

УДК 629.7:621.396

Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов, А.І. Резніченко

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків***ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЧНОЇ БАГАТОПОЗИЦІЙНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ – ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ АЕРОДИНАМІЧНИХ ЦІЛЕЙ**

Розглядається варіант побудови системи виявлення - функціонального ураження радіоелектронних засобів аеродинамічних цілей за інформацією активно-пасивної (пасивної) багатопозиційної радіолокаційної системи в зоні радіолокаційної станції дальньої дії.

Ключові слова: виявлення цілей, вимірювання координат, визначення повного вектора швидкості цілі, функціональне ураження радіоелектронних систем аеродинамічних цілей, бар'єрна зона функціонального ураження.

Вступ

Загальна постановка проблеми, аналіз останніх досягнень та публікацій. Розвиток променевої зброї в військово-повітряних силах розвинених у військовому відношенні зарубіжних країн вимагають дослідження проблем створення променевої зброї захисту від високоточної зброї противника для Повітряних Сил Збройних Сил України [1 – 9].

Променевий захист угруповань військ та важливих об'єктів – комплекс організаційно-технічних заходів і дій, спрямованих на забезпечення стійкої роботи своїх систем управління військами і зброєю з метою забезпечення переваги у використанні променевої енергії [6].

Інтегрування засобів радіолокаційної розвідки та функціонального ураження в єдину автоматичну систему забезпечить виконання завдань протиповітряної оборони Повітряних Сил Збройних Сил України в реальному масштабі часу.

Розвиток просторово рознесених радіолокаційних систем [3 – 5] вимагає вивчення їх системних можливостей для створення єдиного комплексу виявлення – функціонального ураження з просторово рознесеними елементами виявлення і мікрохвильовими генераторами наносекундних імпульсів. Без-

перервне виявлення цілей, опромінених сигналами радіолокаційної станції дальньої дії, визначення їх координат дозволить створити зону контролю за аеродинамічними цілями, що знаходяться в ній. Необхідно визначити принципову можливість використання інформації активно-пасивних та пасивних БП РЛС для управління засобами функціонального ураження при різних способах побудови комплексу функціонального ураження в тому числі і при просторовому складанні потужностей від декількох мікрохвильових генераторів наносекундних імпульсів.

В [5] пропонуються різноманітні варіанти побудови інтегрованого багатопозиційного комплексу виявлення – функціонального ураження радіоелектронних засобів аеродинамічних цілей для Повітряних Сил Збройних Сил України і розглядаються основні критерії їх побудови.

Серед них пропонується варіант побудови пасивної багатопозиційної радіолокаційної системи (БП РЛС) виявлення аеродинамічних цілей за сигналами засобів авіаційного зв'язку або за сигналами випроміненими безперервно працюючою радіолокаційною станцією дальнього виявлення (РЛС ДВ).

Існуючі РЛС ДВ, що розташовані на території України, контролювали повітряно-космічний простір в азимутальному секторі 120° на південному і західному

ракетно небезпечних напрямках. В наслідок використання майже мілісекундних зондуєчих сигналів зона виявлення аеродинамічних цілей в них бланкується.

Виникає необхідність перевірки шляхом моделювання можливості створення автоматичного комплексу виявлення – функціонального ураження з просторово рознесеними елементами виявлення і функціонального ураження при використанні сигналів РЛС дальньої дії.

Мета статті. Розробка алгоритму роботи багатопозиційної радіолокаційної системи виявлення – функціонального ураження РЕЗ аеродинамічних цілей і визначення її системних якісних показників при підсвічуванні цілей мілісекундними не модульованими радіосигналами РЛС дальньої дії в умовах апріорної визначеності і невизначеності несучої частоти зондуєчих сигналів.

Виклад матеріалів дослідження

В пасивній БП РЛС з декількох точок простору на мілісекундних інтервалах часу вимірюються: азимут і кут місця ψ_i, θ_i напрямків на ціль для моделі не модульованого вузькосмугового сигналу при відношеннях сигнал/шум, що забезпечують максимальні помилки вимірювання в межах $\delta\psi_i = \delta\theta_i = \pm 1^\circ$; частота прийнятого сигналу на кожній із позицій $f_{\pi i}$ з максимальними помилками вимірювання в межах $\delta f_i = \pm 100$ Гц, що несе інформацію про радіальні складові вектора швидкості цілі $V_{r i}$.

