

УДК 681.5.03.033

С.В. Полішко<sup>1</sup>, К.В. Садовий<sup>2</sup>, О.О. Сосунов<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний університет оборони України, Київ<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПАРАМЕТРА ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ФЛУКТУАЦІЙНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ КУТОВОГО ДИСКРИМІНАТОРА ДВОМА МЕТОДАМИ

Для еквівалентної флуктуаційної характеристики кутового дискримінатора проведена порівняльна оцінка рівня дисперсії помилки за межами апертури двома методами. Отримані результати показали значне розходження між оцінками. Новий метод отримання оцінки виходячи з умови, що середній час повернення помилки в межі апертури на порядок перевищує характерний час функціонування слідкуючої системи, на відміну від первинного, гарантує відсутність інструментальної погрішності.

**Ключові слова:** еквівалентна флуктуаційна характеристика дискримінатора, апертура дискримінаційної характеристики.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При аналізі одночасного функціонування радіотехнічних слідкуючих систем (по кутовим координатам, дальності, радіальної швидкості) з використанням еквівалентних статистичних характеристик дискримінаторів [1 – 3] необхідно знати всі параметри таких характеристик.

Одним з таких важливих параметрів є рівень дисперсії помилки  $V_f$  за межами апертури еквівалентної дискримінаційної характеристики [1, 4]. От значення цього параметра залежить ймовірність повернення помилки в межі апертури (після її виходу за межі апертури) за характерний час  $T_{\text{хар}}$ .

В дослідницьких задачах, що пов'язані, наприклад, з постановкою перешкод, що відводять по одній з координат, важливо, щоб за відомий характерний час  $T_{\text{хар}}$  [5] помилка по вказаній координаті не повернулася в межі апертури еквівалентної дискримінаційної характеристики і в перебігу цього часу здійснювався повторний пошук і захват. При цьому не буде додаткової інструментальної погрішності, обумовленої застосуванням еквівалентних статистичних характеристик дискримінаторів.

В початковій роботі по еквівалентних характеристиках [1] параметр  $V_f$  явно не використовувався і як початкове наближення застосовувався класичний результат з роботи [6], отриманий при рішенні іншої задачі. Стосовно еквівалентних статистичних характеристик запропонована в роботі [1] оцінка параметра дуже груба, оскільки вона не залежить ні від характерного часу роботи  $T_{\text{хар}}$  ні від відношення сигнал/шум  $q$ . Тому в роботі [4] був використаний інший підхід для отримання оцінки параметра  $V_f$ .

**Метою даної статті** є порівняльний аналіз кількісного значення рівня дисперсії помилки  $V_f$  за межами апертури еквівалентної дискримінаційної

характеристики кутового дискримінатора двома методами – що існує, викладеним в роботі [1], і новим, запропонованим в роботі [4].

### Виклад основного матеріалу

Початково запропонована в роботі [1] оцінка параметра  $V_f$  ґрунтується на виразі для потенційного середньоквадратичного значення помилки вимірювання кутової координати з роботи [6]:

$$\sigma_0 = \frac{\theta_A}{q\sqrt{\pi}}, \quad (1)$$

де  $c$  – швидкість світла;  $q$  – відношення сигнал/шум;  $\theta_A$  – ширина діаграми спрямованості антени за потужністю за рівнем 0,46.

Приведений вираз (1) отриманий в [6] при апроксимації модифікованої функції Бесселя, справедливої при достатньо великих значеннях параметра  $q$ .

Для оцінки рівня дисперсії за межами апертури  $V_f$  в початковій роботі [1] використовується квадрат виразу (1), помножений на  $q^2$ :

$$V_f = \frac{(\theta_A)^2}{\pi}. \quad (2)$$

Таким чином оцінка рівня дисперсії за межами апертури  $V_f$  еквівалентної дискримінаційної характеристики в початковій роботі [1] не залежить ні від відношення сигнал/шум  $q$  ні від характерного часу функціонування слідкуючої системи  $T_{\text{хар}}$ .

При новому підході до оцінки параметра  $V_f$ , заснованому на неповерненні помилки екстраполяції в межі апертури за характерний час роботи  $T_{\text{хар}}$  слідкуючої системи, в роботі [4] отриманий аналітичний вираз для  $V_f$ :

$$V_f = \sigma_f^2 = \left( L_x / \left( 2\sqrt{2} \cdot \operatorname{erf}^{-1} \left( \frac{T}{10 \cdot T_{\text{хар}}} \right) \right) \right)^2, \quad (3)$$

де  $\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$  – функція помилок;  $L_x$  –

ширина апертури еквівалентної дискримінаційної характеристики;  $T$  – інтервал часу екстраполяції координати.

