

# РАДИОТЕХНИКА

УДК 621.396.96

## ПАСИВНО-АКТИВНИЙ МЕТОД СУПРОВОДЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ ЗІ ШТУЧНО ЗНИЖЕНОЮ ПЛОЩЕЮ ВІДДЗЕРКАЛЕННЯ

ГОЛЮПА С.В., САМОХВАЛОВ Ю.Я.

Запропоновано виявлення і супроводження повітряних цілей зі штучно зменшеною площею віддзеркалення на основі комплексного використання як активного, передавального каналу, який здатний формувати резонансний радіосигнал, так і пасивного каналу радіолокаційної станції, що здатний приймати сигнали збудження радіопоглинаючого покриття у відповідному частотному діапазоні. Реалізація даного методу дозволить істотно зменшити кількість помилкових траєкторій на етапах зав'язки трас і підвищити ефективність супроводження повітряних цілей зі штучно зниженою площею віддзеркалення.

**Ключові слова:** радіолокація, ефективна площа віддзеркалення, радіолокаційна станція, пасивно-активний метод, повітряна ціль.

**Key words:** radar, the effective area of reflection, radar station, passive-active method, air target.

**Актуальність теми.** Актуальність дослідження зумовлена такими причинами: динамічним розвитком авіаційної техніки, широким впровадженням провідними країнами – виробниками літальних апаратів технології штучного зниження ЕПВ (ефективною площею віддзеркалення), зростанням частки літальних апаратів зі штучно зниженою ЕПВ, які надходять в експлуатацію в останній час, зниженням можливостей існуючих РЛС (радіолокаційна станція) щодо радіолокації таких літальних апаратів, недостатньою реалізацією потенційних можливостей РЛС під час виявлення та супроводження повітряних цілей зі штучно зниженою ЕПВ [1]. Ситуація, яка склалася спонукала об'єктивне протиріччя у практиці застосування РЛС відносно локації літальних апаратів зі штучно зниженою ЕПВ. Зростаюча увага з боку керівництва держави, вчених, конструкторів щодо питань створення нових радіолокаційних засобів та модернізації існуючих РЛС, нові стратегічні концепції, що лежать в основі державних програм передових держав світу, стрімкий розвиток техніки, в першу чергу, авіаційної, підвищують вимоги до рівня можливостей РЛС. Значне зростання вимог до РЛС, які й надалі широко використовуються на практиці, необхідність підняття якісних і кількісних показників ефективності функціонування радіолокаційних систем до потрібного рівня, незорієнтованість РЛС на виявлення та супроводження повітряних цілей зі штучно зниженою ефективною площею віддзеркалення [2], необхідність модернізації існуючих та створення нових високоефек-

тивних радіотехнічних комплексів для потреби України, відсутність науково-методичного підходу до визначення напрямків підвищення ефективності радіолокації новітніх літальних апаратів, відсутність обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення ефективності радіолокації визначають напрям дослідження.

**Основна частина.** Одним із шляхів удосконалення процесу локації є розробка нових методів отримання та використання радіолокаційної інформації про повітряну ціль зі штучно зменшеною ЕПВ за допомогою використання ефекту резонансного збудження радіопоглинаючих покриттів. Виявлення і супроводження повітряних цілей зі штучно зменшеною площею віддзеркалення пропонується на основі комплексного використання як активного, передавального каналу, який здатний формувати резонансний радіосигнал, так і пасивного каналу РЛС, що здатний приймати сигнали збудження радіопоглинаючого покриття у відповідному частотному діапазоні. Для радіолокації повітряної цілі зі штучно зменшеною площею віддзеркалення пропонується новий метод, що ґрунтується на адаптації системи керування АХС (антенно-хвилевідна система) в умовах інформаційної невизначеності, яка спричиняється флюктуацією сигналу збудження радіопоглинаючого покриття повітряної цілі [3]. Пасивно-активним методом супроводження повітряних цілей пропонується називати такий метод, який дозволяє здійснювати пеленгацію цілей за сигналом резонансного збудження від радіопоглинаючого покриття в пасивному режимі на частоті обертопу внаслідок опромінення зондуючим сигналом активної РЛС. Зазначений метод базується на сумісному функціонуванні пасивних і активних радіолокаційних каналів РЛС супроводження [4-5].

Розглянемо систему виявлення повітряних цілей (ПЦ), в яку входять активний передавальний канал РЛС супроводження і пасивний – приймального типу.

