

Єрмоц М. С., Овчаренко О. Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИЯВЛЕННЯ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ З МАЛОЮ ЕФЕКТИВНОЮ ПОВЕРХНЕЮ РОЗСІЮВАННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОЮ СТАНЦІЄЮ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 9С32

Анотація: проаналізовано особливості функціонування багатоканальної станції наведення ракет 9С32 при роботі по повітряних цілях з малою ефективною поверхнею розсіювання (далі – ЕПР). Визначено ключові обмеження сучасного застосування станції (зокрема — низьке відношення сигнал/шум, вплив пасивних та активних завад, обмежені обчислювальні потужності) і запропоновано концептуальні підходи до модернізації її апаратних та алгоритмічних підсистем. Метою є підвищення якості виявлення, стійкості супроводу та загальної ефективності ураження малопомітних цілей. Окрему увагу приділено питанням впровадження нових методів фільтрації, адаптивних алгоритмів обробки та інтеграції сучасних обчислювальних засобів із існуючими цифровими підсистемами.

Ключові слова: малопомітні цілі, ефективна поверхня розсіювання, супроводження цілей, обробка сигналів.

Annotation: the operational features of the 9S32 multi-channel missile guidance station when dealing with air targets with a low radar cross-section (RCS) have been analyzed. The key limitations of the station's modern use (in particular, low signal-to-noise ratio, the impact of passive and active interference, and limited computing power) have been identified, and conceptual approaches to the modernization of its hardware and algorithmic subsystems have been proposed. The goal is to improve detection quality, tracking stability, and the overall effectiveness of engaging low-observable targets. Special attention is paid to the implementation of new filtering methods, adaptive processing algorithms, and the integration of modern computing facilities with existing digital subsystems.

Keywords: low-observable targets, low radar cross-section, target tracking, signal processing.

Багатоканальна станція наведення ракет (далі – БСНР) 9С32 є ключовим інформаційним та вогневим компонентом зенітного ракетного комплексу С-300В1, що відповідає за автономний пошук, виявлення, супровід цілей та наведення на них ракет. Її проектні характеристики були оптимізовані для боротьби з аеродинамічними та балістичними цілями попередніх поколінь. Сучасні виклики, пов'язані з масовим застосуванням противником малопомітних засобів повітряного нападу (крилаті ракети, БПЛА, елементів високоточної зброї), що мають вкрай малу ЕПР, вимагають кардинального підвищення чутливості та стійкості станції. Ефективність усього комплексу в сучасних умовах напряду залежить від якості роботи 9С32 в умовах слабких відбитих сигналів.

БСНР 9С32 – це когерентно-імпульсна РЛС сантиметрового діапазону з фазованою антенною решіткою, що забезпечує огляд визначеного сектору та одночасний супровід до 12 і обстріл до 6 цілей. Станція використовує складні методи огляду та супроводу, включаючи моноімпульсний метод пеленгації та цифрову обробку сигналів. Однак її штатні цифрові обчислювальні підсистеми (далі – ЦОП) та методи обробки мають архітектурні обмеження, що не дозволяють ефективно реалізовувати складні алгоритми, необхідні для роботи по цілях з ЕПР на рівні 0,1 м² і нижче, особливо на тлі земної поверхні чи в умовах РЕБ.

Однією з головних проблем при роботі по малопомітних цілях є критично низьке відношення сигнал/шум. Слабкий відбитий сигнал легко губиться на тлі власних шумів приймального тракту та зовнішніх завад. Це призводить до нестабільного виявлення (пропусків відміток), частих зривів автосупроводження та, як наслідок, значних похибок вимірювання координат і параметрів руху цілі. Стандартні алгоритми накопичення та виявлення, розраховані на більш високий рівень сигналу, втрачають ефективність.

Існуючі алгоритми селекції рухомих цілей та захисту від пасивних завад (відбиття від землі, гідрометеорів) недостатньо ефективні для виділення слабого корисного сигналу. Це

особливо критично при супроводі низьколітаючих об'єктів, таких як крилаті ракети, чи малих БПЛА. Відбиття від місцевих предметів можуть створювати хибні цілі або маскувати реальну, що призводить до нераціональної витрати обчислювального ресурсу станції та потенційного зриву бойової задачі.

