

УДК 621.396.06

В.І. Ткаченко, Б.В. Бакуменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

## ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ СИСТЕМ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ОПІЗНАВАННЯ З АДРЕСНОЮ ВІДПОВІДДЮ

*Запропонована система радіолокаційного опізнання з адресною відповіддю зі складним сигналом з псевдохаотичною послідовністю в якості сигналу відповіді та досліджена її завадостійкість.*

*система радіолокаційного опізнання, перешкодостійкість, сигнал відповіді*

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** Вирішення завдань, поставлених перед Повітряними Силами, в значній мірі визначається інформаційним забезпеченням, яке базується на системах первинної та вторинної радіолокації [1]. Системи вторинної радіолокації, до яких відноситься система радіолокаційного опізнання (РЛО), призначені для опізнання об'єктів (визначення їх державної належності) та отримання координатної й іншої польотної інформації від своїх об'єктів. Однак принцип побудови існуючих систем РЛО та система сигналів, що використовуються в них, обумовлюють їх низьку завадозахищеність [2]. Дійсно, як показано у [2], сучасні системи РЛО характеризуються низькою енергетичною скритністю через застосування простого кодування сигналів запиту і відповіді та малою завадостійкістю через можливість противника несанкціоновано використовувати літакові відповідачі (ЛВ). У роботі [3] для підвищення завадозахищеності систем

РЛО запропоновано кодувати сигнали запиту та відповіді псевдовипадковими послідовностями, які визначаються просторовими координатами літака. При цьому енергетична скритність забезпечується використанням складних сигналів запиту та відповіді, а достатньо висока завадозахищеність – побудовою системи РЛО за адресним принципом. У [4] показано, що для цього необхідно змінити принцип об'єднання інформації первинних радіолокаторів і систем РЛО та проаналізовані показники підвищення завадозахищеності за рахунок реалізації двох принципів побудови: адресного за запитом і відповіддю та беззапитного. Розглянемо проміжний варіант побудови завадозахищених систем РЛО, який ґрунтується на використанні безадресного запиту та адресної відповіді, яка кодується псевдохаотичною послідовністю.

**Метою роботи** є дослідження завадостійкості безадресної за запитом та адресної за відповіддю системи РЛО, в якій як сигнали відповіді використовуються складні сигнали з псевдохаотичною послідовністю.

## Результати досліджень

Розглянемо принцип роботи систем радіолокаційного опізнання з безадресним запитом і адресною відповіддю та проаналізуємо їх завадостійкість.

Вважатимемо, що канал запиту систем РЛО не змінюється у порівнянні з існуючими системами, а сигнал відповіді кодується псевдохаотичними послідовностями, які визначаються просторовими координатами відповідача. У цьому випадку алгоритм обслуговування в літакових відповідачах змінюється таким чином. Сигнали запиту приймаються протягом деякого інтервалу часу  $T_a$ . У випадку виявлення хоча б одного сигналу запиту (СЗ) за час аналізу  $T_a$  після його закінчення формується і випромінюється складний сигнал відповіді з псевдохаотичною послідовністю, в якому кодуються просторові координати повітряного об'єкта (відповідача). Зазначимо, що відповідач формує всього лише один сигнал відповіді при виявленні за час аналізу будь-якої кількості сигналів запиту незалежно від їх походження. Це означає, що відповідач обслуговує не окремий сигнал запиту, як в існуючій системі РЛО, а відразу всі сигнали, прийняті за час аналізу. Таким чином, у літакових відповідачах перейшли від обслуговування сигналів запиту до обслуговування мережі. Через це інтенсивність потоку сигналів відповіді суттєво зменшується (її максимальна величина становить  $\lambda_{\text{vid}} = 1/T_a$ ) і не залежить від інтенсивності потоків сигналів запиту (ПСЗ) своїх запитувачів та імітованих противником.

Зміна принципу обслуговування запитів на обслуговування мережі повинна априорно призвести до збільшення завадостійкості системи РЛО. Дійсно, у цьому випадку відповідач формує сигнал відповіді при виявленні за час аналізу  $T_a$  хоча б одного прийнятого СЗ (навіть імітованого противником). Тому для подавлення відповідача необхідно створити потужну заваду такої інтенсивності, що не дозволяє прийняти жодного сигналу запиту, а це потребує постановки флуктуаційних перешкод і значних енергетичних затрат.