При виявленні ПЦ РЛС супроводження вектор вимірів у момент часу  $t_i$  в сферичній системі координат буде мати вид

$$\theta_{\text{акт}} = \{r_{\text{рлс}}, \beta_{\text{рлс}}, \varepsilon_{\text{рлс}}\}^T,$$

із кореляційною матрицею помилок вимірів  $C_{\text{факт}}$ , і тому, що виміри незалежні, матриця  $C_{\text{факт}}$  буде діагональною:

$$C_{\text{факт}} = \begin{vmatrix} \sigma_{r_{\text{рлс}}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\beta_{\text{рлс}}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\varepsilon_{\text{рлс}}}^2 \end{vmatrix}.$$

Вектор вимірів пасивного каналу виявлення буде мати вид

$$\theta_{\text{пас}} = \{\beta_{\text{пас}}, \varepsilon_{\text{пас}}\}^T,$$

із кореляційною матрицею помилок вимірів  $C_{\theta_{\text{пас}}}$

$$C_{\theta_{\text{пас}}} = \begin{vmatrix} \sigma_{\beta_{\text{пас}}}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\varepsilon_{\text{пас}}}^2 \end{vmatrix}.$$

Спільне функціонування активно-пасивних каналів РЛС супроводження припускає необхідність вирішення задачі спільної фільтрації їхніх вимірів із метою підвищення точнісних характеристик і зменшення кількості помилкових траєкторій на етапах зав'язки і супроводу. Для рішення цієї задачі необхідно зробити ототожнення вимірів активно-пасивних засобів для ухвалення рішення – чи належать ці виміри одному чи різним динамічним об'єктам.

Дану задачу сформулюємо на базі критерію максимальної правдоподібності для складних гіпотез:

$$\ell = \frac{\max P(x/H_1)}{\max P(x/H_2)} \geq C(\alpha),$$

де  $\ell$  – відношення максимальної правдоподібності;  $P$  – функція правдоподібності приналежності вектора вимірів  $x$  при справедливості гіпотез  $H_1(H_2)$ ;  $H_1$  – гіпотеза того, що параметри вимірів, отримані активними і пасивними засобами, належать одному об'єкту;  $H_2$  – гіпотеза того, що параметри вимірів, отримані активними і пасивними засобами, належать різним об'єктам;  $C(\alpha)$  – поріг ухвалення рішення для заданої ймовірності  $\alpha$  правильного ухвалення рішення про ототожнення.

У загальному випадку пошук у відповідальному секторі контрольованого простору пасивним каналом може здійснюватися з періодом, який можна порівняти із періодом випромінювання активним каналом РЛС супроводження, а також і з меншим періодом огляду, тобто

$$\Delta T_{\text{РЛС}} \approx \Delta T_{\text{ПАС}} \vee \frac{\Delta T_{\text{РЛС}}}{\Delta T_{\text{ПАС}}} = n, \quad n > 1, \quad (1)$$

де  $\Delta T_{\text{РЛС}}, \Delta T_{\text{ПАС}}$  – періоди огляду.

Отже, можливі такі режими роботи активно-пасивних каналів:

– синхронний ( $\Delta T_{\text{РЛС}} = \Delta T_{\text{ПАС}}$ );

– асинхронний ( $\Delta T_{\text{РЛС}} \neq \Delta T_{\text{ПАС}}$ ).

Під час роботи активно-пасивних засобів у загальному випадку координати ПЦ, що вимірюються РЛС  $\{r_{\text{ірлс}}, \beta_{\text{ірлс}}, \varepsilon_{\text{ірлс}}\}$ , не збігаються з координатами ПЦ, що вимірюються пасивним каналом  $\{\beta_{\text{іпас}}, \varepsilon_{\text{іпас}}\}$  через помилки вимірів ( $C_{\theta_{\text{акт}}}, C_{\theta_{\text{пас}}}$ ).

Отже, при роботі активно-пасивних каналів у синхронному режимі буде деяка відстань між позначкою від цілі, заданої вектором вимірів РЛС  $\theta_{\text{акт}} = \{r_{\text{ірлс}}, \beta_{\text{ірлс}}, \varepsilon_{\text{ірлс}}\}^T$ , і прямою, заданою

променем напрямку на ціль. Позначимо цю відстань  $\Delta r$ .

Розглянемо роботу активно-пасивних каналів в асинхронному режимі у випадку супроводу РЛС ПЦ при  $\Delta T_{\text{РЛС}} > \Delta T_{\text{ПАС}}$ .

При цьому маємо:  $\Delta T_{\text{РЛС}} = (t_{\text{јрлс}} - t_{\text{ірлс}})$ , де  $t_{\text{јрлс}}$

відповідає моменту часу екстрапольованих параметрів траєкторії польоту ПЦ, які виміряні РЛС супроводження у момент часу  $t_1$ . Таким чином, будемо мати деяку кількість вимірів в інтервалі  $\Delta T_{\text{РЛС}}$ .

Отже, у цьому випадку будуть дві перехресні прямі, рівняння яких задані траєкторією польоту ПЦ, зумовленої двома сусідніми вимірами РЛС супроводження і променем напрямку на ціль. Відстань між ними позначимо  $\Delta r_k$ , де  $k$  змінюється в інтервалі  $(1 \div (\Delta T_{\text{РЛС}} / \Delta T_{\text{ПАС}}))$ , приймаючи менше значення виразу  $(\Delta T_{\text{РЛС}} / \Delta T_{\text{ПАС}})$ .

