

**О. В. Мезенцев, О. М. Буточнов**  
Інститут проблем реєстрації інформації НАН України  
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

## **Підвищення ефективності захисту радіолокаційного датчика кореляційно-екстремальної системи наведення літального апарату від комбінованих завад**

*Розглянуто потенційні можливості системи роздільного захисту від комбінованих завад із використанням відлаштованих за частотою додаткових каналів приймання та наведено порівняння її потенційних можливостей з можливостями традиційної системи роздільного захисту від комбінованих завад.*

**Ключові слова:** комбіновані завади, просторово-часова обробка, кореляційна функція, активні завади, пасивні завади, радіоелектронні засоби, приймальні канали, відлаштування за частотою.

### **Вступ**

На теперішній час переважна більшість радіоелектронних засобів працюють в умовах тих або інших радіоелектронних завад. Найбільш поширеними серед них є активні маскуючі та пасивні завади або їхня суміш (адитивна суміш активних і пасивних завад) — комбіновані завади. Досягнення в галузі впровадження цифрових методів оброблення сигналів у сучасних радіоелектронних датчиках зовнішньої інформації (ДЗІ) дозволили за останні десятиріччя зробити якісний стрибок у розвитку радіоелектронного озброєння та радіоелектронних засобів (РЕЗ) взагалі. Одночасно спостерігається тенденція до відставання розвитку засобів радіоелектронного захисту від розвитку процесів створення завад різного походження та способів їхньої постановки.

Тому важливою задачею є поліпшення характеристик засобів захисту датчиків зовнішньої інформації літальних апаратів (ЛА) відповідно до розвитку сучасних РЕЗ (розширення їхньої номенклатури, підвищення скритності та завадозахищеності) як об'єктів радіоелектронного подавлення.

### **Постановка проблеми**

Відомо, що кожний із пристроїв захисту від завад (активних (АЗ) і пасивних (ПЗ)), які містяться в радіолокаційному датчику зовнішньої інформації (ДЗІ) по

одинці компенсує «свою» заваду до рівня шуму, в ролі якого виступає «чужа» завада, яка не корельована за параметром, що зараз селектується [1, 2]. В умовах впливу інтенсивних комбінованих завад (КЗ), коли кожна із завад (як АЗ, так і ПЗ) має велику інтенсивність, навіть сучасні пристрої захисту від завад зможуть компенсувати кожен «свою» заваду тільки до рівня інтенсивності «чужої» завади. Як результат, в умовах КЗ, кожна із завад не компенсується взагалі, що унеможливає приймання корисного сигналу.

Звернемо увагу, що в типових умовах широкосмугових АЗ (як складових КЗ) існує можливість отримання класифікованої вибірки таких АЗ, використовуючи додаткові приймальні канали, відлаштовані за частотою відносно основних на величину, що перевищує ширину спектра зондувального сигналу. На виході цих каналів ПЗ відсутні (як і корисні сигнали від цілі), що дозволяє компенсувати рівень АЗ на всю потужність пристрою захисту від АЗ.

### Формулювання цілей (постановка завдання)

Метою роботи є порівняння потенційних можливостей традиційної системи роздільного захисту від комбінованих завад і системи з використанням відлаштованих за частотою додаткових каналів приймання.

### Виклад основного матеріалу досліджень

Схеми (моделі) порівнювальних систем завадозахисту наведено на рис. 1.