В пасивній БПРЛС при триангуляційному способі визначення координат цілі необхідно моноімпульсним способом знайти повний вектор швидкості цілі V та мінімально необхідну для цього кількість радіопеленгаційних двохкоординатних пунктів, визначити час включення та інтервал часу роботи генераторів наносекундних імпульсів.

Задача вирішена шляхом об'єднання і синхронізації роботи активно – пасивної (пасивної) БПРЛС та багатопозиційного комплексу функціонального ураження на основі оцінки координат, повного вектора швидкості цілі моноімпульсним способом за мілісекундним не модульованим радіосигналом РЛС ДВ і розрахунку точки ураження (прицілювання діаграм спрямованості багатопозиційних генераторів послідовностей наносекундних імпульсів) та часу їх включення.

Варіант побудови багатопозиційного променевого комплексу виявлення – функціонального ураження РЕЗ аеродинамічних цілей показано на рис. 1.

1. Комплекс виявлення – функціонального ураження при використанні активно-пасивної БП РЛС. Варіантом реалізації способу може бути апріорне знання несучої частоти випромінюваного сигналу без підключення до гетеродинів РЛС ДВ. За вимірними значеннями азимуту ψ_i та кута місця θ_i цілі на i -му пункті БПРЛС визначаються направляючі косинуси двохкоординатних пеленгів на ціль.

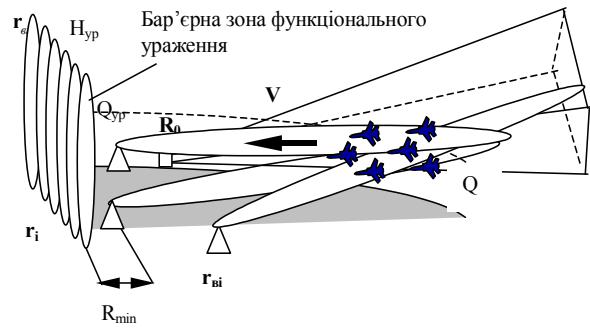


Рис. 1. Варіант побудови автоматичної багатопозиційної системи виявлення – функціонального ураження РЕЗ аеродинамічних цілей в зоні випромінювання РЛС ДВ при нерухомій бар'єрній зоні функціонального ураження

1. Комплекс виявлення – функціонального ураження при використанні активно-пасивної БП РЛС. Варіантом реалізації способу може бути апріорне знання несучої частоти випромінюваного сигналу без підключення до гетеродинів РЛС ДВ.

За вимірними значеннями азимуту ψ_i та кута місця θ_i цілі на i -му пункті БПРЛС визначаються направляючі косинуси двохкоординатних пеленгів на ціль.

Координати цілі, як точка перетину ліній пеленгів Q з різних місць розташування радіопеленгаторів з площиною випромінювання зондуєчого сигналу при апріорній визначеності частоти зондуєчого сигналу і алгоритму огляду зони контролю

$$y_{Q0} = \frac{n_{y i} n_{y 0} (x_{r i} - x_{r 0}) - y_{r i} n_{y 0} n_{x i} + y_{r 0} n_{y i} n_{x 0}}{n_{y i} n_{x 0} - n_{y 0} n_{x i}};$$

$$x_{Q0} = x_{r 0} + \frac{y_{Q0} n_{x 0} - y_{r 0} n_{x 0}}{n_{y 0}};$$

$$z_{Q0} = z_{r i} + \frac{y_{Q0} n_{z i} - y_{r i} n_{z i}}{n_{y i}}.$$

Уточнене значення координат цілі за рахунок надлишку інформації

$$\bar{Q} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Q_i.$$

За вимірними значеннями радіальних швидкостей цілі $V_{r i}$ на кожній позиції із системи рівнянь визначаються направляючі косинуси вектора швидкості цілі $n_x; n_y; n_z$ та його модуль V .

$$\begin{cases} V_{r 0} = V(n_x n_{x 0} + n_y n_{y 0} + n_z n_{z 0}); \\ V_{r 1} = V(n_x n_{x 1} + n_y n_{y 1} + n_z n_{z 1}); \\ V_{r 2} = V(n_x n_{x 2} + n_y n_{y 2} + n_z n_{z 2}); \\ n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1. \end{cases}$$

Система рівнянь має точне рішення. Направляючі косинуси вектора швидкості цілі визначаються виразами:

$$n_x = \frac{\Delta_x}{\Delta} = \frac{|M_x|}{V\Delta}, \quad n_y = \frac{\Delta_y}{\Delta} = \frac{|M_y|}{V\Delta}, \quad n_z = \frac{\Delta_z}{\Delta} = \frac{|M_z|}{V\Delta},$$

Модуль вектора швидкості цілі визначається із умови нормування $n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1$:

$$V = \sqrt{\left(|M_x|^2 + |M_y|^2 + |M_z|^2 \right) / \Delta^2}.$$

Неоднозначність орієнтації вектора швидкості цілі усувається шляхом аналізу знаку різниці між несучою і вимірною частотами $f_0 - f_{B1}$.

