

ПОЛІПШЕННЯ ЗАВАДОЗАХИСТУ РЛС ЗРК З ФАЗОВАНОЮ АНТЕННОЮ РЕШІТКОЮ

Розглядаються можливості підвищення завадозахисту РЛС 9С35А самохідної вогневої установки «Бук-М1» шляхом використання фазованої антенної решітки і ефективних алгоритмів вимірювання напрямку приходу когерентного сигналу в умовах дії просторово-корельованих шумових завад.

завадозахист, фазована антенна решітка, радіолокаційна станція

Вступ

Постановка проблеми. Одним з найбільш ефективних методів боротьби із засобами повітряного нападу є використання мобільних зенітних ракетних комплексів, які здатні виконувати поставлені перед ними завдання в умовах складної завадової обстановки. Одним з перших високомобільних радянських ЗРК був ЗРК «Бук-М1» [1, 2]. Останніми роками основні зусилля розробників були направлені на модернізацію окремих його елементів і комплексу в цілому. При цьому основними напрямками модернізації самохідної вогневої установки (СВУ) були [2]:

– збільшення кількості цілей, що одночасно обстрілюються, за рахунок застосування фазованої антенної решітки;

– поліпшення завадозахисту за рахунок адаптації променя фазованої антенної решітки (ФАР) до тактичної і завадової обстановки.

Результатом роботи по цих напрямках в Російській федерації стала розробка ЗРК «Урал» в якому застосовується СВУ з фазованою антенною решіткою. Ці ж напрями були визнані перспективними і в Україні, на озброєнні Повітряних Сил якої і в даний час знаходиться достатньо велике число ЗРК «Бук-М1». У зв'язку з цим виникає необхідність модернізації існуючих ЗРК для забезпечення ефективнішого їх застосування в сучасних умовах.

Аналіз літератури. Аналіз локальних конфліктів останніх років показав, що функціонування радіотехнічних засобів ЗРК відбувається в умовах інтенсивної дії на них різного роду завад. Особливе місце при цьому відводиться джерелам активних шумових завад (АШЗ). Останнє обумовлене тим, що шумові завади є найбільш універсальними, оскільки можуть бути використані для придушення радіоелектронних засобів будь-якого призначення з різноманітними сигналами і режимами їх роботи. Більшість алгоритмів обробки, які використовуються в засобах радіолокації, створених до теперішнього часу не

враховують можливість знаходження декількох цілей або цілі і джерела завади в головному промені діаграми спрямованості (ДС) РЛС. У цих умовах найкращі можливості мають багатоканальні системи з просторово-часовою обробкою сигналів і завадових коливань [3]. Застосування такої обробки на основі використання в РЛС ФАР і сучасної елементної бази дозволяють: збільшити завадостійкість РЛС; підвищити точність вимірювання координат цілей; будувати адаптивні пристрої для вирішення завдань виявлення цілей і вимірювання їх координат. З урахуванням цього в складній багатоцільовій і завадовій обстановці РЛС 9С35А СВУ «Бук-М1», основою якої при розробці на початку 70-х років була вибрана дзеркальна антена і система захисту від активних завад, що діють по бічним пелюсткам ДС антени, є недостатньо ефективною.

Компенсація активних завад в РЛС 9С35А заснована на використанні додаткового (компенсаційного) каналу прийому і відніманні сигналів основного і додаткового каналів та проводиться на відео-частоті (некогерентна компенсація). Основним недоліком такої системи захисту є значна втрата енергії відбитого від цілі сигналу і зменшення дальності дії РЛС з 75 до 40 – 45 км [1, 4].

Мета статті – розробка пропозицій по підвищенню точності вимірювання параметрів (напряму приходу) сигналу РЛС 9С35А в складній завадовій обстановці.

Основний розділ

Однією з необхідних умов підвищення якості обробки радіолокаційної інформації в умовах дії активних завад, є використання ФАР.

