

Д.В. Карлов, А.Я. Яцуценко, М.Ф. Пічугін, О.О. Клімішен, Ю.В. Трофименко, М.В. Борцова

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПОВІТРЯНО-КОСМІЧНОГО ЗАХИСТУ

Обґрунтовується актуальність розширення інформаційних можливостей перспективних радіолокаційних систем. Викладаються необхідні функції комплексу повітряно-космічного захисту та основні оперативно-тактичні вимоги до перспективної інформаційної системи повітряно-космічного захисту. Розглядаються основні новітні технології побудови інформаційної системи виявлення і оцінювання параметрів радіосигналів від різних класів літальних апаратів, виконується їх класифікація в активно-пасивній багатопозиційній РЛС при створенні системи повітряно-космічного захисту від них з використанням доопрацьованих трьохкоординатних радіолокаційних систем протиповітряної оборони і викладаються основні вимоги до швидкодії і ступеня автоматизації прийняття рішення на комплексне використання засобів системи.

Ключові слова: радіолокаційна система, автоматизація прийняття рішення, енергетичне виявлення, оцінювання параметрів, байєсівське відношення правдоподібності, ймовірність хибної тривоги.

Вступ

Постановка проблеми, аналіз останніх досягнень та публікацій. Гіперзвукова зброя – новий вид озброєнь, що випробовується в передових країнах світу [1–8]. Через його новизну ще не існує ніяких міждержавних договорів, що обмежують створення гіперзвукових комплексів, а отже, вони можуть бути створені в будь-якій кількості і розміщені де завгодно на землі, в повітрі, на морі і в космосі.

Космос освоюється у військових цілях. Космічний і повітряний простір зливаються в єдину сферу збройної боротьби. А отже, і об'єм завдань, що покладаються на сили протиповітряної оборони, а тепер уже повітряно-космічної оборони (ПКО), розширюється. Збільшується висотний діапазон об'єктів, що підлягають виявленню, придушенню та знищенню у ході бойових дій. Очікувана поява гіперзвукових повітряних цілей (повітряно-космічних літаків) означає черговий науково-технічний прорив в розвитку засобів повітряно-космічного нападу (ЗПКН).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час американська ракета Х-51 [5; 9], що створюється компанією «Боїнг» в рамках концепції «швидкого глобального удару», повинна розвивати швидкість в 6...7 М. Китайська ракета WU-14 [6], плануюча з космосу, почала випробовуватися ще в 2013 році. Заявлена швидкість боеголовки, що маневрує, 10 М.

Також випробовується російська крилата протикорабельна ракета "Циркон" [3; 5] (у натовській класифікації Yu-71). Передбачувана швидкість – орієнтовно до 12 М, дальність – більше 1000 км.

Розробка корпорації «Боїнг» – орбітальний космічний безпілотний апарат Х-37 Orbital Test Vehicle [10]. Ці апарати запускаються на космічних кораблях Atlas-5 [11] і можуть декілька років знаходитися на висотах від 200 до 750 км, міняти орбіту і

маневрувати. Деталі, що стосуються призначення та задач, для яких воєнно-повітряні сили США використовують орбітальний апарат, не розголошуються, але вважається, що Х-37 вже зараз здатний виконувати розвідувальні функції як супутник. Також існує думка [12], що він повинен стати платформою для розміщення на ньому гіперзвукових озброєнь, а також виконувати роль перехоплювача, що знищує ворожі супутники, і в рамках ініціативи швидкого глобального удару (Prompt Global Strike) [1–14] наносити високоточні удари по наземних об'єктах. Сьогодні США мають три орбітальних літака, причому один з них постійно знаходиться на орбіті.

Пілотовані засоби повітряного нападу (ЗПН) поволі поступають місцем ЗПН, керованим дистанційно (або керованим по завчасно введених програмах). Характерний і найбільш чисельний приклад – крилаті ракети (КР). За інформацією деяких джерел, число КР в збройних силах США до 2020 року може досягти 100 тисяч одиниць. З появою гіперзвукових літальних апаратів (ГЗЛА) на ринку озброєнь можливе їх розповсюдження. Тому огляд проблем захисту від ГЗЛА є актуальним для розвитку озброєння Повітряних Сил України.

Мета даної статті – розглянути основні загрози для системи ПКО і шляхи їх усунення при створенні радіолокаційного озброєння в системі захисту від ЗПКН в Повітряних Силах України.

Виклад основного матеріалу

Ставиться завдання на визначення основних проблем при створенні перспективного радіолокаційного озброєння для Повітряних Сил з урахуванням нових загроз для України та можливих шляхів захисту від гіперзвукових літальних апаратів з використанням гіперзвукової ударної зброї.

Поява у світі гіперзвукової зброї лише сенсу існуючі системи протиракетної оборони, оскільки ті

не здатні перехопити ціль, що летить на гіперзвуковій швидкості по непередбачуваній траєкторії.

Очікувані радіосигнали в зоні дії радіолокатора. В зоні дії радіолокатора можуть знаходитися об'єкти штучного і природного походження.