Оцінимо завадостійкість систем РЛО з адресною відповіддю при впливі потоків СЗ і хаотичних імпульсних перешкод (ХІП). Як показник завадостійкості будемо використовувати коефіцієнт готовності (КГ) літакового відповідача (ЛВ). У подальшому скористаємось КГ ЛВ для розрахунку імовірності виявлення повітряного об'єкта за сигналами відповіді даною системою РЛО.

При одночасному надходженні на вхід аналізатора ЛВ сигналів ХІП і СЗ останні можуть бути не виявлені через такі несприятливі ситуації:

– СЗ даної системи РЛО придушаться через збіг за часом з випереджаючими СЗ сусідніх систем РЛО, випроміненими по головній пелюстці діаграми спрямованості антени;

– СЗ даної системи РЛО придушаться через збіг за часом з випереджаючими СЗ сусідніх систем

РЛО, випроміненими по бічних пелюстках;

– СЗ даної системи РЛО придушаться на високій частоті через збіг за часом з імпульсами ХІП або ПСЗ при несприятливих фазових співвідношеннях;

– СЗ придушаться в результаті інерційності схем вхідних формувачів дешифратора.

Наведені ситуації виключають правильний прийом СЗ протягом часового інтервалу  $T_a$ . Крім того, наявність ХІП призводить до хибного утворення СЗ, через що відповідач випромінює сигнал відповіді (СВ) за відсутності сигналів запиту.

Визначимо імовірності цих подій у припущенні, що потоки ХІП і СЗ впливають на літаковий відповідач незалежно один від одного.

Вважатимемо, що на вхід ЛВ надходять:

- потік ХІП інтенсивністю  $\lambda_0$ ;
- потік інтенсивністю  $\lambda_1$  СЗ, які випромінені по основних пелюстках діаграм спрямованості (ДС) запитувачів і викликають випромінювання СВ;
- потік інтенсивністю  $\lambda_2$  СЗ, випромінених по бічних пелюстках ДС запитувачів.

Припустимо, що тривалість імпульсів потоків ХІП і СЗ однакова і збігається з тривалістю імпульсів корисного сигналу  $\tau_0$ .

Сумісна дія ХІП і ПСЗ призводить до високочастотного подавлення окремих імпульсів ХІП та ПСЗ при несприятливих фазових співвідношеннях, внаслідок чого інтенсивність ПСЗ і ХІП зменшується.

Імовірність того, що хоча б один імпульс ХІП збіжиться за часом з імпульсом ПСЗ і придушить його, становить:

$$P_p = \gamma[1 - \exp(-\lambda_0 \tau_0)].$$

Через таке високочастотне подавлення зменшуються інтенсивності потоків сигналів запиту:

$$\lambda_1^1 = \lambda_1(1 - P_p)^n; \quad \lambda_2^1 = \lambda_2(1 - P_p)^n.$$

Імовірність того, що хоча б один СЗ потрапить в випереджаючий інтервал і придушить СЗ даної системи РЛО через збіг за часом імпульсів ПСЗ, визначається за формулою

$$P_1 = 1 - \exp(-\lambda_1^1 t_1).$$

Інтенсивність потоку хибних  $n$ -імпульсних кодів, утворених з ХІП, можна визначити за таким співвідношенням:

$$\lambda_1 = n\lambda_0^n (\tau_0 - \tau_c)^{n-1},$$

де  $\tau_c$  – заданий поріг селекції імпульсів за тривалістю.