Розрахунок розмірів антенної решітки проведемо в припущенні, що амплітудно-фазовий розподіл поля рівномірний. В цьому випадку геометричні розміри ФАР в азимутальній $L_{\text{геом}\beta}$ і кутомісній $L_{\text{геом}\epsilon}$ площинах можуть бути знайдені з використанням відомих виразів [5]:

$$L_{\text{геом}\beta} = \frac{\lambda}{\Delta\beta \cdot \cos\beta_c}; \quad (1)$$

$$L_{\text{геом}\varepsilon} = \frac{\lambda}{\Delta\varepsilon \cdot \cos\varepsilon_c}, \quad (2)$$

де λ – довжина хвилі РЛС; $\Delta\beta$ і $\Delta\varepsilon$ – ширина ДС ФАР в азимутальній та кутомісній площинах; β_c і ε_c – кути між нормаллю до антени і максимумом її ДС.

Існуюча антенно-хвильоводна система має наступні технічні характеристики [4]: довжина хвилі РЛС $\lambda = 4$ см; ширина ДС в азимутальній і кутомісній площинах $\Delta\beta = 1,15^\circ$ і $\Delta\varepsilon = 2^\circ$; сектор огляду в азимутальній і кутомісній площинах $-60^\circ \dots 60^\circ$ і $-45^\circ \dots 45^\circ$ відповідно. Виходячи з цього, при розрахунку розмірів антенної решітки необхідно забезпечити: вказані вище розміри ДС; можливість електронного сканування променем ДС в заданих секторах. В цьому випадку геометричний розмір антени, розрахований по виразах (1) і (2), складає $L_{\text{геом}\beta} = 4$ м і $L_{\text{геом}\varepsilon} = 1,63$ м. При розрахунку враховано, що $\Delta\beta = 1,15^\circ$ і $\Delta\varepsilon = 2^\circ$ забезпечуються на краях секторів сканування, при відхиленні максимуму ДС на 60° і 45° відповідно. При цьому у напрямі нормалі до ФАР забезпечується ширина ДС $\Delta\beta = 0,57^\circ$ і $\Delta\varepsilon = 1,4^\circ$. Горизонтальний розмір ФАР є достатньо великим, що не дозволяє встановлювати її на СВУ. Розміри решітки можуть бути зменшені, якщо поєднувати електронне і механічне управління положенням променем ФАР. Так, при зменшенні сектора електронного управління променем удвічі ($-30^\circ \dots 30^\circ$ по азимуту і $-22,5^\circ \dots 22,5^\circ$ по куту місця) геометричні розміри антени складають: $L_{\text{геом}\beta} = 2,33$ м і $L_{\text{геом}\varepsilon} = 1,24$ м. В цьому випадку у напрямі нормалі до АР ширина ДС складає $\Delta\beta = 0,98^\circ$ по азимуту і $\Delta\varepsilon = 1,85^\circ$ по куту місця.

Істотно, що на етапі розробки ЗРК „БУК-М1” передбачалося використання антенної решітки і в РЛС СВУ була впроваджена цифрова обробка сигналу [1, 4].

Використання оптимальних або близьких до оптимальних пристроїв захисту РЛС від завад дозволяє значно знизити енергетичні втрати. Це показано на рис. 1 на якому наведена залежність коефіцієнта використання енергії $K_B(\Delta\alpha)$ [3] від різниці $\Delta\alpha = \alpha_{\text{ц}} - \alpha_3$, де $\alpha_{\text{ц}}$ – напрямом на ціль і α_3 – напрямом джерела завади при використанні оптимального (крива 1) і існуючого (крива 2) пристроїв. Для спільності міркувань під α розуміється узагальнена кутова координата (азимут або кут місця), $\Delta\alpha$ відкладено в одиницях ширини діаграми спрямованості ФАР. З аналізу рис. 1 витікає, що використання алгоритмів оптимальної просторової обробки для по-

давлення впливу АПЗ дозволяє підвищити ефективність вимірювання кутових координат цілей навіть при дії АПЗ по головній пелюстці ДС ФАР (при зміні $\Delta\alpha$ від -1 до 1).