Координати точки ураження цілі Q_{yp} визначаються як перетин лінії, вздовж якої спрямований вектор швидкості цілі, і площини, що проходить через центри зорієнтованих вертикально діаграм спрямованості і координати розміщення мікрохвильових генераторів функціонального ураження:

$$y_{yp} = \frac{B_4 + (B_1 n_x + B_3 n_z) y_Q / n_y - B_1 x_Q - B_3 z_Q}{B_1 n_x / n_y + B_3 n_z / n_y + B_2};$$

$$x_{yp} = x_Q + (y_{yp} - y_Q) n_x / n_y; \quad z_{yp} = z_Q + (y_{yp} - y_Q) n_z / n_y,$$

$$B_1 = n_{z1} (y_1 - y_n) - n_{y1} (z_1 - z_n);$$

$$B_2 = n_{x1} (z_1 - z_n) - n_{z1} (x_1 - x_n);$$

$$B_3 = n_{y1} (x_1 - x_n) - n_{x1} (y_1 - y_n); \quad B_4 = x_1 B_1 + y_1 B_2 + z_1 B_3.$$

Час польоту цілі від точки виявлення до зони функціонального ураження

$$t = |Q_{yp} - Q| / V.$$

Інтервал часу роботи генераторів функціонального ураження визначається як різниця між реальним часом польоту цілі від моменту виявлення цілі і часом визначеним з урахуванням максимальних помилок системи: $\Delta t = t - t_{\sigma}$.

Лінійний розмір зони функціонального ураження $L = 2D \sin \varphi$, де φ – просторовий кут між вектором швидкості цілі V і вектором нормалі N до площини орієнтації зони функціонального ураження лінійно розташованих мікрохвильових генераторів наносекундних імпульсів, D – дальність до цілі.

Мінімально необхідна відстань між ціллю і комплексом функціонального ураження R_{min} прямо пропорційна добутку максимальної швидкості цілі V і часу реакції комплексу t_p :

$$R_{min} = V_{max} t_p.$$

2. Комплекс виявлення – функціонального ураження при використанні пасивної БП РЛС.

Система рівнянь в координатній формі, що дозволяє визначити направляючі косинуси вектора швидкості цілі n_x, n_y, n_z , його модуль та несучу частоту f_0 випромінюваного сигналу, має вигляд:

$$\begin{cases} V_{r0} = V(n_x n_{x0} + n_y n_{y0} + n_z n_{z0}); \\ V_{r1} = V(n_x n_{x1} + n_y n_{y1} + n_z n_{z1}); \\ V_{r2} = V(n_x n_{x2} + n_y n_{y2} + n_z n_{z2}); \\ V_{r3} = V(n_x n_{x3} + n_y n_{y3} + n_z n_{z3}); \\ n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1. \end{cases}$$

Значення модулів радіальних складових вектора швидкості цілі V_{ri} виражаються через вимірні значення частоти $f_{B0}, f_{B1}, f_{B2}, f_{B3}$ на кожному пункті і значення невідомої несучої частоти f_0 випромінюваного сигналу: $V_{ri} = \frac{c f_{Bi}}{2 f_0} - \frac{c}{2}$, де c – швидкість світла.

Алгоритм розрахунку кутових параметрів орієнтації діаграм спрямованості елементів БП РЛС полягає у тому, що за координатами Q_j зони контролю та координатами місцеположення приймальних пунктів r_{0i} визначаються направляючі косинуси центрів діаграм спрямованості кожної з позицій БП РЛС.

