

Забийворота А. О., Крючков Д. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ ПРОТИДІЇ МАНЕВРУ ПОВІТРЯНОЇ ЦІЛІ ПРИ НАВЕДЕННІ ЗЕНІТНОЇ КЕРОВАНОЇ РАКЕТИ

Анотація: проаналізовано принципи побудови та застосування зенітних керованих ракет (ЗКР) із напівактивним самонаведенням середньої дальності. Ефективність систем напівактивного самонаведення критично залежить від якості підсвічення цілі наземною РЛС, але підтверджений бойовим досвідом виявив їхню вразливість до сучасних засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), а також складнощі при перехопленні цілей з інтенсивним маневруванням. Окрему увагу приділено питанням підвищення ефективності бортових обчислювальних пристроїв (ЦОП) ракети 9М83, удосконалення алгоритмів супроводу цілей які активно маневрують на будь-якій ділянці траєкторії польоту.

Ключові слова: зенітні керовані ракети, напівактивне самонаведення, маневруюча ціль,, адаптивні закони наведення, обчислювальні засоби.

Abstract: the principles of design and application of medium-range surface-to-air guided missiles (SAMs) with semi-active radar homing (SARH) have been analyzed. The effectiveness of SARH systems critically depends on the quality of target illumination by the ground-based radar; however, combat experience has revealed their vulnerability to modern electronic countermeasures (ECM) and difficulties in intercepting highly maneuverable targets. Special attention is given to improving the performance of the digital computing device (DCD) onboard the 9M83 missile and enhancing target-tracking algorithms for intensively maneuvering aerial targets.

Keywords: surface-to-air guided missiles, semi-active radar homing, SARH, maneuvering target, ECCM, sensor fusion, adaptive guidance laws, computational systems.

ЗКР С-300В1 – мобільна система середньої дальності, що створювалася для прикриття наземних угруповань. Гусеничне шасі забезпечує високу прохідність і швидко зміну позицій, що важливо для живучості в сучасних умовах бойових дій. Комплекс призначений для ураження широкого спектра цілей – від авіаційних до оперативно-тактичних балістичних ракет [1]

Комплекс включає багатоканальну станцію наведення 9С32, до шести пускових установок двох типів 9А83/9А82, пуско-заряджальні установки 9А85, транспортно-пускові контейнери для ЗКР 9М83/9М82 та засоби технічного забезпечення. Багатоканальна станція наведення ракет 9С32 здатна одночасно супроводжувати до 12 цілей і обстрілювати до 6 цілей, має час безперервної роботи 24 год. Комплекс застосовує різні режими наведення (інерційне з радіокорекцією, командно-інерційний при перешкодах), і може вести роботу по балістичних цілях [2]

Однією з головних проблем залишається дефіцит ракет і обмежена кількість комплексів С-300В1 у складі підрозділів. Це створює необхідність у підвищенні ефективності використання наявних ресурсів. Оптимізація процесів прийняття рішень щодо застосування комплексу має ґрунтуватися на пріоритеті цілей, розрахунку ймовірності їх ураження та економному витрачанні боєзапасу.

Існуючі бортові обчислювальні засоби повинні мати канали обробки інформації відповідно до темпу оновлення алгоритмів та результатів аналізу інформації про рух цілі під час наведення. На цей час розвивається концепція «одна ракета-одна ціль», в тому числі під час дії перешкод на лінію передачі інформації між бойовими засобами.

У сучасних умовах бойового застосування виникає потреба у більш точному та стійкому виявленні маневру цілі. Складність полягає у тому, що під час перехідних режимів супроводу або за наявності шумів та похибок вимірювань алгоритми відстеження втрачають ефективність. Вдосконалення алгоритмів супроводу потребує розроблення комбінованих методів аналізу руху цілі з урахуванням кореляційних залежностей між параметрами та впровадження удосконалених способів наведення з можливістю адаптації в реальному часі

Пропонується реалізувати наступне.

У бортовій обчислювальній мережі зенітної керованої ракети реалізувати адаптивну версію пропорційної навігації (наприклад, augmented PPN або схему з прогнозуванням похибки), яка автоматично коригує коефіцієнти наведення в залежності від виявлених маневрів цілі та якості трекінгу. Наукові роботи показують, що такі підходи підвищують шанси захоплення при часозалежних маневрах [3]

Розширити апаратне/програмне забезпечення для всебічно-комплексного перетворення вхідної інформації про цілі і прогнозування траєкторії, інтегрувати обробку даних від кількох джерел (радар підсвічення, РЛС огляду, оптичні засоби) в єдину систему оцінки параметрів руху цілі з використанням розширених нелінійних фільтрів і моделей маневрів. Це зменшує залежність від єдиного сенсора та покращує прогноз. Наукові огляди мультисенсорної трекінгової обробки підкреслюють важливість такої інтеграції.

