

Геращенко М. Р., Овчаренко О. Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕШКОДОСТІЙКОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ВІД АКТИВНИХ ПЕРЕШКОД

Анотація: проаналізовано особливості сучасних шляхів забезпечення перешкодостійкості радіолокаційних засобів виявлення від активних перешкод. Метою є визначення та аналіз сучасних технічних і алгоритмічних підходів до підвищення перешкодостійкості радіолокаційних засобів виявлення. Встановлені основні напрями підвищення перешкодостійкості такі, як апаратні методи, алгоритмічні методи, цифрова обробка сигналів, когнітивні технології та мережеві рішення. Вказані деякі сучасні тенденції розвитку і очікувані результати систем компенсації завад.

Ключові слова: автокомпенсація, перешкодостійкість, активні перешкоди, адаптивна фільтрація, когерентна обробка, цифрові обчислювальні підсистеми, інтеграція.

Abstract: the features of modern approaches to ensuring the jamming resistance of radar detection systems against active interference have been analyzed. The aim is to identify and analyze current technical and algorithmic methods for improving the jamming resistance of radar detection systems. The main directions of enhancement have been established, including hardware methods, algorithmic methods, digital signal processing, cognitive technologies, and network-based solutions. Several modern development trends and expected results of interference compensation systems are outlined.

Keywords: autocompensation, jamming resistance, active interference, adaptive filtering, coherent processing, digital computing subsystems, integration.

Сучасні бойові дії характеризуються активним використанням радіоелектронної боротьби (РЕБ), тому питання підвищення перешкодостійкості є ключовим для ефективного функціонування зенітно-ракетних комплексів (ЗРК). Системи компенсації активних перешкод (ECCM – Electronic Counter-Counter Measures) забезпечують збереження працездатності радіолокаційних станцій та каналів наведення в умовах радіоелектронного впливу противника.

До основних методів компенсації активних перешкод у сучасних ЗРК належать:

1. Просторово-енергетичні методи, які базуються на фільтрації сигналу за просторовими координатами та енергетикою, такі як: моноімпульсне вимірювання кутових координат; адаптивна просторова фільтрація, яка дозволяє швидко змінювати діаграму спрямованості антени (промінь) та формувати в ній “провали” (нулі) у напрямках джерел перешкод; перебудова частоти (Agile Frequency).

2. Частотний метод, такий як: широкосмугова обробка та складні сигнали (Spread Spectrum) (наприклад, лінійно-частотно-модульованих – ЛЧМ) з великою базою сигналу. Після оптимальної обробки (стиснення імпульсу) такий сигнал добре розрізняється на тлі вузькосмугових перешкод. Перевагами такого методу є підвищена завадостійкість та краща роздільна здатність.

3. Методи обробки сигналів, які реалізуються в цифрових обчислювачах ЗРК, та до яких відносяться: адаптивна фільтрація за швидкістю (за доплерівською частотою); аналіз поляризації, що дозволяє відрізнити ціль від перешкоди; стохастична обробка та алгоритми ідентифікації, які прогнозують траєкторію цілі на основі попередніх вимірів.

4. Тактичні та організаційні методи до яких відносяться: метод інтеграції в мережу, так як сучасні ЗРК працюють не ізольовано, а в складі єдиної інформаційно-вогневої мережі. Якщо один ЗРК втрачає ціль через перешкоду, він може отримати дані цілевказівки від іншого засобу розвідки (іншого ЗРК, РЛС дальнього виявлення, літака ДРЛО), який знаходиться в іншому місці і не піддається впливу цієї ж перешкоди; режим “Мовчання” (EMCON – Emission Control) передбачає, те що ЗРК може вимикати випромінювання для маскування своєї позиції і

використовувати дані від сторонніх джерел, що ускладнює противнику постановку прицільної перешкоди.

ЗРК Patriot використовує пасивно-електронно-скановану антенну решітку, частотну та пульс-доплерівську обробку. Система ECCM забезпечує розпізнавання хибних повторів, придушення джемінгу та стійке супроводження цілей у складних радіоелектронних умовах.

ЗРК Nasams у комбінації з радаром AN/MPQ-64 Sentinel використовує цифрову AESA-технологію (активна решітка на базі GaN-модулів), частотне перестроювання і адаптивне придушення перешкод. Завдяки мережевій архітектурі NASAMS здійснює колективний обмін даними між пусковими та РЛС для перевірки достовірності сигналів.

ЗРК Iris-T SLM має багатофункціональний радар з швидкою здатністю до перенастроювання, адаптивною фільтрацією й алгоритмами розпізнавання імпульсних і локальних завад. Комплекс здатний змінювати параметри хвильової форми залежно від типу виявленої перешкоди.

Новітні дослідження спрямовані на впровадження когнітивних ECCM-алгоритмів – радар самостійно змінює частоту, потужність або форму імпульсу, орієнтуючись на зміну рівня завад у реальному часі. Використання методів глибинного навчання (Deep Reinforcement Learning) дозволяє системі оптимізувати тактику протидії активним перешкодам під час роботи.

Таким чином, сучасні ЗРК не покладаються на один метод, а використовують їхню сукупність. Наприклад, система з активною ФАР, що використовує моноімпульсний метод, широкосмугові сигнали з перебудовою частоти та працює в єдиній мережі, є надзвичайно завадостійкою. Саме такий комплексний підхід дозволяє ефективно протидіяти навіть найсучаснішим системам РЕБ.

Список використаних джерел:

1. Крючков Д. М., Рошупкін Є. С., Бондаренко С. В. та ін. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1 : навч. посіб. Х. : ХНУПС, 2024. 301 с.
2. Певцов Г.В., Кульбіда П.Т.; Лупандін В.А. Основні тенденції розвитку радіоелектронної боротьби в сучасних операціях і бойових діях / Г.В. Певцов, П.Т. Кульбіда, В.А. Лупандін // Збірник матеріалів XV міжнародної наукової конференції ХНУПС ім. І. Кожедуба, 10-11.04.2019. – Харків: ХУПС, 2019. – С.449.

Геращенко Микита Романович – курсант 342Б навчальної групи факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: vipernikitos3@gmail.com

Овчаренко Олексій Юрійович – викладач кафедри тактики зенітних ракетних військ факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: aleksey141177@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3432-4874>

Mykyta Herashchenko – cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumaska Street, postal code 61023, e-mail: vipernikitos3@gmail.com

Oleksii Ovcharenko – lecturer at the Department of Air Defense Missile Forces Armament (medium-range missile systems) of the Faculty of Air Defense Missile Forces at the Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumaska Street, postal code 61023, e-mail: aleksey141177@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3432-4874>