Імовірності того, що хоча б один СЗ потрапить у випереджаючий інтервал і придушить дешифрацію СЗ даної системи РЛО за рахунок часу приймання імпульсів ПСЗ, випромінених по бічних пелюстках ДС запитувача, а також утворених із ХІП, відповідно становлять

$$P_2^1 = 1 - \exp(-\lambda_2^1 t_2), \quad P_2^2 = 1 - \exp(-\lambda_1 t_1).$$

Тоді результуюча імовірність подавлення СЗ даної системи РЛО за рахунок часу приймання сигналів, випромінених по бічних пелюстках ДС антени запитувача й утворених із ХІП хибних СЗ, дорівнює

$$P_2 = 1 - (1 - P_2^1)(1 - P_2^2).$$

Імовірність того, що хоча б один імпульс з потоку ХІП і РСЗ збіжиться за часом з імпульсом СЗ даної системи РЛО і придушить його, становить

$$P_{10} = \gamma[1 - \exp(-\lambda_c \tau_0)],$$

де  $\lambda_c = \lambda_0 + \lambda_1^1 + \lambda_2^1$ .

З урахуванням n-імпульсного СЗ імовірність подавлення СЗ дорівнює

$$P_3 = 1 - (1 - P_{10})^n.$$

Імовірність подавлення СЗ даної системи РЛО через появу на позиції сигналу хибного імпульсу подавлення, утвореного з перешкод, становить:

$$P_4 = (1 - P_p)P_{10}.$$

Імовірність подавлення сигналу запиту через інерційність вхідних формувачів ЛВ визначимо за формулою

$$P_5 = 1 - \exp(-\lambda_c \tau_f).$$

Імовірність одноразової дешифрації СЗ визначається за співвідношенням

$$P_a = \prod_{i=1}^5 (1 - P_i). \quad (1)$$

Залежність  $P_a$  від інтенсивності  $\lambda_1$  РСЗ для  $n = 3$ ,  $\lambda_2 = 5\lambda_1$  при різних  $\lambda_0$  наведена на рис. 1.

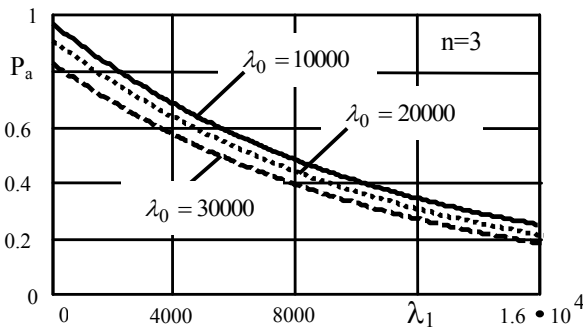


Рис. 1. Імовірність прийому СЗ на інтервалі аналізу

З рис.1 видно, що імовірність неспотвореного прийому СЗ слабо залежить від інтенсивності потоку ХІП і швидко зменшується при зростанні інтенсивності РСЗ.

При інтенсивності РСЗ  $\lambda_1 = 5000$   $P_a$  становить 0,65...0,58.

Імовірність випромінювання відповіді ЛВ (коefficient готовності ЛВ) даній системі запиту РЛО з урахуванням інтервалу аналізу визначається співвідношенням

$$P_o = 1 - (1 - P_a)^m \quad (2)$$

та наведена на рис. 2 для  $n = 3$ ,  $m = 3$  і  $m = 7$ .

З наведених результатів видно, що coefficient готовності ЛВ суттєво залежить від  $m$ .

При  $m > 7$  КГ ЛВ для розглянутих інтенсивностей РСЗ практично становить одиницю, що вказує на високу завадостійкість запропонованого методу реалізації систем РЛО.

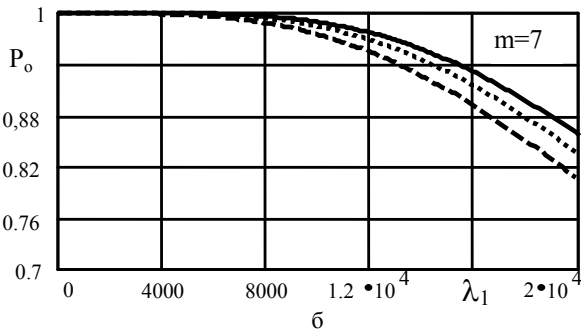
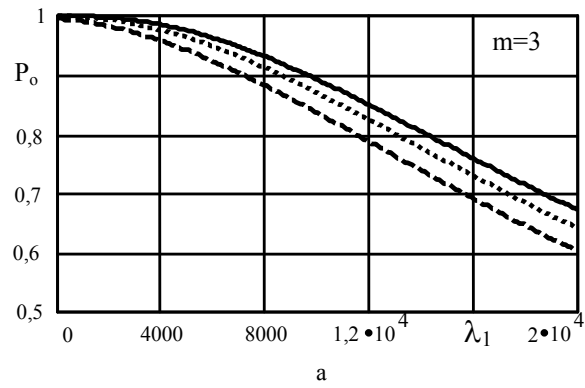