Оцінювання ефективності запропонованих заходів доцільно проводити за нижче наведеними узагальненими показниками.

Показники бойової ефективності, які в себе включають імовірність ураження цілі однією ракетою типових маневруючих цілей (зокрема, балістичних), середню витрату ракет на одну ціль.

Ключовим параметром є показники якості та стійкості супроводу, які в свою чергу включають точність оцінки координат цілі та стійкість супроводу при маневрі (частка успішних утримань цілі на супроводі під час виконання нею інтенсивного маневру (наприклад, 6g або більше), ефективність прогнозування – оцінка точності прогнозу траєкторії цілі на певний інтервал часу, час реакції на маневр – оцінка затримки між початком маневру цілі та автоматичним коригуванням коефіцієнтів навігації.

Обчислювальна затримка часу, необхідного бортовим обчислювальним пристроям (БОП) зенітної керованої ракети для виконання повного циклу обробки інформації та генерації команд наведення, повинна забезпечити в реальному часі роботу з більш складними алгоритмами обробки вхідної інформації з всіх наявних джерел.

Першим етапом є аудит поточного стану апаратного забезпечення БОП та визначення ключових вимог до його модернізації, включаючи необхідну обчислювальну потужність для роботи в реальному часі та вимоги до мінімізації обчислювальної затримки. Далі здійснюється розроблення й лабораторне тестування нових алгоритмів супроводу (мультисенсорна інтеграція, нелінійні фільтри) та адаптивних законів наведення (проводиться моделювання цих алгоритмів на новій апаратній базі для підтвердження зниження середньої витрати ракет та підвищення ймовірності ураження цілі) [4]. Третій етап передбачає проведення пілотних тренувань та стендових випробувань з обмеженим розгортанням нових алгоритмів, що включає перевірку стійкості супроводу при маневрі та часу реакції на маневр цілі з інтеграцією реальних даних від наявних сенсорів (радар, оптика). Завершальним етапом є постійний супровід – регулярне оновлення програмних алгоритмів та коефіцієнтів наведення у відповідь на появу нових типів цілей та тактик їхнього маневрування, забезпечуючи адаптивність системи протягом усього життєвого циклу.

Комплексна проблема вимагає комплексних рішень. Для коректної роботи оновленого БОП потрібно оновлювати засоби обміну інформації між бойовими засобами ЗРК 9К81 [5] для забезпечення стійкого, швидкого та точного обміну і передачі інформації на ЗРК 9М83. Як наслідок, це вимагає поєднання багаторівневої архітектури управління, модернізованих засобів зв'язку та вдосконалених алгоритмів супроводу, що забезпечує більшу гнучкість, надійність і стійкість системи. Запропоновані концептуальні рішення орієнтовані на використання відкритих технологій і можуть бути впроваджені поступово, з обов'язковим тестуванням у безпечних умовах.

Список використаних джерел:

1. 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. 301 с.
2. Побудова зенітного ракетного озброєння, контрольно-випробувального та технологічного обладнання ЗРК. Бортова апаратура зенітної ракети 9М83 . навч. посіб. / Сменшко І.П. Ісаков М.І., Лавровский Є.Є., Пивоваров О.Н. – Київ КВЗРІУ. 1987.- 80с.

3. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1027091>
4. <https://americaspg.com/articleinfo/3/show/1293>
5. <https://militaryembedded.com/radar-ew/signal-processing/achieving-technology-overmatch-with-system-on-module-embedded-architecture>

Забийворота Артур Олександрович – 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: zabvartur@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0003-8863-2941>

Крючков Дмитро Миколайович – викладач кафедри озброєння зенітних ракетних військ (зенітних ракетних комплексів середньої дальності) факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: dnkriuchkov@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4377-3156>

Artur Zabyivorota – cadet 342B of the training group of the Faculty of Anti-Aircraft Missile Forces, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: zabvartur@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0003-8863-2941>

Dmytro Kriuchkov – senior lecturer of 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 Sumska Street, postal code 61023, e-mail: dnkriuchkov@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4377-3156>