ЗПКН з урахуванням перспектив класифікуються за висотами над поверхнею Землі:

- висоти 5 м...40 км – засоби повітряного нападу зі швидкостями до 3 М (крилаті ракети, тактичні балістичні ракети, розвідувально-ударні безпілотні літальні апарати (БПЛА), літаки тактичної і стратегічної авіації); уся техніка використовує стелс-технології, основне завдання яких в напрямі радіолокатора мінімізувати ефективну відбиваючу поверхню; очікується широке застосування як пасивних, так і активних засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ);

- висоти 40 км...100 км – швидкості від 3 М до 10 М (нові оперативно-тактичні балістичні ракети, плануючі боеголовки міжконтинентальних балістичних ракет, повітряно-космічні літаки, гіперзвукові літаки і крилаті ракети); окрім стелс-технологій і засобів РЕБ очікується застосування плазмового маскування; зона метеорологічного розповсюдження радіохвиль знаходиться на висоті 70...130 км;

- висоти більше 100 км – засоби космічного нападу зі швидкостями більше 10 М (стратегічні балістичні ракети, в тому числі в неядерному високоточному виконанні, ударні і забезпечувальні космічні апарати (КА), орбітальні платформи з керованими і некерованими апаратами); широке застосування важких і легких хибних цілей; наявність неоднорідностей електронної концентрації іоносфери, що рухаються з різними швидкостями, веде до зав'язування хибних траєкторій цілей; періодичні висипання метеорних потоків та високоенергетичних потоків часток із магнітосфери також веде до зав'язування хибних цілей.

Необхідні функції комплексу повітряно-космічного захисту. Виходячи із загроз, до основних функцій ПКО відносяться:

- гарантоване виявлення всіх класів літальних апаратів, високоточне оцінювання параметрів їх руху, повного вектора швидкості з високим темпом оновлення інформації;

- використання засобів РЕБ для придушення радіовисотоміра ГЗЛА, для заглушення радіонавігаційного каналу, для функціонального ураження бортового радіоелектронного обладнання;

- використання лазерної, протиракетної зброї.

Великі швидкості літальних апаратів призводять до скорочення часу перебування їх в зонах виявлення і ураження. Скорочується час на прийняття рішення щодо знищення. Виникає необхідність підвищення ступеня інтегрування різних засобів, ступеня автоматизації процесів виявлення цілей, використання елементів штучного інтелекту, розпізна-

вання ступеня небезпечності цілей.

Цикл бойового застосування системи озброєння необхідно зменшувати за рахунок зменшення часу обробки інформації і проходження радіосигналів та команд управління комплексом ПКО [15–17].

Принципи огляду простору. Зона огляду простору в нових умовах повинна включати всю верхню півсферу. Антенна система, яка відповідає такій зоні, має вигляд напівсферичної багатоканальної фазованої антенної решітки (ФАР). В ідеальному випадку кількість каналів виявлення повинна відповідати кількості діаграм спрямованості (ДС) ФАР, що перетинаються на рівні половинної потужності, в верхній півсфері.

На даному етапі розвитку техніки економічно недоцільно створювати таку систему. Кількість каналів ФАР доцільно обмежити кількістю каналів для одночасного огляду нижньої і верхньої бар'єрних зон виявлення з подальшим скануванням ДС при супроводженні цілей. При формуванні ДС виникають обмеження на сектор сканування внаслідок викривлення. Із досвіду побудови радіолокаційних станцій (РЛС) дальнього виявлення слідує, що сектор сканування ДС з використанням одних і тих же елементів антени складає 90°.

Огляд простору при використанні секторних РЛС доцільно здійснювати в так званих бар'єрних зонах – частинах зони огляду на малих і великих кутах місця. Використання бар'єрних зон в зоні необхідне для виявлення об'єктів, що запускаються з орбітальних платформ [1–3].

Принцип огляду простору в бар'єрних зонах фазованих антенних решіток ПКО для різнобазових багатопозиційних РЛС (БП РЛС) космічного, повітряного і наземного базування полягає в одночасній орієнтації і переміщенні максимумів діаграм спрямованості позицій у просторі.

Боротьба з гіперзвуковими літальними апаратами, що рухаються з огинанням рельєфу місцевості, ускладнена тим, що для їх виявлення необхідна система радіолокаторів, що розташовані на літальних апаратах.

Необхідність моноімпульсного визначення повного вектора швидкості цілей. Відомі однопозиційні системи виявлення і попередження про ракетний напад мають недоліки внаслідок впливу як малорухомих, так і швидко рухомих неоднорідностей іоносфери. Внаслідок недосконалих алгоритмів обробки інформації в цих системах здійснюється зав'язування небезпечних хибних траєкторій. Виникає необхідність моноімпульсного визначення повного вектора швидкості виявлених цілей.

Комплекс повинен складатися із наземної і повітряної складових. Наземна і повітряна складові – активно-пасивні багатопозиційні РЛС.

Радіальна складова вектора швидкості цілі V_{ri} в i -й точці спостереження – проекція вектора швидкості цілі V на напрямок ціль – точка спостереження. Кут між векторами у просторі знаходиться із виразу [18]:

$$\cos \xi_i = \frac{V_{ri} V}{|V_{ri}| |V|}. \quad (1)$$

Із виразу (1) витікає система рівнянь, яка дозволяє однозначно визначити модуль повного вектора швидкості цілі та його просторову орієнтацію, в координатній формі:

$$\begin{cases} V_{r0} = V(n_x n_{x0} + n_y n_{y0} + n_z n_{z0}); \\ V_{r1} = V(n_x n_{x1} + n_y n_{y1} + n_z n_{z1}); \\ V_{r2} = V(n_x n_{x2} + n_y n_{y2} + n_z n_{z2}); \\ n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1, \end{cases} \quad (2)$$

де n_x, n_y, n_z – напрямні косинуси вектора швидкості ГЗЛА;

n_{xi}, n_{yi}, n_{zi} – напрямні косинуси радіальної складової вектора швидкості ГЗЛА на кожному пункті оцінювання;

V_{ri}, V – модуль радіальної складової на кожному пункті оцінювання і модуль вектора швидкості ГЗЛА.