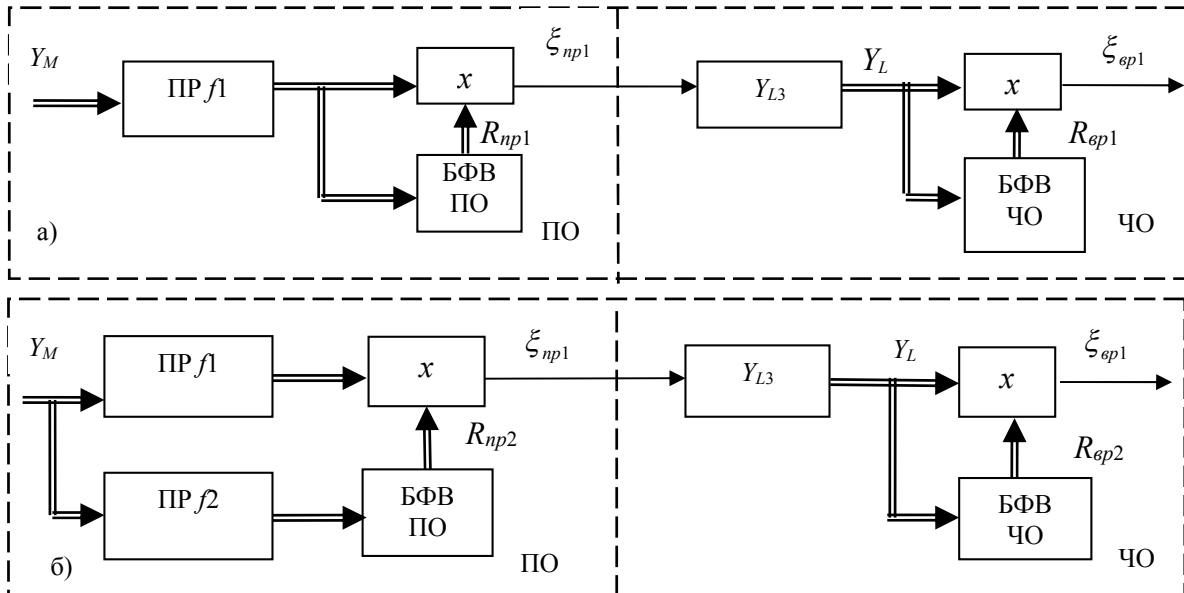


Рис. 1. ПР  $f_{1,2}$  — приймачі, налагоджені на частоти  $f_1, f_2$  відповідно; БФВ — блок формування ваг;  $Y_{L3}$  — пристрій  $(L-1)$ -кратної затримки на період зондування

Перша із них (рис. 1,а) здійснює традиційне послідовне включення пристроїв просторової обробки (ПО) і часової обробки (ЧО) сигналів на фоні КЗ [1, 2]. У кожному із них обробка вхідного вектора коливаних  $Y_M$  (адитивної суміші корис-

ного сигналу, АЗ і ПЗ) зводиться до вагового додавання коливань  $M$  просторових каналів приймання (ПР  $f_1$ ) в ПО та  $L$  часових каналів приймання, що створюються виходами пристрою  $(L - 1)$ -кратної затримки на період зондування імпульсів ( $Y_{L3}$ ) — у ЧО;  $Y_L$  — вхідні коливання для пристрою ЧО. Вагові вектори просторової ( $R_{np1}$ ) і часової ( $R_{ep1}$ ) обробок формуються в блоці формування ваг (БФВ) по вихідним коливанням відповідних каналів приймання. На виході кожного пристрою ПО та ЧО після перемножувача ( $x$ ) створюються відповідні коливання  $\xi_{np1}$  та  $\xi_{ep1}$ .

Відмінність другої схеми (рис. 1,б) зводиться тільки до того, що ваговий вектор  $R_{np2}$  просторової обробки в ній формується по вихідним коливанням  $M$  додаткових просторових каналів приймання (ПР  $f_2$ ), які відлаштовані за частотою відносно основних на одну й ту ж величину, що перевищує ширину спектра зондувального сигналу ДЗІ [3, 4].

Моделювання схем (моделей) роботи порівнювальних систем завадозахисту здійснювалось у середовищі MATLAB. За показник ефективності використовувалось енергетичне співвідношення сигнал/(завада+шум) на виходах порівнювальних схем. Досліджувалось також відлаштування за частотою між основними (частота  $f_1$ ) і додатковими (частота  $f_2$ ) каналами приймання на величину  $\varpi$  :

$$\varpi = \frac{\delta f}{f_1} \ll 1, \delta f = (f_1 - f_2).$$

На рис. 2 наведено залежності, що побудовані для  $M = 10$  — елементної лінійної еквідистантної антенної решітки (АР) — при обробці у пристрої ЧО коливань  $L = 4$  суміжних періодів посилок ДЗІ [3, 4]. Корисний сигнал одиничної амплітуди на входах елементів АР створюється ціллю, яка знаходиться в напрямку максимуму узгодженої діаграми спрямованості антени (ДСА) та рухається з оптимальною швидкістю. В цих умовах максимальне значення відношення сигнал/(завада+шум)  $q^2$  у відсутності АЗ і ПЗ дорівнює:  $q^2 = 40$  (16 дБ).