Оцінка параметра  $V_f$  згідно (3) залежить від відношення сигнал/шум  $q$ , оскільки від цього відношення залежить ширина апертури  $L_x$ . Однак для кутового дискримінатора цією залежністю можна знехтувати [2].

Вираз (3) можна істотно спростити. Оскільки характерний час роботи слідкуючої системи  $T_{\text{хар}}$  вже в усякому разі не менше інтервалу екстраполяції  $T$ , то аргумент функції  $\operatorname{erf}^{-1}$  в (3) дуже малий. Цей факт дозволяє замінити функцію  $\operatorname{erf}^{-1}$  її розкладанням в ряд Тейлора і обмежитися при цьому лінійним членом [7]:

$$\operatorname{erf}^{-1}(z) \approx \operatorname{erf}^{-1}(z)|_{z=0} + (\operatorname{erf}^{-1}(z))'|_{z=0} \cdot z = \frac{\sqrt{\pi}}{2} z. \quad (4)$$

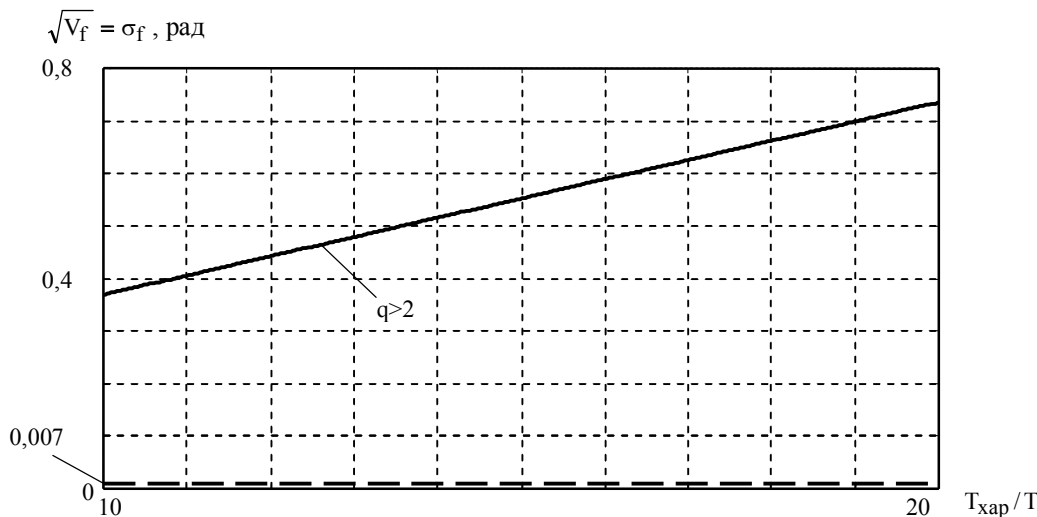


Рис. 1. Залежності оцінки параметра  $\sqrt{V_f} = \sigma_f$  від відношення  $T_{\text{хар}}/T$ :  
 — — — — — початкова згідно (2); — — — — — запропонована в роботі [4] згідно (3)  
 при значеннях відношення сигнал/шум  $q > 2$

Для всіх відношень сигнал/шум  $q$  і для реальних значень  $T_{\text{хар}}/T$  первинна оцінка  $\sqrt{V_f} = \sigma_f$  згідно (2) значно менше запропонованої згідно (3) з роботи [4] і, отже, первинна оцінка приводить до додаткової інструментальної погрішності.

Таким чином використання нового підходу до оцінки параметра  $V_f$ , запропонованого в роботі [4], на відміну від того, що існує в роботі [1], не приведе до додаткової інструментальної погрішності – поверненню помилки в межі апертури (після її виходу за межі) за характерний час  $T_{\text{хар}}$ .

За результатами статті можна зробити ряд висновків.

Відповідно цьому вираз (3) перетворюється в наступний:

$$V_f = \sigma_f^2 = \left( \left( \frac{10T_{\text{хар}}}{\sqrt{2}T} \right) \cdot \frac{L_x}{\sqrt{\pi}} \right)^2 = \left( K_{\text{збіль}} \cdot \frac{L_x}{\sqrt{\pi}} \right)^2. \quad (5)$$

У виразі (5) параметр  $L_x$  по порядку величини відповідає  $\theta_A$  у виразі (2). Таким чином нова оцінка параметра  $V_f$  відрізняється від тієї, що існує (2), на квадрат коефіцієнта збільшення  $K_{\text{збіль}}$ , що відображає факт підвищення рівня дисперсії при збільшенні характерного часу роботи системи.

