

УДК 681.5.03.033

А.А. Ковальчук, К.В. Садовый, А.А. Сосунов

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## УТОЧНЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ФЛУКТУАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСКРИМИНАТОРА

Для эквивалентной флуктуационной характеристики дискриминатора проведена оценка одного из параметров – уровня дисперсии ошибки экстраполяции за пределами апертуры. Аналитическое выражение для оценки параметра получено исходя из условия, что вероятностью возвращения ошибки экстраполяции в пределы апертуры за характерное время функционирования следящих систем можно пренебречь.

**Ключевые слова:** эквивалентная статистическая характеристика дискриминатора, вероятность устойчивого сопровождения.

### Введение

**Постановка проблемы.** При анализе и синтезе радиотехнических следящих систем широко используется понятие эквивалентных статистических характеристик дискриминатора – эквивалентной дискриминационной и эквивалентной флуктуационной характеристик [1, 2]. Для такого вида статистических характеристик в работе [1] предложен показатель качества – вероятность устойчивого сопровождения  $p_n$ . Этот показатель представляет собой вероятность нахождения ошибки экстраполяции к следующему радиоконтакту с воздушным объектом (ВО) в пределах апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики дискриминатора (рис. 1) и при отсутствии систематической ошибки может быть рассчитан аналитически [1]:

$$p_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3} \int_{-\frac{L_x}{2}}^{\frac{L_x}{2}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma_3^2}} dt, \quad (1)$$

где  $L_x$  – ширина апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики дискриминатора;

$\sigma_3^2 = D_3$  – дисперсия ошибки экстраполяции координаты  $\Delta x_3$  воздушного объекта.

Для определения ширины эквивалентной дискриминационной характеристики дискриминатора  $L_x$  необходимо проведение объемного статистического исследования.

Главным критерием при подборе зависимости эквивалентного размера апертуры  $L_x$  от отношения сигнал/шум  $q$ , что гарантирует возможность использования формулы (1) для оценки вероятности отсутствия срыва сопровождения, должно быть совпадение результатов статистических испытаний на устойчивость сопровождения системы с реальным дискриминатором (рис. 1) и аналитических расчетов по формуле (1).

Таким образом переход от реальных статистических характеристик дискриминатора к эквивалентным трудоемкий и по возможности его следует избегать.

Тем не менее такая работа компенсируется главным удобством при использовании эквивалентных характеристик в исследованиях – чрезвычайной простотой определения момента срыва сопровождения [3, 4, 5]. Если ошибка экстраполяции в пределах апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики, то ВО сопровождается, если за пределами апертуры – происходит срыв сопровождения.

В исходной работе по эквивалентным характеристикам [1] уровень дисперсии ошибки  $V_f$  за пределами апертуры не использовался и определялся косвенно.

Предполагалось, что он достаточно большой, и возможностью повторного возвращения ошибки в пределы апертуры можно пренебречь. Для исследования срыва сопровождения по одной из систем этого может быть и достаточно, однако совершенно недостаточно при моделировании совместного функционирования всех следящих систем.

**Целью** данной статьи и является получение количественного значения уровня дисперсии ошибки  $V_f$  за пределами апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики.

### Результаты исследований

Для получения количественных оценок будем использовать аппарат конечных цепей Маркова с дискретным временем. Определим состояния  $S_j$ ,  $j = 1, 2$ :

$S_1$  – ошибка экстраполяции в пределах апертуры эквивалентной дискриминационной характеристики;

$S_2$  – ошибка экстраполяции за пределами апертуры.

Граф переходов модели представлен на рис. 2.

Вероятность  $p_2$  остаться в состоянии  $S_2$  подлежит определению, так как через нее рассчитыва-

ється уровень дисперсии  $V_f = \sigma_f^2$ . Значение этой вероятности должно быть таким, чтобы за характер-

ное время  $T_{хар}$  функционирования следящих систем возвратом в состояние  $S_1$  можно было пренебречь.