Координати точки ураження цілі Q_{yp} визначаються як перетин лінії, вздовж якої спрямований вектор швидкості цілі, і площини, що проходить через центри зорієнтованих вертикально діаграм спрямованості і координати розміщення мікрохвильових генераторів функціонального ураження:

$$\begin{cases} \frac{x_Q - x}{n_x} = \frac{y_Q - y}{n_y} = \frac{z_Q - z}{n_z}; \\ \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_1 - x_n & y_1 - y_n & z - z_n \\ n_{x\phi} & n_{y\phi} & n_{z\phi} \end{vmatrix} = 0, \end{cases}$$

де $n_{x\phi}, n_{y\phi}, n_{z\phi}$ – направляючі косинуси вектора орієнтації лінії, що проведена через максимуми діаграм спрямованості окремих генераторів функціонального ураження, x_Q, y_Q, z_Q – координати виявленої цілі.

Після опізнавання цілі за цими даними визначається час надходження цілі в зону функціонального ураження

Час вмикання необхідних генераторів послідовностей наносекундних імпульсів визначається аналогічно випадку з апіорі відомою несучою частотою зондуючого сигналу.

Основні результати досліджень

Дослідження здійснювалися при використанні інформаційної моделі в умовах апіорної невизначеності і визначеності несучої частоти сигналів в програмному середовищі Mathcad-2001. При побудові рисунків задавалася просторова орієнтація вектора швидкості цілі кутами $\psi = \pm 150^\circ, \theta = 0^\circ$, модуль вектора швидкості цілі $V = 250$ м/с, координати цілі Q , координати місць розташування РЛС дальньої дії R_0 , радіопеленгаторів R_1 та координати місць розташування генераторів наносекундних імпульсів

$$r_0 = \begin{pmatrix} -10^4 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad r_1 = \begin{pmatrix} -10^4 \\ 10 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad \dots; \quad r_m = \begin{pmatrix} -10^4 \\ m \times 10 \\ 1 \end{pmatrix};$$

$$R_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 10 \end{pmatrix}; Q = \begin{pmatrix} 50000 \\ -1000 \\ 1000 \end{pmatrix}; R_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -150 - \Delta y \\ 15 \end{pmatrix};$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} -200 + \Delta x \\ 200 \\ 1 \end{pmatrix}; R_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 150 + \Delta y \\ 15 \end{pmatrix}; R_4 = \begin{pmatrix} -200 - \Delta x \\ 200 + \Delta y \\ 1 \end{pmatrix}$$

максимальні помилки визначення двохкоординатних пеленгів на ціль $\delta\psi_i = \delta\theta_i = \pm 0,5^\circ$, максимальні помилки визначення частоти сигналу на кожній позиції в межах $\delta f_i = \pm 100$ Гц, $\Delta x = \Delta y$ – величина додаткового рознесення пеленгаційних пунктів пасивної БПРЛС. Моделювання здійснювалося для несучої частоти $f_0 = 2 \times 10^8$ Гц.

При моделюванні задавалися координати цілі, просторове положення вектора швидкості цілі та його модуль. За цими даними визначалися направляючі косинуси пеленгів на ціль з кожної позиції і вводилися помилки вимірювання пеленгів. За двохкоординатними пеленгами визначалися їх точки перетину. Надлишок інформації з чотирьох пеленгаторів використовувався для уточнення положення цілі. За усередненими координатами цілі визначалися направляючі косинуси пеленгів на ціль і несуча частота сигналу від цілі. Априорна визначеність частоти зонduючого сигналу для активно-пасивної БПРЛС задавалася положенням цілі в площині випромінювання РЛС ДВ з помилками положення її по азимуту рівними половині ширини діаграми спрямованості антени.

Залежність величин відносної і абсолютної максимальних помилок визначення часу включення бар'єрної зони функціонального ураження РЕЗ цілі для умов априорної визначеності частоти (безперервна лінія) і невизначеності частоти (штрихова лінія) від величини рознесення пеленгаторів для цих випадків показано на рис. 2.

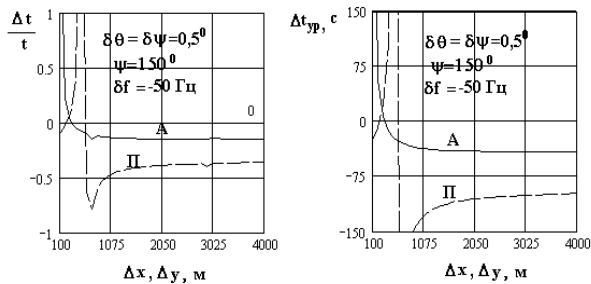


Рис. 2. Залежність величини відносної і абсолютної максимальної помилок визначення часу включення бар'єрної зони функціонального ураження РЕЗ цілі від величини рознесення БПРЛС

Залежність величини відносної максимальної помилки визначення повного вектора швидкості цілі і кута між вирахованим і істинним положенням вектора швидкості цілі для умов априорної визначеності частоти (безперервна лінія) і невизначеності частоти (штрихова лінія) від величини рознесення БПРЛС показано на рис. 3.