Новітні технології статистичної обробки вхідної інформації. Обробку інформації в приймачах РЛС пропонується здійснювати на основі критерію мінімуму середнього ризику при використанні байєсівської теорії статистичної оптимізації обробки випадкових процесів [19].

На відміну від обробки інформації класичної теорії радіолокації при використанні виводу відношення правдоподібності пропонується безпосередня апостеріорна оцінка байєсівського відношення пра-

вдоподібності і використання його при обробці інформації.

Сутність запропонованого способу послідовного енергетичного виявлення радіосигналів при амплітудній обробці інформації полягає в перевірці статистичних гіпотез за критерієм мінімуму середнього ризику при використанні амплітудного відношення правдоподібності, яке ґрунтується на законі збереження енергії і байєсівському підході максимального використання апріорних даних.

Пропонується наступна методика.

Розраховується відношення плінних оцінок суми модулів вибірок суміші радіосигналу і шуму на інтервалі аналізу, рівному тривалості сигналу, до значень усереднених за декілька попередніх інтервалів аналізу оцінок суми модулів вибірок шуму протягом періоду слідування радіосигналів. Визначається енергетичне відношення правдоподібності. Воно порівнюється в кожному інтервалі аналізу з порогом прийняття рішення, що визначається за критерієм Неймана-Пірсона.

Приймається рішення про початок часу квазіоптимального виявлення при наявності перевищення порогу виявлення в одному або двох інтервалах аналізу підряд шляхом зрушення часу початку другого інтервалу аналізу на час, пропорційний відношенню оцінок суми модулів вибірок амплітуди радіосигналу першого інтервалу аналізу до суми модулів вибірок радіосигналу першого та другого інтервалів аналізу. Він корегується при перевірці оптимальності виявлення при будь-якому варіанті перевищення порогу за максимумом амплітудного відношення правдоподібності в діапазоні часу, еквівалентному діапазону можливих флуктуацій рівня суми модулів вибірок амплітуди внутрішніх шумів відносно їх усередненого рівня.

Алгоритм способу послідовного енергетичного виявлення поданий на рис. 1.

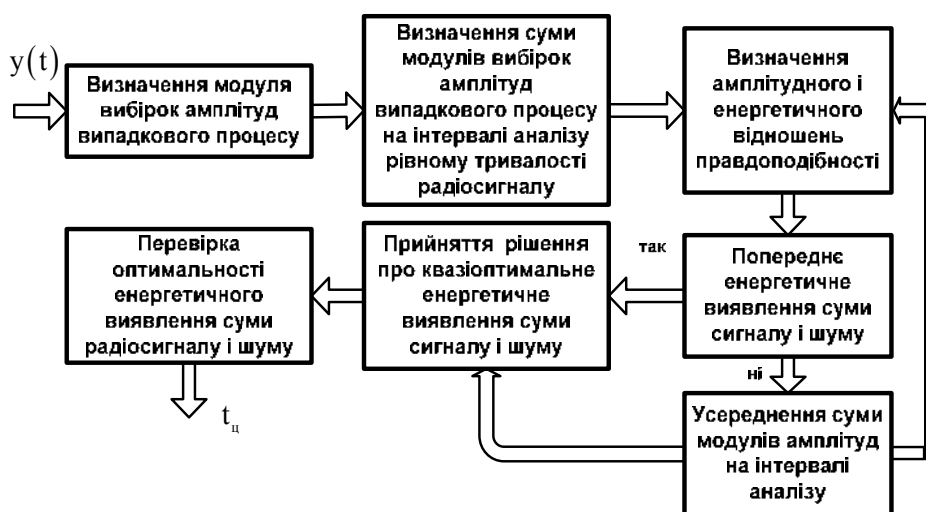


Рис. 1. Алгоритм способу послідовного енергетичного виявлення радіосигналів при плінній оцінці байєсівського відношення правдоподібності

Якісні показники запропонованого способу виявлення. Залежність умовної ймовірності правильного виявлення сумарної енергії детермінованого радіосигналу заданої тривалості і гаусового шуму від відношення енергії радіосигналу до енергії шуму при фіксованих умовних ймовірностях

хибних тривог подано на рис. 2 [20–21]. На рис. 3 приведена залежність порогу прийняття рішення для різних ймовірностей хибних тривог для моделі χ^2 -розподілу суми квадратів гаусових шумових вибірок від кількості вибірок n .