Рис. 2. Коefficient готовності ЛВ

Умовну імовірність хибного випромінювання сигналів відповіді F через утворення хибного СЗ з ХІП за умови відсутності на часовому інтервалі  $T_a$  дійсного СЗ визначимо за формулою

$$F = P_{01}(1 - P_o), \quad (3)$$

де  $P_{01} = 1 - (1 - P_2^2)^m$  – умовна імовірність хибної тривоги першого роду при прийомі та виявленні СЗ.

Залежність F від інтенсивності  $\lambda_1$  РСЗ для  $n=3$  і різних  $m$  наведена на рис. 3.

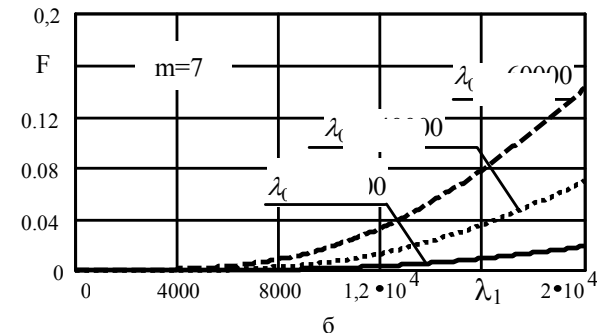
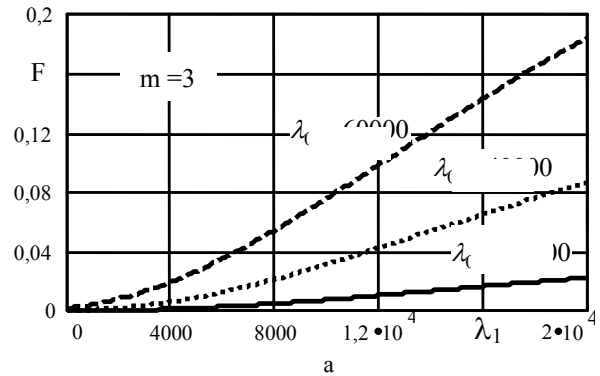


Рис. 3. Імовірність хибної тривоги

Наведені залежності вказують на істотну залежність імовірності хибної тривоги від  $m$ .

Наприклад, при  $\lambda_1 = 2 \cdot 10^4$  та  $\lambda_0 = 6 \cdot 10^4$  збільшення  $m$  з 3 до 7 призводить до зменшення імовірності хибного випромінювання СВ з 0,18 до 0,13. У цілому запропонований метод реалізації систем РЛО характеризується прийнятною імовірністю хибної тривоги.

Зазначимо, що хибні відповіді призводять до реалізації варіанта системи РЛО без запиту і не впливають на імовірність прийому запитувачами сигналів відповіді, зокрема, сигналів опізнання повітряних об'єктів.

**Висновки.** Створення системи радіолокаційного опізнання з безадресним запитом та адресною відповіддю з використанням складного сигналу з псевдохаотичною послідовністю як сигналу відповіді дозволить суттєво підвищити завадостійкість літакових відповідачів та систем РЛО в цілому.

### Список літератури

1. *Теоретичні основи побудови перешкодозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору* // В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.
2. Бакуменко Б.В., Обод І.І. *Перешкодозахищеність запитувальних радіотехнічних систем* // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 2 (6). – С. 26-28.
3. Бакуменко Б.В., Обод І.І. *Методи підвищення перешкодозахищеності запитувальних радіотехнічних систем* // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 9(58). – С. 10-12.
4. Бакуменко Б.В. *Аналіз якості об'єднання інформації первинного радіолокатора та системи радіолокаційного опізнання* // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 10-13.

Надійшла до редколегії 12.01.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.І. Обод, Національний технічний університет „ХПІ”, Харків.