+1,k} = -\frac{a}{2\gamma(1+a)} - \xi_k \xi_{k+1}; a_{k,i} = a_{i,k} = -\xi_k \xi_i;$$

$\gamma = q^2 \sigma_\varphi^2 (1-a)$  – параметр, який дозволяє врахувати спільний вплив внутрішніх шумів і корельованих фазових флуктуацій.

На рис. 1 і 2 надані графіки залежності квадрата добутку  $(\sigma_{\Omega_{\text{опт}}} \tau_c^2)^2$  СКП оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки  $\sigma_{\Omega_{\text{опт}}}$  і квадрату тривалості пачки з 6 радіоімпульсів  $\tau_c^2$  від дисперсії фазових флуктуацій  $\sigma_\varphi^2$ .

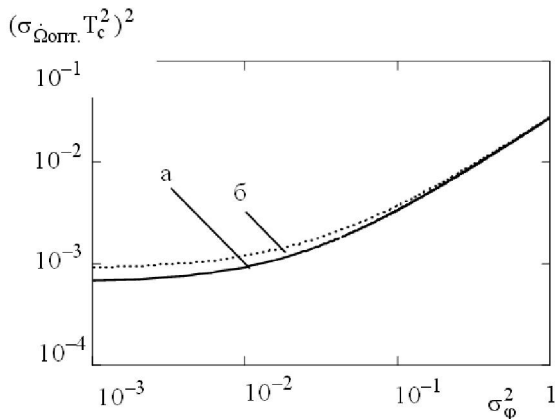


Рис. 1. Вплив статистичних характеристик фазових флуктуацій на СКП оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки в залежності від амплітудного розподілу її радіоімпульсів

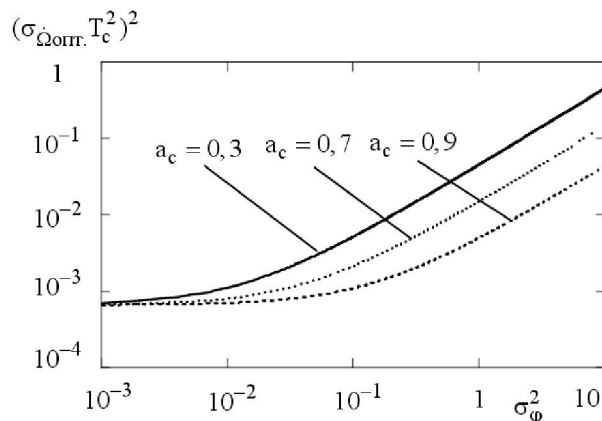


Рис. 2. Вплив статистичних характеристик фазових флуктуацій на СКП оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки при рівномірному амплітудному розподілі її радіоімпульсів

На рис. 1 крива, що позначена літерою “а”, відповідає пачці з рівномірним розподілом амплітуд радіоімпульсів, а крива, що позначена літерою “б”, відповідає пачці з розподілом амплітуд радіоімпульсів, який убуває від центру до її країв за законом  $\xi_k/\xi_1 = 1 - (k-1)/m$  ( $k=1,2,\dots,m$ ). Відношення сигнал/шум по потужності приймається рівним

$q^2 = 600$ , а коефіцієнт кореляції фазових флуктуацій між крайніми радіоімпульсами пачки –  $a_c = 0,5$ .

На рис. 2 надані аналогічні графіки для пачки з 6 радіоімпульсів з рівномірним розподілом амплітуд при різних значеннях коефіцієнта кореляції фазових флуктуацій  $a_c$ .

З наведених графіків видно, що величина СКП оптимального вимірювання швидкості зміни частоти пачки радіоімпульсів зростає зі збільшенням дисперсії та зменшенні коефіцієнта кореляції фазових флуктуацій.

В області малих значень дисперсії фазових флуктуацій на величину СКП оптимального вимірювання радіального прискорення цілі переважний вплив здійснює співвідношення амплітуд пар симетричних радіоімпульсів пачки (рис. 1) і майже не впливають статистичні характеристики фазових флуктуацій (рис. 2). В області великих значень дисперсії фазових флуктуацій СКП оптимального вимірювання радіального прискорення цілі переважно визначається статистичними характеристиками фазових флуктуацій. При  $\sigma_\varphi^2 > 0,1$  дана залежність наближується до лінійної та збільшується внесок зниження кореляції фазових флуктуацій в збільшення СКП вимірювання радіального прискорення цілі.

Проведений аналіз дозволяє визначити умови при яких врахування фазових флуктуацій радіолокаційного сигналу при вимірюванні радіального прискорення цілі є доцільним.

### Висновки

Отримані результати дозволяють визначити умови застосування алгоритму оптимального вимірювання радіального прискорення цілі [2] для конкретних зразків сучасних радіолокаційних станцій та отримувати відповідні оцінки показників якості вимірювання.

### Список літератури

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория / под. ред. Я.Д. Ширмана. – М.: З.А.О. «МАКВИС», 1998. – 828 с.
2. Оптимізація вимірювання радіального прискорення цілі за рахунок врахування фазових флуктуацій прийнятого радіолокаційного сигналу / О.Л. Кузнецов // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ навігації і управління. – 2009. – Вип. 3(11). – С. 53-55.
3. Підвищення точності вимірювання радіального прискорення цілі при врахуванні фазових флуктуацій радіолокаційного сигналу / О.Л. Кузнецов, М.М. Мінервін, В.А. Таршин, М.М. Петрушенко // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ навігації і управління, 2009. – Вип. 4(12). – С. 39-41.

Надійшла до редколегії 26.02.2010

Рецензент: д-р. техн. наук, проф. Г.В. Єрмаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ВЛИЯНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА НА ТОЧНОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ ЦЕЛИ**

А.Л. Кузнецов

*В статье представлены выражения для расчета среднеквадратической ошибки измерения радиального ускорения цели при учете случайных фазовых искажений радиоимпульсов пачечного радиосигнала. Проведен численный анализ влияния статистических характеристик фазовых флуктуаций радиоимпульсов принятой пачки на точность оптимального измерения радиального ускорения цели.*

**Ключевые слова:** радиальное ускорение, точность, пачка радиоимпульсов, фазовые флуктуации.

**INFLUENCE OF PHASE FLUCTUATIONS STATISTICAL CHARACTERISTICS OF RADAR SIGNAL ON THE OPTIMAL MEASUREMENT ACCURACY OF TARGET RADIAL ACCELERATION**

A.L. Kuznetsov

*Expressions for computing RMS error of target radial acceleration are given for the cases when random phase distortions of the echo pulses within the train are accounted for. Numerical analysis of these phase fluctuations influence on the optimal measurement accuracy of radial acceleration.*

**Keywords:** radial acceleration, accuracy, pulse train, phase fluctuations.