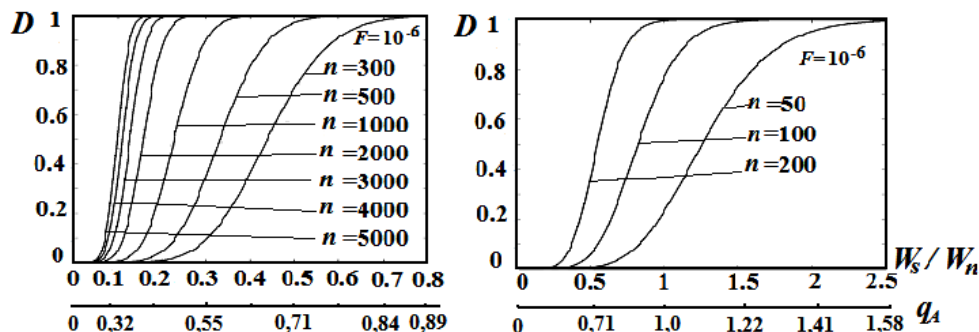


Рис. 2. Залежність умовної ймовірності правильного виявлення сумарної енергії детермінованого радіосигналу заданої тривалості і гаусового шуму від відношення енергії радіосигналу до енергії шуму при фіксованих умовних ймовірностях хибних тривог

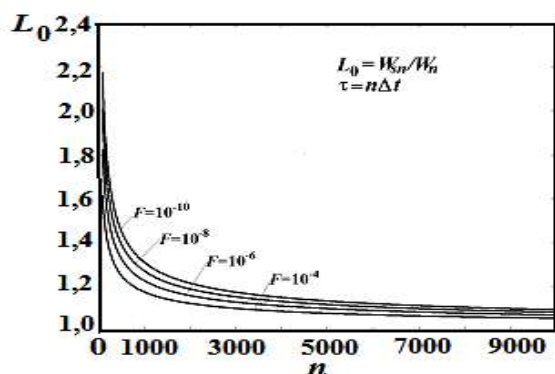


Рис. 3. Залежність порогу прийняття рішення від тривалості радіосигналу

Оцінювання параметрів радіосигналу. В основу оцінювання параметрів радіосигналу при енергетичному підході, як і в класичному випадку, покладена мінімізація умовного середнього ризику для кожної реалізації випадкового процесу. Вона виконується шляхом пошуку оцінки параметрів виявлених радіосигналів при складанні (або перемноженні) їх із множиною еталонних радіосигналів (що відповідає кореляційній обробці радіосигналів) і заданих функцій вартості та пошуку максимального значення апостеріорного енергетичного відношення правдоподібності.

Значення параметрів еталонного радіосигналу, якому відповідає максимальне значення апостеріорного енергетичного відношення правдоподібності, і є оцінкою параметру радіосигналу.

На відміну від класичної теорії оцінювання використання енергетичного відношення правдоподібності дозволяє оптимально оцінити значення параметрів радіосигналів за енергетикою менших за рівень внутрішніх шумів.

Якісні показники способу визначення повного вектора швидкості цілей. Якісними показниками алгоритму визначення повного вектора швидкості цілі є відносна помилка визначення модуля вектора швидкості цілі і просторового кута відхилення від істинного значення.

На рис. 4, а приведені залежності відносної точності визначення модуля повного вектора швидкості цілі від точності оцінювання частоти Доплера в діапазоні ± 20 Гц для швидкостей цілі $V = 250$ м/с і $V = 4000$ м/с. Кутomisцеве положення цілі прийняте рівним $\theta = 20^\circ$, помилки оцінювання пеленгів взяті $\delta\psi = \delta\theta = 0,1^\circ$.

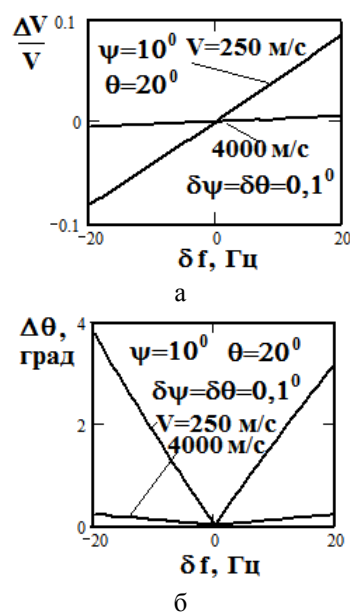


Рис. 4. Якісні показники способу визначення повного вектора швидкості цілей

На рис. 4, 6 приведені залежності просторового кута відхилення оціненого вектора швидкості цілі від істинного положення цілі в діапазоні оцінювання частоти Доплера для швидкостей цілі $V = 250$ м/с і $V = 4000$ м/с при кутомісцевому положенні цілі $\theta = 20^\circ$ і помилках оцінювання пеленгів $\delta\psi = \delta\theta = 0,1^\circ$.

Практична реалізація інформаційної системи. Дослідження можливостей РЛС П-14 показали, що при обертанні антенної системи зі швидкістю 6 обертів за хвилину на екрані індикатора кругового огляду на розгортці 1200 км спостерігалися 3–4 відмітки від низькоорбітальних штучних супутників Землі на дальності більше 1000 км, які рухалися зі

швидкістю біля 8 км/с. Практична реалізація БП РЛС на даному етапі можлива при використанні трьох РЛС радіотехнічних військ, що працюють в секторному режимі на ракетно-небезпечному напрямі при їх синхронізації і доопрацюванні радіоприймачів та створення бойового алгоритму автоматичної роботи при використанні новітніх інформаційних технологій цифрової обробки інформації на загальному пункті. Передбачається управління протиракетною за вимірюванням повного вектора швидкості цілі і протиракету за командами БП РЛС.

Варіант побудови алгоритму обробки інформації в БП РЛС подано на рис. 5.