ності частоти (безперервна лінія) і невизначеності частоти (штрихова лінія) від величини рознесення БПРЛС показано на рис. 3.

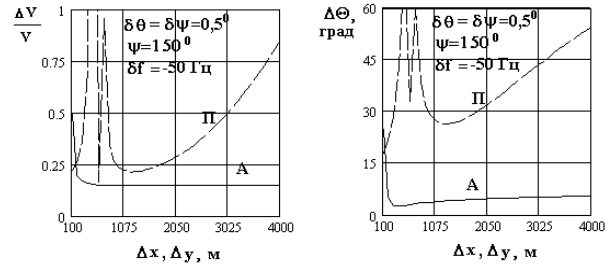


Рис. 3. Залежність величини відносної максимальної помилки визначення повного вектора швидкості цілі і кута $\Delta\Theta$ між вирахованим і істинним положенням вектора швидкості цілі від величини рознесення БПРЛС

Залежність величини абсолютної помилки визначення координат цілі і залежність відносної точності визначення несучої частоти сигналу цілі від величини рознесення пеленгаторів для значення максимальних помилок вимірювання частоти ($\delta f = -50$ Гц) і пеленгів на ціль $\delta\theta = \delta\psi = 0,5^\circ$ подано на рис. 4.

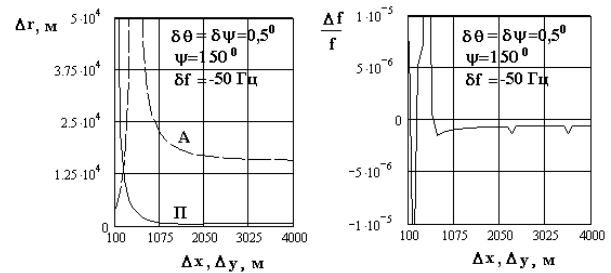


Рис. 4. Залежність величини максимальної помилки визначення координат цілі для активно-пасивної і пасивної БПРЛС та максимальної відносної помилки визначення частоти зонduючого сигналу для пасивної БПРЛС від величини рознесення пунктів БПРЛС

Залежність помилок визначення модуля повного вектора швидкості цілі та його просторової орієнтації для умов априорної визначеності і невизначеності частоти сигналу від величини максимальних помилок вимірювання пеленгів на ціль подана на рис. 5.

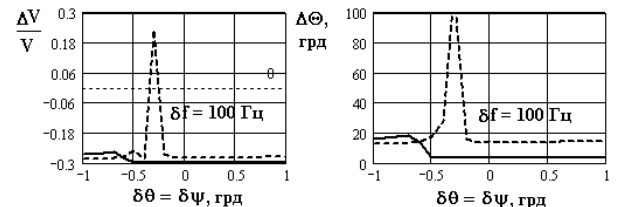


Рис. 5. Залежність величини відносної максимальної помилки визначення повного вектора швидкості цілі і максимальної абсолютної величини кута $\Delta\Theta$ від величини максимальних помилок вимірювання пеленгів на ціль

Залежність величини відносної максимальної помилки визначення повного вектора швидкості цілі

і кута між вирахуваним і істинним положенням вектора швидкості цілі для активно-пасивної і пасивної БП РЛС від азимутального положення цілі подана на рис. 6.

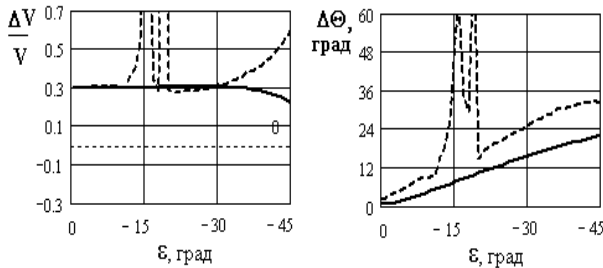


Рис. 6. Залежність величини відносної максимальної помилки визначення повного вектора швидкості цілі і кута від азимутального положення цілі

Слід зауважити, що при моделюванні вважалося використання простих антенних систем для вимірювання кутових координат пеленгів на ціль типу "хвильовий канал" без достатнього розрізнення по кутових координатах при опроміненні цілей.

