

УДК 621.396.26

О.О. Мартинчук¹, О.Д. Флоров¹, О.П. Гребенюк²¹ Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків² Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова НАУ, Житомир

МЕТОДИКА ВИБОРУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ЗАСОБУ РОЗВІДКИ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СИГНАЛЬНО-ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ

В статті представлено методику вибору поляризаційного режиму роботи радіолокаційного засобу для кожного поточного кутового напрямку в залежності від завадової обстановки, що склалась. Серед поляризаційних режимів роботи розглядаються робота радіолокаційного засобу на скалярній фіксованій поляризації, врахування можливої роботи автокомпенсатора подавлення завад по бічному пелюсткам діаграми спрямованості антени, повний поляризаційний прийом та повне поляризаційне зондування. Критерієм вибору поляризаційного режиму роботи являється досягнення заданої дальності виявлення цілі на фоні активних шумових завад, що діють як по бічному, так і по головній пелюстці діаграми спрямованості антени радіолокаційного засобу.

Ключові слова: діаграма спрямованості, повне поляризаційне зондування, поляризаційний вектор, активна шумова завада, область локалізації.

Вступ

Постановка задачі. Аналіз досвіду ведення радіоелектронної боротьби у локальних війнах останніх десятиріч свідчить, що сучасна завадова обстановка є складною та характеризується одночасним застосуванням засобів радіоелектронного подавлення колективного та індивідуального захисту з використанням усього спектра активних та пасивних завад, а також розширенням частотного діапазону та зростанням енергетичного потенціалу активних шумових завад (АШЗ). Слід зазначити, що в таких умовах класичні способи захисту від радіозавад на основі енергетичної, часової, частотної та просторової селекції, які реалізовані в радіоелектронних засобах (РЕЗ) систем військового призначення, фактично досягли рівня своїх потенційних можливостей, що сприяє пошуку нових шляхів підвищення завадостійкості РЕЗ різного функціонального призначення, у тому числі засобів розвідки повітряного простору (РПП) [1].

З метою покращення завадозахищеності радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору заслуговує на увагу використання спільних просторово-поляризаційних відмінностей сигналів від завад. Причому, як поляризаційні відмінності, доцільно використовувати статистичні закономірності розподілу в багатомірному просторі поляризаційних векторів (ПВ) об'єктів різних класів, а також ПВ АШЗ, які проявляються при повному поляризаційному зондуванні (ППЗ) простору [2, 3]. Реалізація ППЗ, як найбільш загального, апаратно й алгоритмічно забезпечує також реалізацію обробки сигналів при повному поляризаційному прийомі та традиційного методу обробки сигналів при випроміню-

ванні і прийманні на одній з ортогональних поляризацій. Кожен з перерахованих методів локації відрізняється, крім показників ефективності за конкретних умов, також необхідними затратами енергії, часу та обчислювальних ресурсів. У зв'язку із цим **метою статті** є розробка методики вибору поляризаційного режиму функціонування радіолокаційного засобу РПП залежно від сигнально-завадової обстановки, що склалась.

Аналіз літератури. На даний час питанням реалізації і дослідження ефективності просторової та поляризаційної вагових обробок присвячена значна кількість наукових робіт, наприклад [4 – 6]. Їхній аналіз дозволяє дійти висновку, що методи ґрунтуються на використанні відповідно просторових та поляризаційних відмінностей між сигналом та завадами. Причому спільна просторово-поляризаційна обробка сигналів та АШЗ у РЛС із можливістю повного поляризаційного прийому (ППП) дозволяє вдало поєднати переваги обох методів обробки та компенсувати недоліки одного за рахунок застосування іншого. У роботі [4] показано, що в разі застосування ціллі завад самоприкриття (випадок, коли просторові відмінності є мінімальними) з поляризаційними параметрами, близькими до параметрів корисного сигналу, або з хаотично поляризованою складовою вагою просторово-поляризаційна обробка при PPP стає неефективною. У цьому разі доцільним є застосування в РЛС просторово-поляризаційної обробки з повним поляризаційним зондуванням простору [2]. ППЗ та обробка відбитого сигналу у вигляді поляризаційного вектора, елементи якого обумовлюються поляризаційною матрицею розсіювання, надає можливість виділити суттєві поляризаційно-статистичні відмінності між сигналом та зава-

дою і використати їх для виявлення цілі на фоні навіть хаотично поляризованої активної шумової завади. Отримані при розв'язанні задачі виявлення цілі на фоні АШЗ результати досліджень свідчать про достатню ефективність та доцільність застосування у радіолокаційних засобах методу ППЗ. Так, наприклад, при дії в напрямку головної пелюстки ДС повністю поляризованих (ПП) АШЗ енергетичний вигравш становить більше 20 дБ, а хаотично поляризованих (ХП) АШЗ до 16 дБ [5]. Однак у відомих дослідженнях [2, 3, 5, 7] не визначені умови, за яких доцільним є застосування просторово-поляризаційної обробки при ППЗ у радіолокаційних засобах.