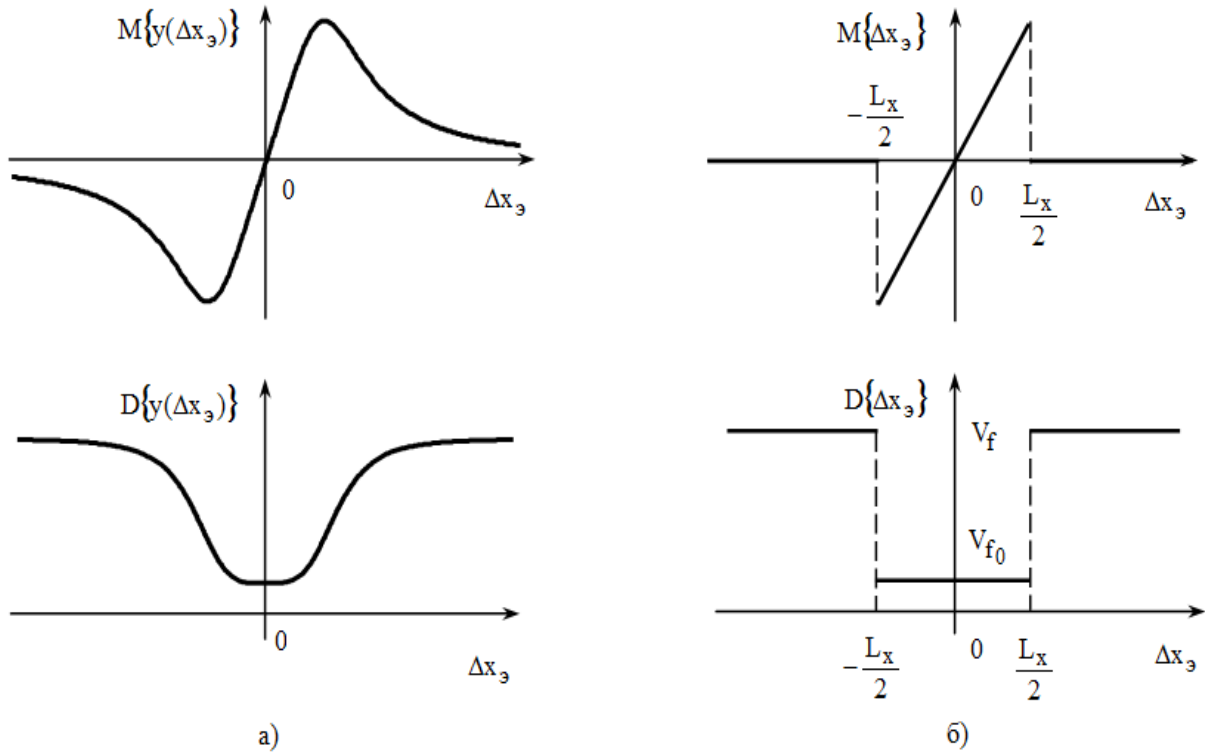


Рис. 1. Флуктуационні характеристики: а – реальні дискримінаційна і флуктуационні характеристики дискримінатора; б – еквівалентні дискримінаційна і флуктуационна характеристики дискримінатора

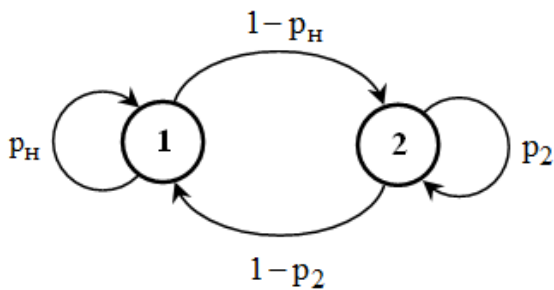


Рис. 2. Граф переходов модели

Для этого адаптируем известное правило "3σ" для случайной величины с геометрическим распределением.

Полагаем, что вероятность нахождения в состоянии 2 характерное время  $T_{хар}$  [6] такая же как и вероятность  $p_{±3σ}$  попадания нормальной случайной величины в пределы интервала  $±3σ$  от среднего:

$$(p_2)^{T_{хар}/T} = p_{±3σ} \approx 0,997, \quad (2)$$

где  $T$  – интервал времени экстраполяции.

Другое уравнение для вероятности  $p_2$  находим из условия невыхода ошибки экстраполяции с дисперсией  $V_f = \sigma_f^2$  в пределы апертюры [7]:

$$p_2 = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{L_x}{2\sqrt{2}\sigma_f}\right), \quad (3)$$

где  $\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$  – функция ошибок.

Используя (2) – (3), находим:

$$(p_{±3σ})^{T/T_{хар}} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{L_x}{2\sqrt{2}\sigma_f}\right) \quad (4)$$

После математических преобразований выражения (4) получаем окончательное выражение для уровня дисперсии  $V_f = \sigma_f^2$  за пределами апертюры эквивалентной флуктуационной характеристики дискриминатора:

$$V_f = \sigma_f^2 = \left( \frac{L_x}{2\sqrt{2} \cdot \operatorname{erf}^{-1}\left(1 - (p_{±3σ})^{T/T_{хар}}\right)} \right)^2. \quad (5)$$

Следует отметить, что уровень дисперсии  $V_f$  за пределами апертюры зависит от отношения сигнал/шум, так как от этого отношения зависит эквивалентный размер  $L_x$  дискриминационной характе-

ристики дискримінатора. По результатам статті можна зробити ряд висновків.