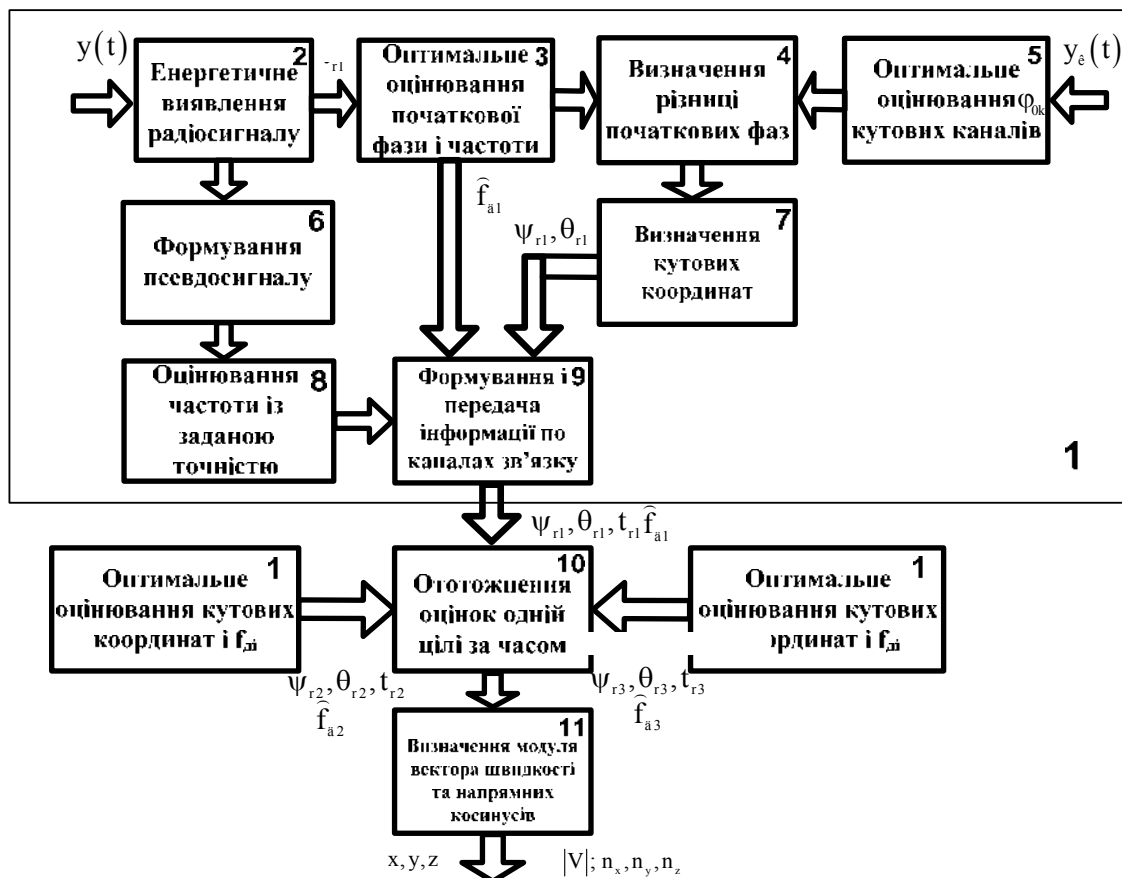


Рис. 5. Варіант побудови алгоритму обробки інформації в БП РЛС

Висновки

Запропонований варіант побудови інформаційної системи повітряно-космічного захисту від засобів нападу з використанням існуючих засобів виявлення і знешкодження вимагає доопрацювання існуючих засобів виявлення, переведення їх на цифрову обробку інформації, синхронізації з використанням існуючих доопрацьованих засобів знешкодження, показує необхідність більш глибокої проробки розглянутих питань.

Методика визначення повного вектора швидкості цілі моноімпульсним способом розширяє системні можливості просторово рознесеної радіолокаційної системи і дозволяє визначити швидкість та

напрямок руху цілі по одному сигналу, підвищити вірогідність правильної класифікації виявлених цілей на фоні перешкод в кожному такті виявлення, що необхідно при автоматичному використанні отриманої інформації для плинної класифікації виявлених цілей і побудови траєкторії руху гіперзвукової цілі, що маневрує.

Розглянута модель процесу визначення повного вектора швидкості цілі може бути використана для пошуку оптимального варіанту побудови активно-пасивної БП РЛС ПКО.

Значний інтерес викликає і проробка питання оцінки можливостей використання існуючих засобів радіолокаційної роти радіотехнічних військ для рішення завдань ПКО.