Основна частина

Алгоритми просторово-поляризаційної обробки з повним поляризаційним прийомом і повним поляризаційним зондуванням, так само як і просторово-часової, а також поляризаційно-часової обробки, полягають у складанні з відповідними вагами амплітуд та фаз напруг, що надходять з виходів приймальних антенних елементів. При цьому загальна структура алгоритмів збігається зі структурою алгоритму просторово-часової обробки, але кількість каналів обробки становитиме $2 \times M$ (де M – кількість антенних елементів) при ППП та $4 \times M$ при ППЗ.

На рис. 1 подано спрощену схему вагової просторово-поляризаційної обробки при повному поляризаційному зондуванні простору. Запропонований варіант схемного рішення пристрою, як найбільш загальний, забезпечує вирішення завдання вибору методу локації та алгоритмів обробки залежно від початкових умов, а саме:

випромінювання сигналу на одній з поляризацій, його прийом та подальшу обробку;

вибір та управління поляризаційним базисом при випромінюванні та прийомі сигналів (повний поляризаційний прийом) та їх обробку;

реалізацію ППЗ та відповідних алгоритмів обробки сигналів і завад;

поєднання та доповнення переваг кожного з методів залежно від сигнальної та заводої обстановки, що склалась.

Основним критерієм, який пропонується використовувати для вибору поляризаційного режиму функціонування радіолокаційного засобу РПП, є забезпечення заданої дальності дії (R_3) як основного технічного параметра конкретного зразка РЛС, що визначає її функціональні можливості з виявлення цілі із заданою ефективною поверхнею розсіювання (ЕПР) у певній заводої обстановці.

Реальна дальність дії РЛС для заданого кутового напрямку $R_{\max}(\theta, \varphi)$ обумовлюється технічними параметрами РЛС, характеристиками цілі, умовами

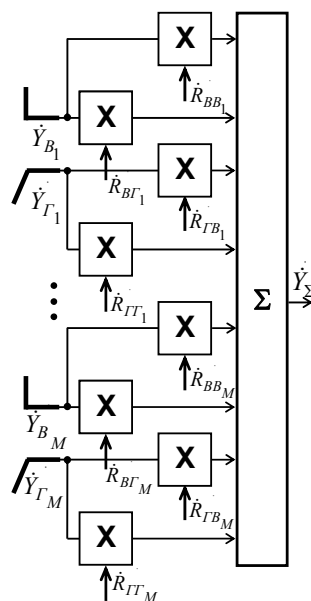


Рис. 1. Спрощена схема вагової просторово-поляризаційної обробки при повному поляризаційному зондуванні

поширення радіохвиль, заводою обстановкою та ефективністю алгоритмів компенсації АШЗ [8]. За складної заводою обстановки вона може бути істотно меншою від заданої $R_{\max}(\theta, \varphi) \ll R_3$:

$$R_{\max}(\theta, \varphi) = 4 \sqrt{\frac{P_c \tau_c M_c G \sigma_{\text{ц}} A}{(4\pi)^2 v_{\Sigma} (N_0 + N_{\text{вх}})}}, \quad (1)$$

де P_c – потужність зондуючого сигналу РЛС (імпульсна потужність); τ_c – тривалість зондуючого сигналу РЛС; M_c – кількість імпульсів, що накопичуються при обробці; G – коефіцієнт підсилення передавальної антени РЛС; $\sigma_{\text{ц}}$ – ЕПР радіолокаційної цілі, що виявляється; A – ефективна площа приймальної антени РЛС; v_{Σ} – сумарний коефіцієнт розрізнення; N_0 – спектральна щільність потужності внутрішнього (флюктуаційного) шуму приймального пристрою РЛС; $N_{\text{вх}}$ – сумарна спектральна щільність потужності зовнішніх завад на вході приймального пристрою РЛС.

