

УДК 621.396.967.2

Б.В. Бакуменко, І.І. Обод

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

## МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ЗАПИТУВАЛЬНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

*Наводяться два методи підвищення завадозахищеності запитувальних радіотехнічних систем, заснованих на єдиному координатному забезпеченні, та їх аналіз.*

*завадозахищеність, радіотехнічні системи*

### Вступ

**Постановка завдання та аналіз літератури.** Вирішення задач, які стоять перед Повітряними Силами (ПС), багато в чому визначається інформаційним забезпеченням. Основою інформаційного забезпечення ПС є системи первинної та вторинної [1, 2] радіолокації. Системи вторинної радіолокації (ВРЛ) відносяться до запитувальних радіотехнічних систем (РТС), які призначені для вирішення наступних задач:

визначення координат літального апарата (ЛА);

одержання додаткової польотної інформації, необхідної для контролю і керування польотами та наведення ЛА;

радіолокаційного опізнання державної приналежності виявлених повітряних об'єктів; диспетчерського опізнання ЛА.

Як показано в [1 – 3], існуючі запитувальні РТС не відносяться ні до завадостійких, ні до завадозахищених систем. Це обумовлено принципом побудови як відповідачів цих систем, так і усієї системи загалом, а також сигналами, які використовуються у цих РТС. Таким чином, пошук методів спадкоємного переходу до завадозахищених РТС є актуальним.

**Мета роботи** – розробка методів спадкоємного переходу до завадозахищених запитувальних РТС.

### Основна частина

Запитувальні РТС, утворені запитувачем та відповідачем, побудовані за принципом несинхронної мережі, одноканального пристрою обслуговування першого правильно прийнятого сигналу запиту (СЗ) і відкритих систем масового обслуговування (СМО) з відмовами [1, 2]. Така побудова останніх відкриває широкі можливості супротивнику за несанкціонованого використання відповідачів цих систем для дальнього виявлення ЛА, а також для повної паралізації останніх, а отже, і усієї запитувальної РТС, шляхом постановки корельованих завад (КЗ) необхідної інтенсивності. Можливість зниження завадостійкості

ти запитувальних РТС супротивником обумовлена тим, що відповідач має час паралізації, який дуже суттєвий при роботі в імітостійкому режимі. Крім того, використання у запитувальних РТС інтервально-часових кодів, структура яких відома, дозволяє супротивнику, як показано у [3], здійснювати радіорозвідку таких сигналів на дальності прямого бачення. Використання у якості сигналів відповіді складних сигналів, як показано у [3], дозволяє суттєвим чином зменшити дальність виявлення сигналів відповіді, але при цьому зменшується завадостійкість запитувальних РТС завдяки збільшенню часової бази сигналу відповіді.

Таким чином, збільшення скритності запитувальних РТС, завдяки використанню складних сигналів, призводить до зменшення завадостійкості цих систем, що не дозволяє збільшити завадозахищеність запитувальних РТС. Ця обставина не дозволяє збільшити завадозахищеність запитувальних РТС без зміни принципу обслуговування сигналів запиту та принципу побудови СМО.

Розглянемо методи спадкоємного переходу до завадозахищених запитувальних РТС, які реалізуються на принципі несинхронної мережі. Деякі методи спадкоємного переходу до завадозахищених запитувальних РТС наводиться на рис.1. Як впливає з рис.1, не змінюючи принцип організації мережі запитувальних РТС, можливо реалізувати адресні та безадресні системи ВРЛ. Такі методи можуть бути реалізовані завдяки тому, що запитувальні РТС, як правило, працюють сумісно з системами первинної радіолокації. При такій постановці питання системи первинної радіолокації і запитувачі систем ВРЛ працюють в одній і тій же системі координат. Для ЛВ, працюючого в існуючій системі ВРЛ, координатна система не потребується. Однак ЛА також знаходяться в строго визначеній системі координат. І хоч ці системи координат різні, однак перехід з однієї системи координат у другу систему можливий шляхом простого перерахунку. Ця обставина дозволяє знати координати ЛА, інформацію від якого потрібно отримати за системою ВРЛ, які і закладаються у