У сучасних умовах бойового застосування виникає потреба у більш стійких алгоритмах супроводу, здатних працювати в умовах пропусків даних. Складність полягає у тому, що при втраті відмітки від цілі стандартні фільтри (як-от фільтр alpha-beta) швидко накопичують помилку, що ускладнює повторне захоплення цілі. Це знижує точність наведення ракет та вимагає від оператора ручного втручання, що є неприпустимим при відбитті масованого нальоту.

Для підвищення стійкості супроводу пропонується впровадження сучасних нелінійних та адаптивних алгоритмів фільтрації. Доцільною є заміна або доповнення існуючих алгоритмів розширеним фільтром Калмана (EKF) або фільтром (UKF), які здатні більш точно апроксимувати траєкторію цілі в умовах значних шумів та нелінійності вимірювань. Також перспективним є впровадження алгоритмів “track-before-detect” (супровід до виявлення), що дозволяють накопичувати слабкий сигнал вздовж прогнозованої траєкторії.

Ефективна реалізація складних алгоритмів потребує модернізації апаратної частини, насамперед ЦОП. Пропонується інтеграція сучасних обчислювальних модулів (на базі програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС/FPGA) або сигнальних процесорів (DSP) із збереженням існуючих інтерфейсів спряження. Це дозволить впровадити більш глибоку когерентну обробку, адаптивну зміну параметрів зонduючого сигналу та складні методи придушення завад у реальному часі без повної заміни всього комплексу.

Оцінювання ефективності запропонованих заходів доцільно проводити за такими узагальненими показниками: максимальна дальність виявлення цілі з еталонною ЕПР (наприклад 0.1 м^2 та 0.01 м^2), коефіцієнт стійкості автосупроводження (відсоток зривів за певний час), середньоквадратична похибка вимірювання координат та швидкості цілі. Для перевірки доцільно проводити комплексне математичне моделювання та дослідно-пілотні випробування на полігонах з використанням імітаторів малопомітних цілей.

Першим етапом є глибокий аудит (моделювання) поточних алгоритмів обробки 9С32 для виявлення “вузьких місць” при роботі по слабких сигналах. Далі здійснюється розроблення та стендове тестування (лабораторне моделювання) нового програмного забезпечення та макетів апаратних блоків. Третій етап передбачає інтеграцію та тестування модернізованих алгоритмів на реальному комплексі в контрольованих полігонних умовах. Наступним кроком має стати поступове серійне оновлення ПЗ та, за потреби, апаратних блоків на бойових машинах.

Розробка та впровадження модернізованих апаратних та алгоритмічних засобів БСНР 9С32 дозволяє суттєво підвищити показники якості виявлення та супроводження повітряних цілей з малою ЕПР. Поєднання сучасних методів обробки сигналів, адаптивних нелінійних фільтрів та оновлених обчислювальних потужностей забезпечує більшу дальність виявлення, стійкість супроводу та точність наведення. Запропоновані концептуальні рішення дозволяють значно підвищити бойову ефективність комплексу С-300В1 проти сучасних та перспективних засобів повітряного нападу.

Список використаних джерел:

1. Виріб 9С32.Технічний опис.Частина 4 Приймальна система. БА1.640.007 ТОЗ. - п. 7 (С. 194-228).
2. Крючков Д. М. Принципи побудови та бойового застосування зенітної ракетної системи С-300В1: навч. посіб. / Д. М. Крючков, Є. С. Рошупкін, С. В. Бондаренко та ін.– Х. : ХНУПС, 2024. – п. 3.3.3.7
3. Виріб 9С32.Технічний опис.Частина 1 Загальні відомості. БА1.640.007 ТО – М.: МО, 1978. – 265 с.

Єрмоц Михайло Семенович – 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: ispy1201@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0008-3685-3706>

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>

Yermots Mykhailo – 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: ispy1201@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0008-3685-3706>

Ovcharenko Oleksii – 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>