Висновки та напрями подальших досліджень

Використання наведеного варіанту побудови автоматичної багатопозиційної радіолокаційної системи виявлення – функціонального ураження в зоні дії РЛС дальнього виявлення як екологічно чистої зброї повітряного захисту значно підвищить ефективність боротьби в Повітряних Силах Збройних Сил України з маловисотними цілями та високоточною зброєю противника.

Подальші дослідження вибору найбільш ефективного способу створення автоматичних комплексів виявлення – функціонального ураження пов'язані з використанням критеріїв ефективність – вартість та більш глибоким вивченням особливостей функціонування запропонованої складної системи та формулюванням тактико-технічних вимог до неї.

Список літератури

1. Слипченко В.И. Войны шестого поколения / В.И. Слипченко. – М.: Вече, 2002. – 565 с.
2. Черниш О.М. Перспективи розвитку радіоелектронної боротьби з урахуванням досвіду країн НАТО / О.М. Черниш, Г.В. Певцов, С.В. Пищених, А.Я. Яцуценко // Зб. наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х.: ОНДІ ЗС, 2005. – Вип. 1(1). – С. 15-27.
3. Яцуценко А.Я. Моноімпульсне визначення повного вектора швидкості цілі за його радіальними складовими в багато позиційному комплексі / А.Я. Яцуценко // Зб. наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х.: ОНДІ ЗС, 2006. – Вип. 2(4). – С. 127-134.
4. Яцуценко А.Я. Алгоритм оцінювання повного вектора швидкості цілі в пасивних багато позиційних РЛС / А.Я. Яцуценко, А.І. Резніченко, С.В. Арс'єв, Л.Л. Семенкевич // Зб. наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х.: ОНДІ ЗС, 2007. – Вип. 2(7). – С. 140-149.
5. Яцуценко А.Я. Можливості створення багато позиційного комплексу виявлення – функціонального ураження радіоелектронних засобів мало висотних аеродинамічних цілей / А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов, А.І. Резніченко, А.М. Остапова // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ навігації і управління, 2007. – Вип. 4. – С. 69-72.
6. Бабакин А.В. Минобороны развернута подготовка к электронно-лучевой войне / А.В. Бабакин // Независимое военное обозрение. – 2005. – №45 (454). – С. 1.
7. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: Справочник / Я.Д. Ширман, Ю.И. Лосев, Н.Н. Минервин, С.В. Москвитин, С.А. Горшков, Д.И. Леховицкий, Л.С. Левченко / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: ЗАО «МАКВИС», 1998. – 828 с.
8. Шостко С.Н. Электромагнитные боеприпасы направленного действия для зенитных управляемых ракет / С.Н. Шостко, И.С. Шостко, Е.А. Авчинников // Зб. наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х.: ОНДІ ЗС. – 2005. – Вип. 1(1). – С. 69-76.
9. Кравченко В.И. Электромагнитное оружие / В.И. Кравченко – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – 185 с.

Надійшла до редколегії 4.12.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ - ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОРАЖЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов, А.И. Резниченко

Рассматривается вариант построения комплекса обнаружения – функционального поражения радиоэлектронных средств аэродинамических целей по информации активно-пассивной (пассивной) многопозиционной радиолокационной системы в зоне радиолокационной станции дальнего действия.

Ключевые слова: выявление целей, измерения координат, определения полного вектора скорости цели, функциональное поражение радиоэлектронных систем аэродинамических целей, барьерная зона функционального поражения.

THEORETICAL BASES OF CONSTRUCTION OF THE AUTOMATIC MULTIPosition RADIO-LOCATION SYSTEM OF DISCOVERY - FUNCTIONAL DEFEAT OF FACILITIES OF RADIOS ELECTRONIC OF AERODYNAMIC AIMS

G.V. Pevzov, A.Ja. Jacucenko, D.V. Karlov, A.I. Reznichenko

A variant of a complex for detection-functional destruction of radio-electronic facilities of aerodynamic targets developing using information from an active-passive (passive) multiposition radar in a long-range radar zone is considered.

Keywords: exposure of aims, measurings of co-ordinates, determinations of complete vector of speed of purpose, functional defeat of the systems of radios electronic of aerodynamic aims, barrier area of functional defeat.