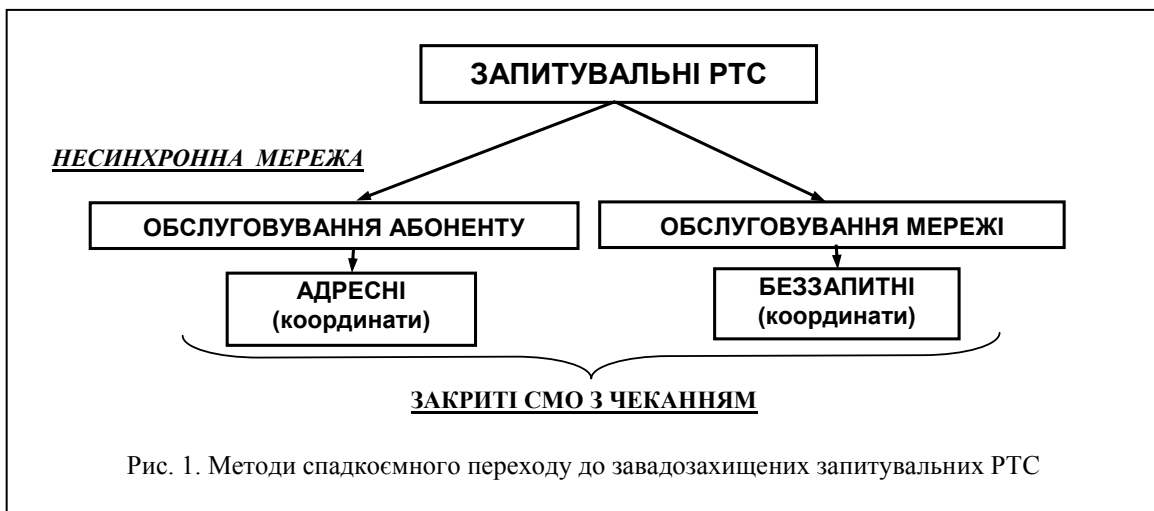


Рис. 1. Методи спадкоємного переходу до заводо захищених запитувальних РТС

сигнал запиту при реалізації адресного методу. ЛВ, прийнявши сигнал запиту, декодує його і порівнює свої координати та координати, які декодовані. При збігові цих координат ЛВ формує сигнал відповіді, у який так само закладається координатна інформація. При цьому можливо зазначити, що координатна інформація, яка закладається у сигнал відповіді, може уточнювати координатну інформацію, яка є у сигналі запиту. Таким чином, реалізація адресного запиту дозволяє перейти від обслуговування сигналу запиту до обслуговування абоненту, тобто запитувача. Це призводить до суттєвого зниження інтенсивності потоків як сигналів запиту, так і сигналів відповіді та ліквідації можливості несанкціонованого запиту ЛВ супротивником.

Другим можливим варіантом спадкоємного переходу до заводо захищених запитувальних РТС є беззапитні системи, у яких у сигнал відповіді так само закладається координатна інформація. Реалізація беззапитного методу дозволяє перейти до обслуговування мережі.

Коли перший метод потребує роботи запитувальної РТС сумісно з системою первинної радіолокації, то другий метод не потребує цього. Але обидва методи потребують єдиного координатного забезпечення усіх елементів запитувальної РТС. В обох методах вдається перейти від відкритої СМО до закритої СМО, так як вдається суттєвим чином виключити несанкціоноване використання ЛВ супротивником. Обидва методи потребують передачі сигналами запиту та відповіді координатної інформації. Ця обставина потребує створення системи сигналів, наприклад, на базі М-кодів, систем Уолта та ін.

Точність обчислення координат ЛА на його борту значно вище точності обчислення координат цього ЛА засобами наземної локації. У цьому випадку у відповідну посилку найбільш доцільно закласити нев'язку координат. Це дозволить наземним засобам уточнити оцінку координат ЛА. Становить інтерес порівняльного аналізу точності оцінки координат існуючими і запропованою РТС.