Передумовою розробки методики вибору поляризаційного режиму роботи, а значить і вибору відповідного алгоритму вагової обробки сигналів на фоні АШЗ, є визначення та порівняльна оцінка нормованої дальності дії як показника ефективності для обраних алгоритмів обробки при однакових початкових умовах. Порівняльна оцінка алгоритмів проводилась з урахуванням ідентичних початкових умов технічних параметрів РЛС, умов спостереження цілі типу МІГ-29 на атакуючих ракурсах та параметрів АШЗ. Були враховані основні характеристики та параметри одного із зразків озброєння, радіолокаційного засобу виявлення та цілевказівки зенітної ракетної системи. Розглянуто такі варіанти оцін-

ки ефективності алгоритмів для різних поляризаційних режимів роботи (ПРР) радіолокаційного засобу для кожного поточного кутового напрямку:

оцінка дальності дії у вільному просторі без АШЗ;

оцінка дальності дії з використанням фіксованої поляризації при дії АШЗ та без врахування роботи штатного просторового автокомпенсатора завад (ПАКП) (ПРР №1);

оцінка дальності дії при дії АШЗ із урахуванням роботи штатного просторового автокомпенсатора завад (ПАКП), у якому виконується, як приклад, вагова просторова обробка (ПРР №2);

оцінка дальності дії при дії АШЗ з урахуванням роботи пропонованого просторово-поляризаційного автокомпенсатора завад із повним поляризаційним прийманням (ПАКП із ППП), коли виконується вагова просторово-поляризаційна обробка (ПРР №3);

оцінка дальності дії при дії АШЗ з урахуванням роботи пропонованого просторово-поляризаційного автокомпенсатора завад із повним поляризаційним зондуванням (ПАКП із ППЗ), коли вагова просторово-поляризаційна обробка виконується за результатами повного поляризаційного зондування простору (ПРР №4).

Розрахунки ефективності виконувались з використанням імітаційної моделі-симулятора функціонування РЛС з урахуванням початкових умов та використання методу статистичних випробувань.

Результати оцінки ефективності різних ПРР як значень дальності виявлення цілі на фоні завади (АШЗ діє по головній пелюстці – R_0 та по першій бічній пелюстці – $R_{1бп}$) нормованої щодо дальності виявлення у вільному просторі, з урахуванням різного ступеня поляризації активної завади – m , подано у табл. 1.

Таблиця 1

Нормована дальність виявлення цілі на фоні завади

| Індекс поляризації завади, m | Без компенсації (ПРР № 1), % | | Просторова обробка (ПРР № 2), % | | Просторово-поляризаційна обробка з ППП (ПРР № 3), % | | Просторово-поляризаційна обробка з ППЗ (ПРР № 4), % | |
|--------------------------------|------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|---|-----------|---|-----------|
| | R_0 | $R_{1бп}$ | R_0 | $R_{1бп}$ | R_0 | $R_{1бп}$ | R_0 | $R_{1бп}$ |
| 0 | 3,75 | 10,86 | 3,75 | 34,18 | 2,98 | 27,29 | 66,55 | 99,5 |
| 0,05 | 3,71 | 10,7 | 3,71 | 33,78 | 2,99 | 27,32 | 66,55 | 99,5 |
| 0,1 | 3,66 | 10,58 | 3,66 | 33,38 | 3 | 27,35 | 66,55 | 99,5 |
| 0,5 | 3,38 | 9,82 | 3,38 | 30,92 | 3,23 | 29,32 | 66,55 | 99,5 |
| 0,9 | 3,2 | 9,23 | 3,2 | 29,17 | 4,52 | 41,11 | 66,55 | 99,5 |
| 0,95 | 3,17 | 9,17 | 3,17 | 28,98 | 5,36 | 48,25 | 66,55 | 99,5 |
| 1 | 3,14 | 9,1 | 3,14 | 28,8 | 41,85 | 99,54 | 71,94 | 99,5 |