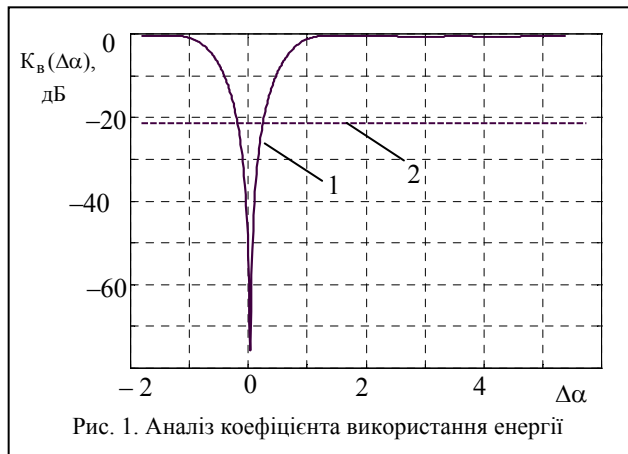


Рис. 1. Аналіз коефіцієнта використання енергії

Дія активних маскувальних завад як по головному, так і по бічним пелюсткам ДС ФАР призводить до зниження точності вимірювання параметрів (напрямку приходу) сигналу із-за збільшення результуючої помилки, яка включає систематичну і флюктуаційну складові. У той же час відомі алгоритми не є ефективними з точки зору мінімізації систематичної і флюктуаційної складових помилки вимірювання, зменшити яку можна за рахунок застосування алгоритмів на основі використання контрольного сигналу [6].

Поєднання антенної решітки і елементів цифрової обробки сигналів дозволяє в РЛС 9С35А використовувати алгоритми [6] для зменшення помилок вимірювання кутових координат. Структурна схема вимірювача, що реалізує даний алгоритм вимірювання кутової координати наведена на рис. 2.

У якості статистики використовується модуль комплексного вагового інтеграла

$$|\dot{Z}(\alpha)| = \left| \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \vec{Y}^T(t) \vec{R}^*(t, \alpha) dt \right|, \quad (3)$$

де $\vec{Y}(t)$, $\vec{R}(t, \alpha)$ – вектори стовпці комплексних амплітуд прийнятого сигналу і вагової функції відповідно; α – очікуваний напрям приходу сигналу. До складу запропонованої схеми входять: блок формування очікуваного $\vec{X}(t, \alpha)$ та контрольного $\vec{X}(t, \alpha_{\text{к}})$ сигналів; основний канал вимірювання та вагового оцінювання для визначення напрямку на ціль $\hat{\alpha}_{\text{зм}}$ (оцінка кутової координати яка може бути зміщена за наявності завади) та визначення комплексного вагового вектора $\vec{R}(t, \alpha)$; канал вимірювання параметрів контрольного сигналу, побудова якого описана в [6]; спецобчислювач для визначення незміщеної оцінки кутової координати цілі. При цьому

поточна оцінка напрямку приходу сигналу з можливим зсувом формується відповідно до виразу $\hat{\alpha}_y = \arg \max(|\dot{Z}(\alpha)|)$ на виході вимірювача основного каналу. У каналі вимірювання параметрів контрольного сигналу формується набір контрольних статистик відповідно до виразу

$$|\dot{Z}(\alpha, \alpha_{ксі})| = \left| \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{X}^T(t, \alpha_{ксі}) \dot{R}^*(t, \alpha) dt \right|, \quad (4)$$

де $\dot{X}(t, \alpha_{ксі})$ – вектор стовпець комплексних амплітуд i -го контрольного сигналу, який формується подібно очікуваному, для фіксованого і відомого напрямку $\alpha_{ксі}$. Контрольні статистики також є зміщеними. Положення максимуму однієї з цих контрольних статистик порівнюється з положенням максимуму статистики основного каналу [6], у результаті чого реалізується можливість формування незміщеної оцінки.