Для проведення порівняльної оцінки точностей зробимо порівняння площ еліпсів похибок існуючої і запропованої систем ВРЛ. Для чого виразимо дисперсії виміру координат ЛА  $\sigma_x^2, \sigma_y^2$  через дисперсії первинних вимірів  $\sigma_r^2$  і  $\sigma_\beta^2$  при умовах одиничності вимірів, неінформативності попередніх даних та незалежності помилок вимірів  $r$  і  $\beta$ .

Припустимо, що існуюча система ВРЛ знаходиться в точці з координатами (0,0), а система навігації, за якою здійснюється оцінка координат ЛА, у точці (0,b), де  $b$  – відстань від системи ВРЛ до використовуваної системи навігації.

Можливо показати, що вирази, які визначають еліпс похибок, можна записати як

$$\sigma_{xi}^2 = 1 / \{ (1 - \rho_{xyi}^2) [ (x^2 / r_i^2 \sigma_{ir}^2) + (y^2 / r_i^4 \sigma_{i\beta}^2) ] \},$$

$$\sigma_{yi}^2 = 1 / \{ (1 - \rho_{xyi}^2) [ (x^2 / r_i^4 \sigma_{i\beta}^2) + (y^2 / r_i^2 \sigma_{ir}^2) ] \},$$

$$\rho_{xyi} = \frac{xy \left[ \frac{1}{\sigma_{ir}^2} - \frac{1}{r_i^2 \sigma_{i\beta}^2} \right]}{\sqrt{\left[ \frac{x^2}{\sigma_{ir}^2} + \frac{y^2}{r_i^2 \sigma_{i\beta}^2} \right] \left[ \frac{x^2}{r_i^2 \sigma_{i\beta}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{ir}^2} \right]}}$$

де  $r_1 = \sqrt{x^2 + y^2}$ ,  $a$   $r_2 = \sqrt{x^2 + (y-b)^2}$ .

Для порівняння точності вимірів в існуючій і запропонованій системах ВРЛ розглянемо вектор вимірів  $\vec{Z}$ . Вхідна в нього помилка має нульове середнє значення і матрицю коваріації

$$\bar{P} = \begin{vmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{vmatrix}$$

Для порівняльного аналізу точнісних характеристик існуючої і запропонованої систем ВРЛ обчислимо квадратні корені з детермінантів коваріаційних матриць, що відображають площу помилок розглянутих систем, і визначимо  $\mu = P_c / P_p$ .

З урахуванням вищевикладеного можна записати

$$\mu = \sqrt{\left( \sigma_{xc}^2 \sigma_{yc}^2 - \sigma_{xyc}^2 \right) / \left( \sigma_{xp}^2 \sigma_{yp}^2 - \sigma_{xyp}^2 \right)}. \quad (1)$$

Розрахунки за виразом (1)  $\mu = f(x, y)$  при  $b = 100$  км і точностях оцінки координат ЛА для існуючих запитувальних систем ВРЛ та радіотехнічної системи ближньої навігації представлені на рис. 2.

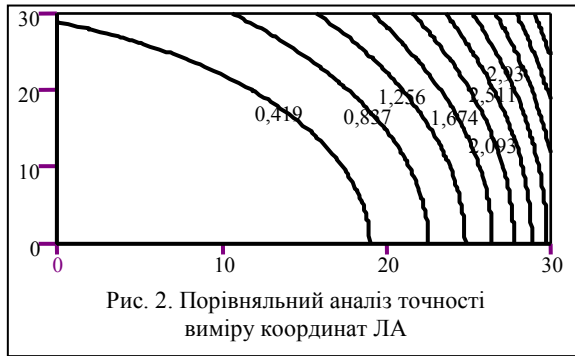


Рис. 2. Порівняльний аналіз точності виміру координат ЛА

Як впливає з представлених залежностей, запропонований варіант адресного запиту в системах ВРЛ характеризується більш високою точністю виміру координат ЛА. Дійсно, як впливає з представленої залежності, уже при дальності 30 км від системи ВРЛ точність виміру координат запропонованого варіанта побудови системи ВРЛ вище.