Список літератури

1. Перец Ю. Гиперзвуковые ракеты России и их испытания. Гиперзвуковые ракеты США [Электронный ресурс] / Ю. Перец. – 2015. – Режим доступа: http://www.syl.ru/article/195564/new_giperzvukovyie-raketyi-rossii-i-ih-ispytaniya-giperzvukovyie-raketyi-ssha.
2. Крейсер «Петр Великий» оснастят гиперзвуковыми ракетами «Циркон» [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://texnomaniya.ru/kreiyser-petr-velikiy-osnastyat-giperzvukovimi-raketami-cirkon>.
3. Рамм А. «Циркон»: в пяти Махах от цели [Электронный ресурс] / А. Рамм, Д. Корнев. – 2016. – Режим доступа: <http://vpk-news.ru/articles/29966>.
4. Lewis G. Prompt Global Strike Weapons and Missile Defenses: Implications for Reductions in Nuclear Weapons [Electronic resource] / G. Lewis. – 2015. – Access mode: <https://pacs.einaudi.cornell.edu/sites/pacs/files/Lewis.Prompt%20Global%20Strike%20Weapons%20and%20Missile%20Defenses.pdf>.
5. Lele A. Hypersonic Weapons [Electronic resource] / A. Lele. – 2017. – Access mode: https://www.researchgate.net/profile/Ajele_Lele/publication/318671510_Hypersonic_Weapons/links/5976c6a80f7e9b4016bc5110/Hypersonic-Weapons.pdf.
6. Ekmektsioglou E. Hypersonic Weapons and Escalation Control in East Asia [Electronic resource] / E. Ekmektsioglou // Strategic Studies Quarterly. – 2015. – Vol. 9, No. 2. – P. 43-68. – Access mode: http://www.airuniversity.af.mil/Portals/10/SSQ/documents/Volume-09_Issue-2/ekmektsioglou.pdf.
7. Besser H.L. Hypersonic Vehicles. Game Changers for Future Warfare? [Electronic resource] / H.-L. Besser, D. Göge, M. Huggins, A. Shaffer, D. Zimper // The Journal of the JAPCC. – 2017. – No. 24. – P. 11-27. – Access mode: http://elib.dlr.de/113912/1/Hypersonic%20Vehicles%20-%20JAPCC%20Journal%20-%20Volume%2024_2017.pdf.
8. Spravka J.J. Current Hypersonic and Space Vehicle Flight Test and Instrumentation [Electronic resource] / J.J. Spravka, T.R. Jorris. – 2015. – Access mode: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a619521.pdf>.
9. Moerel J.-L. Ramjets: Airframe Integration [Electronic resource] / J.-L. Moerel, W. Halswijk – 2010. – Access mode: www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA581886.
10. Orbital Test Vehicle: U.S. Air Force Fact Sheet [Electronic resource]. – Access mode: <https://spaceflightnow.com/atlas/av012/x37factsheet.pdf>.
11. Atlas V AFSPC-5 Mission [Electronic resource]. – Access mode: http://www.ulalaunch.com/uploads/docs/Mission_Booklets/AV/av_afspc5_mob.pdf.
12. Хазбиев А. У первой космической [Электронный ресурс] / А. Хазбиев. – 2017. – Режим доступа: <http://expert.ru/expert/2017/20/u-pervoy-kosmicheskoy/>.
13. Woolf A.F. Conventional Prompt Global Strike and Long-Range Ballistic Missiles: Background and Issues [Electronic resource] / A.F. Woolf. – 2017. – Access mode: <https://fas.org/sgp/crs/nuke/R41464.pdf>.
14. Kamp K.-H. “Prompt Global Strike” A New US Strategy Takes Shape [Electronic resource] / K.-H. Kamp. – 2006. – Access mode: http://www.kas.de/wf/doc/kas_8973-544-2-30.pdf?060824134013.
15. Купцов И.М. Борьба с гиперзвуковыми летательными аппаратами (ГЗЛА): новая задача и требования к системе воздушно-космической обороны (ВКО) [Электронный ресурс] / И.М. Купцов // Военная мысль. – 2011. – № 1. – С. 10-17. – Режим доступа: http://militera.lib.ru/periodic/0/v/voennaya-mysl/vm_2011-01.pdf.
16. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения / А.И. Канашенков, В.И. Меркулов, О.Ф. Самарин. – М.: ИПРЖР, 2002. – 176 с.
17. Криницкий Ю.В. Нужны средства ВКО на новых физических принципах / Ю.В. Криницкий // Воздушно-космическая оборона. – 2012. – № 5(66). – С. 27-35.
18. Певцов Г.В. Енергетичне виявлення і оцінювання параметрів тривалого немодульованого радіосигналу в активно-пасивній багатопозиційній радіолокаційній системі та визначення повного вектора швидкості цілі із заданою можливою точністю / Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов, М.Ф. Пічугін, Ю.В. Трофименко, О.Ю. Чернявський, М.В. Борцова // Військово-технічний збірник. – 2014. – № 1(10). – С. 56 – 63.
19. Патент на корисну модель 57216. Україна, МПК G01S 7/02. Процес енергетичного виявлення радіосигналів. Г.В.Певцов, А.Я.Яцуценко та ін.; – №201012202; заявл. 15.10.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3.
20. Теоретичні основи новітніх технологій побудови радіолокаційних систем / Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов, Ю.В. Трофименко // Наука і оборона. – 2014. – № 2. – С. 45-53.
21. PTheoretical Basics of Radar Signals Energy Detection / G. Pevtsov, A. Yatsutsenko, Yu. Trofimenko, D. Karlov, M. Bortsova // International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET-2012), 28 – 30 August, 2012. – Kharkov, 2012. – P. 324-327.