### Висновки

1. Перехід від реальних статистических характеристик дискримінатора до еквівалентним потребує об'ємного статистического дослідження і тому не завжди бажане.

2. При дослідженні явлення срыва супроводження такої перехід компенсується незвичайної простотою визначення моменту срыва супроводження.

3. В початкових роботах передбачалося, що рівень дисперсії помилки екстраполяції за межами апертури еквівалентної характеристики дискримінатора достатньо високий і можливістю повторного входження помилки в межі апертури можна пренебрати.

4. При дослідженні срыва супроводження по одній з координат цього, можливо, і достатньо, однак абсолютно недостатньо при моделюванні спільного функціонування слідячих систем по всім координатам.

5. В роботі отримано аналітичне вираження для рівня дисперсії помилки екстраполяції за межами апертури еквівалентної характеристики дискримінатора, виходячи з того, що ймовірністю повернення помилки екстраполяції в межі апертури за характерний час функціонування слідячих систем можна пренебрати.

### Список літератури

1. Хисматулін В.Ш. Оцінка ймовірності надійного супроводження аеродинамічних цілей багатоканаліної радіолокаційної станції / В.Ш. Хисматулін, І.І. Сачук, А.А. Ковальчук // *Авіаційно-космічна техніка і технологія. Державний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського "ХАІ"*. – 2001. – Вип. 22. – С. 259 – 262.

2. Хисматулін В.Ш. Оцінка стійкості супроводження цілей з допомогою еквівалентного розміру апертури характеристики дискримінатора. / В.Ш. Хисматулін, А.А. Ковальчук, А.А. Сосунів, І.І. Сачук // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 2. – С. 125 – 132.

3. Ковальчук А.А. Постановка задачі оптимізації пропускної здатності багатоканаліної РЛС з фазованою антенною решіткою шляхом управління довжиною інтервала часу між радіоконтактами / А.А. Ковальчук, Ю.Є. Парфенов, А.А. Сосунів, В.Ш. Хисматулін // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 1. – С. 76 – 83.

4. Ковальчук А.А. Оцінка потенціальної пропускної здатності багатоканаліної РЛС з фазованою антенною решіткою для підсистеми автосупроводження по кутовій координаті / А.А. Ковальчук, І.І. Сачук, А.А. Сосунів // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ, 2005. – Вип. 5. – С. 35 – 37.

5. Клівець С.І. Порівняльна оцінка показника якості підсистеми автосупроводження за дальністю багатоканаліної РЛС з фазованою антенною решіткою двома моделями. / С.І. Клівець, О.В. Колодійцев, О.О. Сосунів // *Системи озброєння і військової техніки*. – Х.: ХВУ, 2008. – Вип. 3 (15). – С. 116 – 118.

6. Боровков А.А. Теорія ймовірностей / А.А. Боровков. – М.: Наука, 1986. – 432 с.

7. Ширяєв А.Н. Вероятность / А.Н. Ширяев. – М.: Наука, 1980. – 320 с.

Надійшла в редакцію 26.10.2012

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

### УТОЧНЕНА ОЦІНКА ПАРАМЕТРА ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ФЛУКТУАЦІЙНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСКРИМІНАТОРА

А.А. Ковальчук, К.В. Садовий, О.О. Сосунів

Для еквівалентної флуктуаційної характеристики дискримінатора проведена оцінка одного з параметрів – рівня дисперсії помилки екстраполяції за межами апертури. Аналітичний вираз для оцінки параметра отриманий виходячи з умови, що ймовірністю повернення помилки екстраполяції у межі апертури за характерний час функціонування слідячих систем можливо знехтувати.

**Ключові слова:** еквівалентна статистична характеристика дискримінатора, ймовірність стійкого супроводження.

### IMPROVED PARAMETER ESTIMATION OF DISCRIMINATOR EQUIVALENT FLUCTUATION RESPONSE

A.A. Kovalchuk, K.V. Sadoviy, A.A. Sosunov

For discriminator equivalent fluctuation response the estimation of one of parameters – level of dispersion of extrapolation error is obtained outside an aperture. Analytical expression of parameter estimation is got by means a condition that the probability of returning of extrapolation error in aperture borders for characteristic time of functioning of tracking systems is negligible.

**Keywords:** equivalent statistical discriminator response, probability of steady tracking