Вважаємо, що активна шумова завада вертикальної лінійної поляризації збігається з поляризацією радіолокаційного засобу. Тому при першому поляризаційному режимі роботи (ПРР №1), тобто без компенсації завад, у разі дії в напрямку головної пелюстки неполяризованої АШЗ $m=0$, дальність виявлення дещо краща (3,75%), ніж при дії поляризованої завади $m=1$ (3,14%). Це є свідченням того, що антена лінійної поляризації є слабо чутливою до ортогональної за поляризацією складової АШЗ та виступає як поляризаційний фільтр, що й приводить до подавлення завади. Дія завади з індексом поляризації $m=0,95$, що є справедливим при спостереженні поляризованої завади в реальних умовах, приведе до зменшення нормованої дальності виявлення цілі до 3,17% за напрямком головної пелюстки діаграми спрямованості антени та до 9,17% за напрямком першої бічної. За таких умов просторова компенса-

ція АШЗ приведе до збільшення нормованої дальності з 9,17% до 28,98% тільки за напрямком першої бічної пелюстки. Що ж стосується головної пелюстки, то дальність виявлення не зміниться, що й є очікуваним за потенційних умов.

У разі дії АШЗ з індексом поляризації $m=0,95$ просторово-поляризаційна обробка з можливістю повного поляризаційного прийому забезпечує неістотний приріст нормованої дальності виявлення до рівня 5,36% при дії завади по головній пелюстці та до 48,25% по бічній. Що ж стосується просторово-поляризаційної обробки з повним поляризаційним зондуванням, то за тих же умов дальність виявлення досягне величини 66,55% за напрямком головної пелюстки та 99,5% в напрямку першої бічної, що свідчить про суттєву компенсацію АШЗ.

Просторово-поляризаційна обробка з повним поляризаційним прийманням є чутливою щодо інде-

ксу поляризації та ефективна тільки для поляризованих завад. Збільшення нормованої дальності виявлення у разі дії завади з індексом поляризації $m=0,95$ по головній пелюстці становить з 3,17% до 5,36% у порівнянні з просторовою обробкою, а по бічній – з 28,98% до 48,25%. Вказане свідчить про вдале поєднання поляризаційної та просторової обробки при дії поляризованих завад.

Що стосується завад неполяризованих та завад з низьким індексом поляризації, які можуть діяти в напрямку головної, а також бічних пелюсток, то слід зазначити, що достатньо ефективною є при цьому просторово-поляризаційна обробка з можливістю повного поляризаційного зондування простору. Нормована дальність виявлення досягає величини 66,55% при дії АШЗ по головній пелюстці та 99,5% при дії по бічній, тобто вказана обробка є досить ефективною за вказаних умов досліджень.

Отримані результати свідчать, що необхідним є забезпечення вибору оптимальних алгоритмів просторової та просторово-поляризаційної обробки, що оснований на обробці як скалярних, так і векторних сигналів. Рациональне використання того або іншого алгоритму в окремих областях зони огляду простору створює умови для мінімізації витрат у процесі роботи радіолокатора залежно від результатів оцінки завадової обстановки й технічного стану апаратури та повинне забезпечити необхідну величину заданої дальності дії для заданого кутового напрямку на кожний такт зондування.

Враховуючи викладене, методика вибору поляризаційного режиму роботи радіолокаційного засобу РПП повинна полягати у виконанні таких етапів:

1. Оцінка завадової обстановки.
 - 1.1. Визначення кількості активних завад.
 - 1.2. Оцінка енергетичних, просторових та поляризаційних параметрів діючих активних завад.
2. З'ясування сигнальної обстановки з урахуванням апріорної інформації.
 - 2.1. Визначення кількості об'єктів локації та їхнього пріоритету.
 - 2.2. Визначення просторових параметрів.
3. Вибір поляризаційного режиму (алгоритму вагової обробки).
 - 3.1. Визначення для заданого кутового напрямку, кожного з чотирьох алгоритмів обробки, дальності дії $R_i(\theta, \varphi)$, $i=1...4$. При цьому вважаємо, що кожному з алгоритмів відповідає деяка цільова функція W_i , так що справедливим є відношення $R_i(\theta, \varphi) = f(W_i)$. Нумерація складових вектора дальності виконана відповідно до табл. 1:

$$R_i(\theta, \varphi) = \|R_1(\theta, \varphi), R_2(\theta, \varphi), R_3(\theta, \varphi), R_4(\theta, \varphi)\| \quad (2)$$

- 3.2. Вибір поляризаційного режиму роботи РЛС. Вибір ПРР та алгоритму обробки ґрунтується на

перевірці умов спільного виконання критеріїв (3). Так спочатку визначаються алгоритми обробки, які забезпечують дальність виявлення $R_i(W_i)$, не меншу ніж задана R_z , при певній сигнально-завадовій обстановці (табл. 1, ПРР №№ 1–4). Наступним кроком є вибір ПРР, що забезпечує мінімально необхідну дальність виявлення в порівнянні з іншими:

$$\left. \begin{aligned} R_i(W_i) &\geq R_z \\ R_i(W_i) &\rightarrow \min \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

4. Зондування заданого кутового напрямку, прийом та обробка сигналу відповідно до обраного режиму роботи та алгоритму обробки.