References

1. Pieriets, Yu. (2015), “Hipierzvukovyie rakiety Rossii i ikh ispytaniia. Hipierzvukovyie rakety SShA” [“Hypersonic Missiles of Russia and their Tests. The USA Hypersonic Missiles”], available at http://www.syl.ru/article/195564/new_giperzvukovyie-raketyi-rossii-i-ih-ispytaniya-giperzvukovyie-raketyi-ssha (accessed 29 January 2018).
2. (2016), “Krieisier «Piotr Velikii» osnastiat hipierzvukovymi raketami «Tsyron»” [“Pyotr Velikiy Cruiser is Going to be Equipped with Zircon Cruise Missiles”], available at <http://argumentiru.com/army/2016/02/421949> (accessed 31 January 2018).
3. Ramm, A. and Korniev, D. (2016), “«Tsyron»: v piati Makhakh ot tseli” [«Zircon»: 5 Mach to Target], available at <http://vpk-news.ru/articles/29966> (accessed 31 January 2018).
4. Lewis, G. (2015), “Prompt Global Strike Weapons and Missile Defenses: Implications for Reductions in Nuclear Weapons”, available at <https://pacs.einaudi.cornell.edu/sites/pacs/files/Lewis.Prompt%20Global%20Strike%20Weapons%20and%20Missile%20Defenses.pdf> (accessed 31 January 2018).
5. Lele, A. (2017), “Hypersonic Weapons”, available at https://www.researchgate.net/profile/Ajele_Lele/publication/318671510_Hypersonic_Weapons/links/5976c6a80f7e9b4016bc5110/Hypersonic-Weapons.pdf (accessed 31 January 2018).

- 6 Ekmektsioglou, E. (2015), "Hypersonic Weapons and Escalation Control in East Asia", *Strategic Studies Quarterly*, Vol. 9, No. 2, pp. 43 – 68, available at http://www.airuniversity.af.mil/Portals/10/SSQ/documents/Volume-09_Issue-2/ekmektsioglou.pdf (accessed 31 January 2018).
- 7 Besser, H.L., Göge, D., Huggins, M., Shaffer, A. and Zimper, D. (2017), "Hypersonic Vehicles. Game Changers for Future Warfare?", *The Journal of the JAPCC*, No. 24, pp. 11 – 27, available at [http://elib.dlr.de/113912/1/Hypersonic%20 Vehicles%20-%20JAPCC%20 Journal%20-%20Volume%2024_2017.pdf](http://elib.dlr.de/113912/1/Hypersonic%20Vehicles%20-%20JAPCC%20Journal%20-%20Volume%2024_2017.pdf) (accessed 31 January 2018).
- 8 Spravka, J.J. and Jorris, T.R. (2015), "Current Hypersonic and Space Vehicle Flight Test and Instrumentation", available at <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a619521.pdf> (accessed 31 January 2018).
- 9 Moerel, J.-L. and Halswijk, W. (2010), "Ramjets: Airframe Integration" available at www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA581886 (accessed 31 January 2018).
- 10 "Orbital Test Vehicle: U.S. Air Force Fact Sheet", available at <https://spaceflightnow.com/atlas/av012/x37factsheet.pdf> (accessed 31 January 2018).
- 11 "Atlas V AFSPC-5 Mission", available at http://www.ulalaunch.com/uploads/docs/Mission_Booklets/AV/av_afspc5_mob.pdf (accessed 31 January 2018).
- 12 Khazbiiev, A. (2017), "U pervoi kosmicheskoi" ["At Orbital Velocity"], available at <http://expert.ru/expert/2017/20/u-pervoi-kosmicheskoi/> (accessed 31 January 2018).
- 13 Woolf, A.F. (2017), "Conventional Prompt Global Strike and Long-Range Ballistic Missiles: Background and Issues", available at <https://fas.org/srg/crs/nuke/R41464.pdf> (accessed 31 January 2018).
- 14 Kamp, K.-H. (2006), "'Prompt Global Strike' A New US Strategy Takes Shape", available at http://www.kas.de/wf/doc/kas_8973-544-2-30.pdf?060824134013 (accessed 31 January 2018).
- 15 Kuptsov, I.M. (2011), "Borba s hipierzvukovymi lietatel'nymi apparatami (HZLA): novaia zadacha i trebovaniia k sistemie vozdušno-kosmicheskoi oborony (VKO)" ["Hypersonic Aircrafts (HA) Warfare: a New Task and Requirements to the Aerospace Defense System (ASDS)"], *Military Thought*, No. 1, pp. 10 – 17, available at http://militera.lib.ru/periodic/0/v/voennaya-mysl/vm_2011-01.pdf (accessed 31 January 2018).
- 16 Kanashchikov, A.I., Mierkulov, V.I. and Samarin, O.F. (2002), *Oblik perspektivnykh bortovykh radiolokatsyonnykh sistem. Vozmozhnosti i ohranicheniia* [Layout of Advanced On-Board Radar Systems. Capabilities and Limitations], IPRGR, Moscow, 176 p.
- 17 Krinitskii, Yu.V. (2012) "Nuzhny sriedstva VKO na novykh fizicheskikh printsipakh" ["Aerospace Defense Means Based on New Physical Principles are Necessary"], *Aerospace Defense*, No 5(66), pp. 27 – 35.
- 18 Pievtsov, H.V., Yatsutsenko, A.Ya., Karlov, D.V., Pichuhin, M.F., Trofymenko, Yu.V., Cherniavskiy, O.Yu. and Bortsova, M.V. (2014) "Energetychnye vyivlennia i otsiniuvannia parametriv tryvaloho nemodulovanoho radiosyghnalu v aktyvno-pasyvnoi bahatopozytytsiinii radiolokatsiinii systemi ta vyznachennia povnoho vektora shvydkosti tsili iz zadanoiu mozhlyvoiu tochnistiu" [Energy Detection and Estimation of Durable Unmodulated Radio-Signal Parameters in an Active-Passive Multipositional Radar System and Derivation of the Full Target Velocity Vector with a Given Probable Precision], *Military Technical Proceedings*, No. 1(10), pp. 56 – 63.
- 19 Pievtsov, H.V., Yatsutsenko, A.Ya., Trofymenko, Yu.V. and Karlov, D.V. (2011), "Proces energhetychnogho vyivlennia radiosyghnaliv" [Process of Power Reveal of Radio-Signals], Ukraine, Useful model patent 57216, IPC G01S 7/02.
- 20 Pievtsov, H.V., Yatsutsenko, A.Ya., Karlov, D.V. and Trofymenko, Yu.V. (2014), "Teoretychni osnovy novitnikh tekhnologiy pobudovy radiolokatsiynykh system" [Theoretical Basics of Radar Systems Construction Latest Technologies], *Science and Defense*, No. 2, pp. 45 – 53.
- 21 Pevtsov, G., Yatsutsenko, A., Trofimenko, Yu., Karlov, D., Bortsova, M. (2012), "Theoretical Basics of Radar Signals Energy Detection", *International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET-2012)*, August 28 – 30, 20126 Kharkov, pp. 324 – 327, DOI: 10.1109/MMET.2012.6331269.