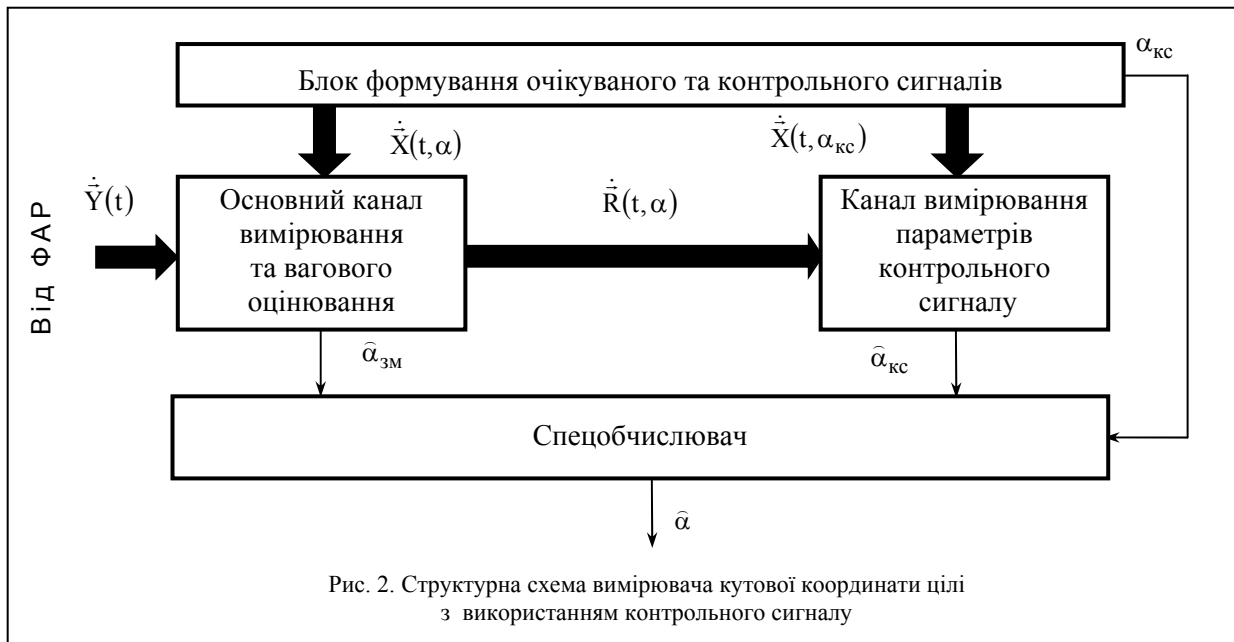


Рис. 2. Структурна схема вимірювача кутової координати цілі з використанням контрольного сигналу

У якості каналу вимірювання параметрів контрольного сигналу в певні інтервали часу може використовуватися канал, що служить в РЛС 9С35А для компенсації активних завад.

Висновки

Використання в РЛС СВУ антенної решітки дозволяє вдосконалити ряд пристроїв і систему обробки радіолокаційної інформації, перш за все, систему захисту РЛС від активних завад. Простий пристрій захисту від завад обмежує потенційні можливості РЛС 9С35А, які можуть бути зняті за рахунок застосування розглянутих [6] алгоритмів просторової обробки сигналів.

Список літератури

1. *Зенітний ракетний комплекс „Бук-М1”*: Навчальний посібник для сержантів Військ ППО Збройних Сил України / Під ред. В.І. Ткаченка та М.Ф.Пічугіна. – Х.: ХВУ, 2003. – 220 с.

2. *Мобільні зенітні ракетні комплекси Радянського Союзу. Зенітний ракетний комплекс „Бук-М1”* // *Техніка*

и вооружение вчера, сегодня, завтра. – 2003. – № 6. – С. 22-28.

3. *Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех.* – М.: Радио и связь, 1981. – 230 с.

4. *Синельников В.И., Сумцов В.А., Насонов Г.И. Устройство радиотехнических систем наведения зенитных ракетных комплексов. Системы индикации и помехозащиты РЛС 9С35А СОУ 9А310. Учебное пособие.* – К.: КВЗРИУ, 1983. – 64 с.

5. *Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: Справочник / Я.Д. Ширман, Ю.И. Лосев и др.; Под ред. Я.Д. Ширмана.* – М.: ЗАО «МАКВИС», 1998. – 320 с.

6. *Таршин В.А., Васильев В.А. Повышение точности измерения угловых координат в радиолокационной станции с антенной решеткой на фоне активных шумовых помех // Системи обробки інформації.* – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2002. – Вип. 3 (19). – С. 113-118.

Надійшла до редколегії 9.08.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.І. Обод, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.