

УДК 621.396.967.2

**Б.В. БАКУМЕНКО, А.М. БУЛАЙ, І.І. ОБОД**

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна*

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ІНТЕРВАЛЬНО-ЧАСОВИХ КОДІВ

З урахуванням утворювання хибних тривог першого роду наводиться порівняльний аналіз методів обробки сигналів з пасивною паузою. Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що збільшення значності інтервально-часових кодів суттєвим чином зменшує імовірність хибної тривоги першого роду. Серед наведених виразів для розрахунку середньої тривалості і середнього числа хибних тривог вибрано найбільш доцільний спосіб обробки інтервально-часових кодів.

**обробка сигналів, інтервально-часові коди, системи вторинної радіолокації**

### Вступ

#### Постановка проблеми та аналіз літератури.

У значному числі радіотехнічних систем (РТС) у якості сигналів запиту та відповіді використовуються інтервально-часові коди (ІЧК) [1 – 4], якими в окремих джерелах називають сигнали з пасивною паузою. Завадостійкість цих кодів значною впливає на завадостійкість радіотехнічних систем, які їх використовують. У зв'язку з цим розгляд питань обробки інтервально-часових кодів з метою зниження негативного впливу цих кодів на завадостійкість РТС є актуальним.

**Мета статті** – проведення порівняльного аналізу методів обробки інтервально-часових кодів.

### Основний розділ

Способи обробки інтервально-часових кодів істотно впливають на завадостійкість цих кодів, тобто на імовірність хибних тривог першого та другого роду.

Зробимо розрахунок імовірностей хибних тривог першого роду при різних способах обробки інтервально-часових кодів для конкретної радіотехнічної системи, що використовує ІЧК. В якості такої системи розглянемо систему вторинної радіолокації (ВРЛ).

При обробці кодованих сигналів у системах вторинної радіолокації спільні операції декодування, селекції імпульсів по тривалості і часовому положенні можна здійснити декількома способами:

1 спосіб – декодування плюс селекція імпульсів по тривалості плюс селекція за часовим положенням;

2 спосіб – декодування плюс селекція по часовому положенню плюс селекція по тривалості;

3 спосіб – селекція по тривалості плюс декодування плюс селекція по часовому положенню.

Відомо [2], що відповіді літаків на запити сусідніх вторинних радіолокаторів з зонами дії, які перекриваються, створюють потік асинхронних сигналів відповіді, які можна вважати хаотичною імпульсною завадою (ХІЗ). Крім того, в каналі відповіді можуть бути навмисні ХІЗ, які створюються супротивником.

Розрахуємо інтенсивність хибних тривог цих трьох способів обробки кодованих сигналів при дії у каналі відповіді ВРЛ ХІЗ з постійною тривалістю імпульсів  $\tau_0$  і середнім числом імпульсів у секунду  $\lambda_0$ .

Будемо вважати, що в дешифраторі та селекторі по часовому положенню здійснюється нормування імпульсів тільки по амплітуді зі збереженням трива-

лості імпульсів на рівні порога спрацювання нормалізатора і забезпечується висока стабільність величини затримки в розглянутих пристроях, на смугу пропускання яких не вводиться ніяких обмежень. При декодуванні  $n$  (значність коду) імпульсних інтервально-часових кодів використовується логіка обробки  $n/n$ , а в пристрої селекції імпульсів по часовому положенню – логіка  $k/m$ . В якості селектора імпульсів вибирається селектор, який пропускає тільки імпульси з амплітудою і тривалістю, що перевищує поріг обмеження по амплітуді і поріг обмеження по мінімальній тривалості  $\tau_c$ .

Для виводу основних розрахункових співвідношень скористаємося наступними виразами:

1) середнє число хибних тривог і середня тривалість імпульсів на виході пристрою декодування визначаються як

$$\lambda_d(n) = n\bar{\tau}^{n-1}\lambda_o^n;$$

$$\bar{\tau}_d(n) = \tau/n,$$

де  $n$  – число імпульсів коду;  $\tau$  – середня тривалість вхідних імпульсів;

2) середнє число хибних тривог і середня тривалість імпульсів на виході пристрою селекції по часовому положенню визначаються таким чином:

$$\lambda_t(k, m) = C_m^k \lambda_t(k, k) - \sum_{i=k}^{m-1} (C_{i+1}^k - 1) \lambda_t(i+1, i+1);$$

$$\tau_t(k, m) = C_m^k \bar{\tau} / k;$$

3) середнє число хибних тривог і середня тривалість імпульсів на виході пристрою селекції по тривалості імпульсів на виході пристрою селекції по тривалості визначаються як

$$\tau_\tau = \bar{\tau} - \tau_c;$$

$$\lambda_\tau = \lambda_o P(\tau \geq \tau_c),$$

де  $\tau_c$  – мінімальна тривалість імпульсів, що проходять через селектор по тривалості (повинна задовольняти нерівності  $\tau_c < \bar{\tau}$ );  $P(\tau \geq \tau_c)$  – імовірність того, що тривалість вихідних імпульсів  $\tau \geq \tau_c$  визначається таким чином:

$$P(\tau \geq \tau_c) = \int_{\tau_c}^{\infty} W(\tau) d\tau,$$

де  $W(\tau)$  – щільність розподілу імпульсів по тривалості на вході пристрою;

4) щільність розподілу імпульсів по тривалості на виході селектора по часовому положенню при  $C_m^k \gg 1$  апроксимується нормальним законом, тобто

$$W(\tau) = \frac{1}{\sigma(k, m)\sqrt{2\pi}} \left[ \exp - \frac{(\tau - \bar{\tau})^2}{2\sigma^2(k, m)} \right], \quad (1)$$

де  $\sigma(k, m)$  – середньоквадратичне відхилення тривалості імпульсів на виході пристрою на виході пристрою селекції по часовому положенню з логікою  $k/m$ , що відповідає

$$\sigma^2(k, m) = C_m^k \sigma^2,$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення тривалості імпульсів на виході пристрою селекції з логікою  $k/k$ .