Надійшла до редколегії 14.02.2018

Схвалена до друку 20.03.2018

Відомості про авторів:

Карлов Дмитро Володимирович

доктор технічних наук старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Харківського Національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3786-2160>
e-mail: zeroua108@ukr.net

Яцуценко Анатолій Якович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського Національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4259-4751>
e-mail: anatoliy.ya.yatsusenko@gmail.com

Information about the authors:

Dmitrij Karlov

Doctor of Technical Sciences Senior Research
Head of Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3786-2160>
e-mail: zeroua108@ukr.net

Anatolij Jatsutsenko

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4259-4751>
e-mail: anatoliy.ya.yatsusenko@gmail.com

Пічугін Михайло Федорович

кандидат військових наук професор
провідний науковий співробітник Національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8012-7487>
e-mail: michaylo.f.pichugin@gmail.com

Mikhail Pichugin

Candidate of Military Sciences Professor
Leading Research of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8012-7487>
e-mail: michaylo.f.pichugin@gmail.com

Клімішен Олексій Олегович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник Харківського
Національного університету Повітряних Сил
ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3859-1531>
e-mail: kl_s_kh@ukr.net

Oleksiy Klimishen

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3859-1531>
e-mail: kl_s_kh@ukr.net

Трофименко Юрій Валентинович

науковий співробітник Харківського
Національного університету Повітряних Сил
ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6651-793X>
e-mail: trofimenko59@i.ua

Yuriy Trofimenko

Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6651-793X>
e-mail: trofimenko59@i.ua

Борцова Марія Вікторівна

науковий співробітник Харківського
Національного університету Повітряних Сил
ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6644-0875>
e-mail: masha.v.bortsova@gmail.com

Marija Bortsova

Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6644-0875>
e-mail: masha.v.bortsova@gmail.com

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

Д.В. Карлов, А.А. Яцуценко, М.Ф. Пичугин, А.О. Климишен, Ю.В. Трофименко, М.В. Борцова

Обосновывается актуальность расширения информационных возможностей перспективных радиолокационных систем. Излагаются необходимые функции комплекса воздушно-космической защиты и основные оперативно-тактические требования к перспективной информационной системе воздушно-космической защиты. Рассматриваются основные новейшие технологии построения информационной системы обнаружения и оценивания параметров радиосигналов от разных классов летательных аппаратов, осуществляется их классификация в активно-пассивной многопозиционной РЛС при создании системы воздушно-космической защиты от них с использованием доработанных трёхкоординатных радиолокационных систем противовоздушной обороны и излагаются основные требования к быстродействию и степени автоматизации принятия решения на комплексное использование средств системы.

Ключевые слова: радиолокационная система, автоматизация принятия решения, энергетическое обнаружение, оценка параметров, байесовское отношение правдоподобия, вероятность ложной тревоги.

AN INFORMATIONAL SYSTEM FOR AEROSPACE DEFENSE

D. Karlov, A. Jatsutsenko, M. Pichugin, O. Klimishen, Yu. Trofimenko, M. Bortsova

The paper considers the questions of developing an aerospace defense system. In view of appearance of new means for aerospace attacks and taking into account some natural factors that affect performance of radar systems automatic in terms of information the necessity of enhancing informational capabilities of future radar systems is substantiated. Essential functions of the aerospace defense complex are defined. General operational-tactical requirements to a future aerospace defense informational system are given. Basic recent technologies used for constructing informational systems intended for detection and estimation of parameters of radio-signals backscattered by various classes of aircrafts are discussed. Their classification in active-passive multi-positional radiolocation at developing the aerospace defense system with the usage of the enhanced air-defense tree-coordinate radars is provided. Principle requirements to the operation speed and degree of decision-making automation at complex usage of the system means are given. The algorithm for successive radio-signals energy detection based on Bayes likelihood ratio calculation and the algorithm for processing information in a multi-positional radar system are suggested. The results of modeling the dependence of conditional probability of determined radio-signal of prescribed duration and Gaussian noise total energy correct detection against signal-and-noise energies ratio, the dependence of decision threshold on signal duration and qualitative measures for the method of full target velocity vector derivation are presented. The received results could be used at developing advanced aerospace defense systems.

Keywords: radar system, decision-making automation, energy detection, parameters estimation, Bayes likelihood ratio, false alarm probability.