5. Оцінка результатів виявлення цілі на фоні активних завад, вибір ПРР на наступний такт зондування.

Висновки

1. Розроблена методика вибору поляризаційного режиму роботи радіолокаційного засобу РПП з можливістю повного поляризаційного зондування простору забезпечує достатню дальність виявлення цілі на фоні активних завад, що діють як по головній, так і по бічних пелюстках діаграми спрямованості незалежно від просторових та поляризаційних параметрів.

2. Методика відрізняється тим, що забезпечує вибір поляризаційного режиму роботи залежно від завадової обстановки, що склалась для кожного кутового напрямку.

Список літератури

1. Седляр А.А. Аналіз основних тенденцій розвитку засобів розвідки повітряного простору як об'єктів радіоелектронного подавлення / А.А. Седляр, І.І. Шовковичий // Збірник наукових праць центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України. – К.: ЦНДІ ЗС України, 2007. – №4 (42). – С. 91-100.
2. Храбростин Б.В. Метод полного поляризаційного зондирования пространства / Б.В. Храбростин // Научные ведомости БелГУ, сер. Информатика, прикладная математика, управление. – Белгород: БелГУ, 2004. – Т. 1, вып. 1 (19). – С. 111-130.
3. Храбростин Б.В. Основные статистические свойства поляризаційных векторов рассеяния радиолокаційных объектов различных классов / Б.В. Храбростин // Сб. НММ. – Х.: ВИРТА, 1990. – Вып. 26. – С. 344-353.
4. Проблемы антенной техники / Под ред. Л.Д. Бахраха, Д.Н. Воскресенского. – М.: Радио и связь, 1989. – 368 с.
5. Храбростин Б.В. Применение метода полного поляризаційного зондирования в РЛС / Б.В. Храбростин, А.А. Мартыничук, Г.Н. Зубрицкий // Сб. науч. тр. 6 Междунар. НТК. – Х.: Изд. ХГПУ, 1998. – Вып. 6, ч. 1. – С. 351-354.
6. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокаційной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 334 с/
7. Мартинчук О.О. Методика поляризаційно-просторової обробки сигналів та завад при повному поляризаційному зондуванні з урахуванням поляризаційних характеристик антен / О.О. Мартинчук, О.Д. Флоров,

О.П. Гребенюк, С.А. Волювач // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2008. – № 1(68). – С. 48-53.

Надійшла до редколегії 10.02.2009

8. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник Изд. 2-е перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є.Л. Казаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СРЕДСТВА РАЗВЕДКИ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИГНАЛЬНО-ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ

А.А. Мартынчук, А.Д. Флоров, О.П. Гребенюк

В статье представлена методика выбора поляризационного режима работы радиолокационного средства для каждого текущего углового направления в зависимости от помеховой обстановки. Среди поляризационных режимов работы рассматриваются: работа радиолокатора на скалярной фиксированной поляризации, работа автокомпенсатора помех, воздействующих по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны, полный поляризационный прием и полное поляризационное зондирование пространства. Критерий выбора поляризационного режима работы заключается в обеспечении заданной дальности обнаружения цели на фоне активных шумовых помех, которые действуют как по главному, так и по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны радиолокатора.

Ключевые слова: диаграмма направленности, полное поляризационное зондирование, поляризационный вектор, активная шумовая помеха, область локализации.

THE METHOD OF POLARIZING MODE CHOICE AIR SPACE RADAR-TRACKING DEPENDING ON RADIATION JAMMING

A.A. Martynchuk, A.D. Florov, O.P. Grebenyuk

The method of polarization mode choice of radar means operations for each angular direction of radiation jamming is presented. The radar process on scalar polarization, the process of autocompensation of radiation jamming, the process with complete polarizing probing are discussed. The criterion of a polarizing mode choice operation consists in necessary range detection provision at the influence of radiation jamming produced from different angular directions.

Keywords: diagram of orientation, complete polarization sounding, polarization vector, active noise hindrance, area of localization.