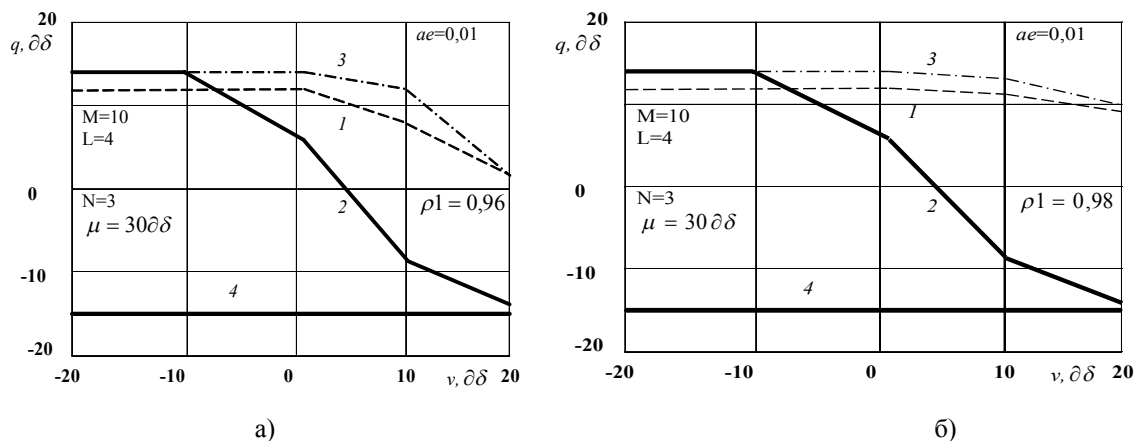


Рис. 2. Розрахункові значення вихідного відношення сигнал/(завада+шум)  $q^2$  для схем рис. 1,а (крива 1) і рис. 1,б (крива 2) залежно від відношення  $\nu = \sigma_{\Pi}^2 / \sigma_A^2$  потужностей АЗ і ПЗ для коефіцієнта кореляції ПЗ: а)  $\rho_1 = 0,96$ ; б)  $\rho_1 = 0,98$

Криві на рис. 2,а,б відповідають наявності АЗ від  $N = 3$  джерел, що діють з напрямків ближніх бокових пелюсток ДСА із сумарною інтенсивністю

$\mu = \left( \frac{\sigma_A^2}{\sigma_{Ш}^2} \right) = 1000$  (30 дБ). Рис. 2,а відповідає значенню коефіцієнта міжперіодної

кореляції ПЗ  $\rho_1 = 0,96$ , а рис. 2,б —  $\rho_1 = 0,98$ . Криві наведено для значення відносного частотного відлаштування основних і додаткових каналів просторової обробки  $\varpi = 0,01$ .

Як показують графіки на рис. 2,а і рис. 2,б, в міру зростання відносної потужності ПЗ традиційна схема обробки (рис. 1,а) стає практично неприцездатною. Це пов'язано з тим, що ПЗ, яка некорельована за простором, призводить до формування в пристрої ПО не оптимальної [1] ДС АР (з «провалами» на джерела АЗ), а ДС АР, ефективність якої показана кривою 4 на рис. 2,а,б, завдяки чому ПО погано компенсує АЗ, які є некорельованими за часом і заважають ефективній подальшій часовій (міжперіодній) компенсації ПЗ [1, 2].

У схемі рис. 2,б завдяки використанню відлаштованих за частотою каналів приймання, в яких ПЗ відсутні, ПО залишається близькою до оптимальної [1] при довільній інтенсивності ПЗ. Завдяки цьому її ефективність є істотно вищою, ніж схеми на рис. 1,а. Виграш зростає в міру зростання коефіцієнта міжперіодної кореляції ПЗ  $\rho_1$ , що видно з порівняння кривих 1 та 2 на рис. 2,а та рис. 2,б. У разі типових для практики співвідношеннях інтенсивностей  $\nu = 10,20$  дБ, в умовах розглянутих прикладів, він може досягати 18–25 дБ. При цьому ефективність схеми на рис. 1,б стає близькою до ефективності оптимальної [1] сумісної обробки, значення відношення сигнал/(завада+шум) для якої показано кривими 3.

### Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, в умовах інтенсивних КЗ, ефективність системи (рис. 1,б) може досягати 18–25 дБ, тобто бути близькою до ефективності оптимальної [1] сумісної обробки.

Подальший розвиток проведених досліджень вбачається в практичній перевірці розробленої моделі для аналізу впливу комбінованих перешкод на приймальні пристрої ДЗІ ЛА, а також для обґрунтування відповідних вимог до створення систем захисту від комбінованих радіозавад.

1. Кристаль В.С. Оптимальная обработка радиолокационных сигналов. Москва: Новое время, 2014. 208 с.

2. Канащенков А.И. Защита радиолокационных систем от помех (состояние и тенденция развития). Москва: Радиотехника, 2003. 416 с.

3. Мезенцев А.В., Буточнов А.Н., Юзефович В.В. Анализ способов повышения быстродействия алгоритмов совмещения изображений в комбинированных корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2017. Т. 19, № 1. С. 64–71. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2017.19.1.126495>.

4. Юзефович В.В., Буточнов А.Н., Мезенцев А.В., Миронюк С.В. Оценка качества эталонных изображений, создаваемых для корреляционно-экстремальных систем навигации. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2014. Т. 16, № 4. С. 44–53. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2014.16.4.100289>.

Надійшла до редакції 25.08.2021