Значення  $\sigma$  при дії на вхід пристрою імпульсів постійної тривалості  $\tau_o$  визначається наступною рівністю:

$$\sigma^2 = \left( \frac{\tau_o}{n} \right)^2 \frac{n-1}{n+1}.$$

Щільність розподілу тривалості імпульсів на виході пристрою декодування встановлюється за формулою (1).

Використовуючи раніш наведені формули не представляє труднощів одержати вирази для розрахунку середньої тривалості і середнього числа хибних тривог розглянутих способів обробки:

1-й спосіб:

$$F_1(n, k, m) = \lambda(nk) \left( 1 - \frac{\tau_c}{\tau_o} \right)^{nk-1} \left( \frac{\tau_o - n\tau_c}{\tau_o - \tau_c} \right)^{k-1} \times \\ \times \left\{ C_m^k - \sum_{i=k}^{m-1} \left[ \left( C_{i+1}^k - 1 \right) \frac{i+1}{k} [\lambda_o(\tau_o - \tau_c)]^{n(i+1-k)} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left( \frac{\tau_o - n\tau_c}{\tau_o - \tau_c} \right)^{i+1-k} \right] \right\};$$

$$\tau_1(n, k, m) = C_m^k (\tau_o - n\tau_c) / kn;$$

2-й спосіб:

$$F_2(n, k, m) = \lambda(nk) \left[ C_m^k - \sum_{i=k}^{m-1} (C_{i+1}^k - 1) \frac{i+1}{k} \times (\tau_0 \lambda_0)^{n(i+1-k)} \right] \times \left[ 0,5 - \Phi_0 \left( \frac{[nk\tau_c - C_m^k \tau_0]}{\tau_0 C_m^k \sqrt{\frac{nk-1}{nk+1}}} \right) \right];$$

$$\tau_2(n, k, m) = C_m^k \frac{\tau_0}{nk} - \tau_c;$$

3-й спосіб:

$$F_3(n, k, m) = \lambda(nk) \left( 1 - \frac{\tau_c}{\tau_0} \right)^{nk-1} \times \left\{ C_m^k - \sum_{i=k}^{m-1} (C_{i+1}^m - 1) \frac{i+1}{k} [\lambda_0 (\tau_0 - \tau_c)]^{n(i+1-k)} \right\};$$

$$\tau_3(n, k, m) = C_m^k \frac{\tau_0 - \tau_c}{nk}.$$

Результати розрахунку імовірності хибної тривоги першого роду на виході пристрою обробки для різних значень  $n$  представлені на рис. 1, а, б.

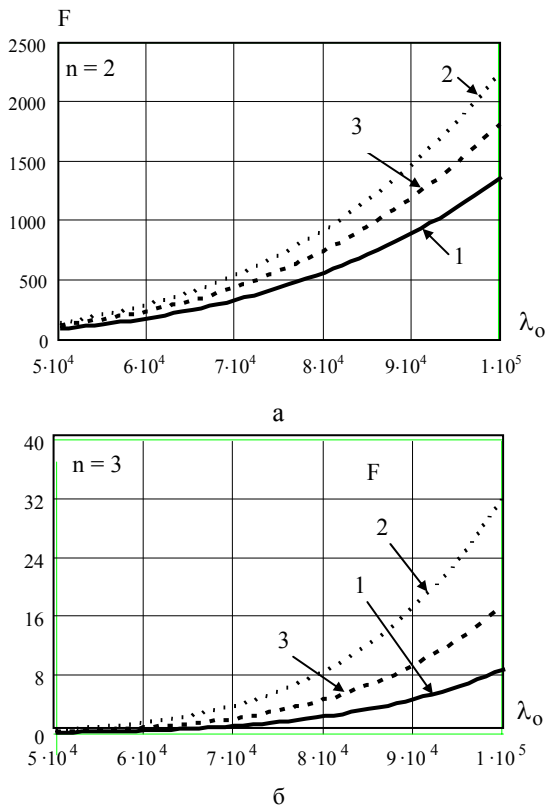


Рис. 1. Залежність  $F = f(n, \lambda_0)$

Надані на рис. 1, а, б розрахунки наведені при таких величинах:

$$\tau_0 = 1 \text{ мкс};$$

$$\tau_c = 0,2 \text{ мкс}$$

і логіках обробки в пристрої селекції по часовому положенню 2/3 і в дешифраторі 2/2.

Таким чином, наведені розрахункові матеріали показали істотну залежність імовірності хибних першого роду від інтенсивності хаотичної імпульсної завади від побудови пристрою обробки цих кодів.

### Висновки

Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

- збільшення значності інтервально-часових кодів суттєвим чином зменшує імовірність хибної тривоги першого роду;

- найбільш доцільним способом обробки інтервально-часових кодів є перший спосіб.

### Література

1. Давыдов П.С., Жаворонков В.П., Кащеев Г.В. Радиолокационные системы летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1977. – 356 с.
2. Обод И.И. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации. – М.: ЦИИТ, 1998. – 118 с.
3. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
4. Глобус И.А. Двоичное кодирование в асинхронных системах. – М.: Связь, 1972. – 123 с.

Надійшла до редакції 20.07.2006

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