Розглянутий варіант організації адресних систем запитувальних РТС, як впливає з вищевикладеного, припускає використання координат об'єкта як адреси. Це приводить до зростання часової бази сигналів запиту та відповіді. Однак, реалізація запропонованих адресних запитувальних РТС, у яких від обслуговування сигналу запиту переходять до обслуговування абоненту (запитувача) або мережі, у цілому суттєвим чином зменшує інтенсивності потоків як сигналів запиту, так і сигналів відповіді. Дійсно, у запропонованих запитувальних РТС отримання інформації від ЛА можливе при декількох сигналах запиту (відповіді) за час спостереження. Ця обставина дозволяє суттєвим чином збільшити часову базу сигналів запиту та відповіді без зменшення завадостійкості запитувальних РТС у цілому.

Покажемо це. Будемо вважати, що в зоні дії запитувальної РТС зходяться 10 запитувачів, які здійснюють круговий огляд, незалежно один від одного, та здійснюють спостереження. Неприятливими моментами, що знижує завадостійкість такої запитувальної РТС, є:

включення СЗ у зону часу паралізації ЛВ, обслуговуванням попереднього запитувача і період часу надходження ЗС цього запитувача виявилось меншим часу обслуговування попереднього запитувача.

Розрахунки завадостійкості запитувальної РТС у залежності від бази сигналу, який використовується, наведені на рис. 3. Наведені розрахунки показують, що використання сигналу з базою понад 3000 зменшує завадостійкість до 0,9.

Таким чином, розрахунки показують, що перехід від обслуговування сигналу запиту до обслуговування абонента (запитувача) дозволяє значно роз-

ширити базу сигналу відповіді без суттєвого зменшення завадостійкості запитувальних РТС.

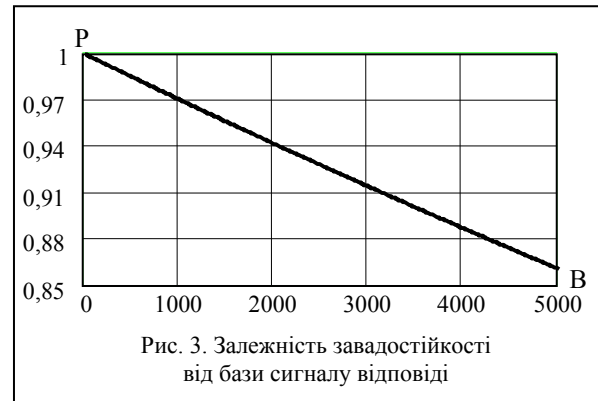


Рис. 3. Залежність завадостійкості від бази сигналу відповіді

Оскільки в якості криптографічної змінної в запропонованому варіанті організації адресного запиту (відповіді) виступає єдине координатне забезпечення, основа якого може постійно змінюватися, то це вказує на безглуздість радіорозвідки процесу кодування адресного запиту (відповіді).

Таким чином, зміна принципу обслуговування сигналів відповідачами дозволяє на спадкоємній основі перейти до завадозахищених запитувальних РТС.

## ВИСНОВКИ

Перехід від обслуговування сигналів запиту до обслуговування абоненту та мережі дозволяє:

- суттєвим чином підвищити завадостійкість існуючих запитувальних РТС за рахунок виключення з процесу обслуговування навмисних корельованих завад;
- знизити вплив часової бази сигналів відповіді на завадостійкість запитувальних РТС;
- перейти до використання складних сигналів у якості сигналів відповіді, що дозволяє збільшити енергетичну скритність запитувальних РТС.

У подальшому потрібно розглянути можливі варіанти створення систем сигналів, для реалізації запропонованих варіантів спадкоємного переходу до завадозахищених запитувальних РТС.

## Список літератури

1. Обод И.И. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации: – М.: ЦНТИ, 1998. – 119 с.
2. Теоретичні основи побудови завадозахищених 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.
3. Бакуменко Б.В., Обод І.І. Завадозахищеність запитувальних радіотехнічних систем // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 2 (6). – С. 26-28.

Надійшла до редколегії 19.07.2006

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