Оскільки очікувана залежність  $\sqrt{V_f} = \sigma_f$  від відношення  $T_{\text{хар}}/T$  згідно (5) лінійна, то для більшої наочності саме вона (а не  $V_f = \sigma_f^2$ ) і приводиться на рис. 1. На тому ж рисунку показана і оцінка  $\sqrt{V_f} = \sigma_f$  згідно (2). При проведенні розрахунків істотно використовувалися і результати і початкові дані ( $\theta_A = 0,012$  рад) роботи [2].

## Висновки

1. Використання еквівалентних статистичних характеристик дискримінатора приносить додаткову інструментальну погрішність – повернення помилки в межі апертури (після її виходу за межі) за характерний час  $T_{\text{хар}}$ .

2. Проведена в роботі порівняльна оцінка рівня дисперсії помилки за межами апертури  $V_f$  двома методами показала значну кількісну розбіжність між ними.

3. Новий підхід до оцінки параметра  $V_f$  з роботи [4], заснований на тому, що середній час повернення помилки в межі апертури на порядок більше

характерного часу  $T_{\text{хар}}$  функціонування слідкуючої системи, гарантує відсутність інструментальної погрешності на відміну від раніше запропонованого в роботі [1].

### Список літератури

1. Хисматулин В.Ш. Оценка вероятности надежного сопровождения аэродинамических целей многоканальной радиолокационной станцией / В.Ш. Хисматулин, И.И. Сачук, А.А. Ковальчук // *Авиационно-космическая техника и технология: сб. научн. тр. Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"*. – Х.: ХАИ, 2001. – Вып. 22. – С. 259-262.

2. Хисматулин В.Ш. Оценка устойчивости сопровождения целей с помощью эквивалентного размера апертуры характеристики дискриминатора / В.Ш. Хисматулин, А.А. Ковальчук, А.А. Сосунов, И.И. Сачук // *Системы обработки информации*. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 2. – С. 125-132.

3. Ільїн О.Ю. Оцінка показника якості підсистем автосупроводження за дальністю та кутковою координа-

тою багатоканальної РЛС з фазованою антенною решіткою за допомогою уточненої моделі / О.Ю. Ільїн, О.В. Коломійцев, А.М. Печкін, О.О. Сосунов // *Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил*. – Х.: ХУ ПС. – 2009. – Вып. 1(19). – С. 42-45.

4. Сосунов А.А. Оценка параметра эквивалентной флуктуационной характеристики дискриминатора / А.А. Сосунов // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – Х.: ХУ ПС. – 2009. – Вып. 2(2). – С. 94-96.

5. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба / А.И. Палий. – М.: Воениздат, 2002. – 470 с.

6. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации / Я.Д. Ширман. – М.: Сов. Радио, 1970. – 260 с.

7. Корн. Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1984. – 831 с.

Надійшла до редколегії 21.10.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Є.Л. Казаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ФЛУКТУАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛОВОГО ДИСКРИМИНАТОРА ДВУМЯ МЕТОДАМИ

С.В. Полишко, К.В. Садовый, А.А. Сосунов

Для эквивалентной флуктуационной характеристики углового дискриминатора проведена сравнительная оценка уровня дисперсии ошибки за пределами апертуры двумя методами. Полученные результаты показали значительное расхождение между оценками. Новый метод получения оценки исходя из условия, что среднее время возвращения ошибки в пределы апертуры на порядок превышает характерное время функционирования следящей системы, в отличие от первоначального, гарантирует отсутствие инструментальной погрешности.

**Ключевые слова:** эквивалентная флуктуационная характеристика дискриминатора, апертура дискриминационной характеристики.

### THE TWO METHODS COMPARATIVE ESTIMATION OF PARAMETER OF EQUIVALENT FLUCTUATION RESPONSE OF ANGLE DISCRIMINATOR

S.V. Polishko, K.V. Sadovy, A.A. Sosunov

For equivalent fluctuation response of angle discriminator the comparative estimation of error dispersion level is executed outside an aperture by two methods. The results obtained showed considerable divergence between estimations. New estimation method by means the condition, that average time of returning of error in aperture borders on an order exceeds characteristic time of functioning of tracking system, unlike primary, absence of instrumental error guarantees.

**Keywords:** equivalent fluctuation response of discriminator, aperture of discriminatory response.