Відстані  $\Delta r, \Delta r_k$  приймемо за параметр ототожнення вимірів активно-пасивних засобів і визначимо як функцію

$$\Delta r = F(r_{\text{ірлс}}, \beta_{\text{ірлс}}, \varepsilon_{\text{ірлс}}, \beta_{\text{іпас}}, \varepsilon_{\text{іпас}}). \quad (2)$$

У прямокутній системі координат рівняння прямої, заданої променем напрямку, у координатній формі буде мати вид

$$\frac{x}{l} = \frac{y}{m} = \frac{z}{n}, \quad (3)$$

і у векторній формі

$$Rr = 0,$$

де  $R = (l, m, n)$  – направляючий вектор прямої;  $l, m, n$  – направляючі косинуси, що визначаються так

$$l = \cos \varepsilon_{\text{іпас}} \cos \beta_{\text{іпас}},$$

$$m = \cos \varepsilon_{\text{іпас}} \sin \beta_{\text{іпас}},$$

$$n = \sin \varepsilon_{\text{іпас}}.$$

Обмірювані РЛС супроводження у  $t_1$  момент часу координати  $(r_{\text{ірлс}}, \beta_{\text{ірлс}}, \varepsilon_{\text{ірлс}})$  ПЦ можуть бути перераховані в прямокутну систему координат за формулами

$$x_i = r_i \cos \varepsilon_i \sin \beta_i,$$

$$y_i = r_i \cos \varepsilon_i \cos \beta_i,$$

$$z_i = r_i \sin \varepsilon_i.$$

Під час роботи активно-пасивних засобів у синхронному режимі вираз (2) у координатній формі буде мати вид

$$\Delta r^2 = \frac{1}{l^2 + m^2 + n^2} \times$$

$$\times [(x_i m - y_i l)^2 + (y_i n - z_i m)^2 + (z_i l - x_i n)^2].$$

Під час роботи в асинхронному режимі є дві прямі, рівняння однієї з них задано променем напрямку на ціль (3), рівняння другої задано ви-

мірами РЛС супроводження в  $t_i$  і екстрапольованими на  $t_j$  моменту часу

$$\frac{x - x_i}{x_j - x_i} = \frac{y - y_i}{y_j - y_i} = \frac{z - z_i}{z_j - z_i},$$

у векторній формі

$$(r - r_i)(r_j - r_i) = 0,$$

де  $r_j = (x_j, y_j, z_j)$  – вектор вимірів РЛС супроводження, екстрапольованих на момент часу  $t_j$ ;

$R' = (r_j - r_i)$  – направляючий вектор прямої.

Під час роботи активно-пасивних каналів у цьому режимі, вираз (2) у векторній формі буде мати вид

$$\Delta r_k = \frac{|r_i R R'|}{|R R'|}.$$

Будемо вважати, що операція переносу помилок при перерахуванні сферичних координат у прямокутні і при екстраполяції параметрів траєкторії ПЦ на момент часу  $t_j$  одержання вимірів  $x_{j\text{нас}}$  є лінійною, і помилки первинних вимірів мають розподіл за нормальним законом.

Тоді вектор  $\Delta r$  за умови, що екстрапольований і вимірюваний вектори можуть належати одному об'єкту супроводження, розподілений за нормальним законом, із нульовим математичним очікуванням  $M(\Delta r) = 0$  і з дисперсією  $\sigma_{\Delta r}^2$ , що зумовлена помилками вимірів ( $C_{\text{факт}}, C_{\text{фнас}}$ ).

За умови, що вектори вимірів можуть належати різним об'єктам супроводження, вектор  $\Delta r$  розподілений за нормальним законом з математичним очікуванням  $M(\Delta r) \neq 0$  і з дисперсією  $\sigma_{\Delta r}^2$ , що зумовлена помилками вимірів ( $C_{\text{факт}}, C_{\text{фнас}}$ ).

Отже, задача ототожнення екстрапольованого  $\theta_{j\text{рлс}}$  й вимірюваного  $\theta_{i\text{рлс}}$  векторів зводиться до перевірки гіпотез:

- 1)  $H_1$ ;  $M(\Delta r) = 0$  проти складної гіпотези;
- 2)  $H_2$ ;  $M(\Delta r) \neq 0$  і записується у вигляді

$$\ell = \frac{\max P(\Delta r / M(\Delta r) = 0)}{\max P(\Delta r / M(\Delta r) \neq 0)} \geq C(\alpha). \quad (4)$$

Якщо  $\ell \geq C(\alpha)$ , то приймається гіпотеза  $H_1$ , у протилежному випадку приймається гіпотеза  $H_2$ .

Розглянемо рішення для двох режимів роботи активно-пасивних каналів РЛС супроводження. Під час роботи в синхронному режимі умовна щільність ймовірності розподілу параметра  $\Delta r$  має вигляд

$$P(\Delta r / M(\Delta r)) = \frac{1}{\sigma_{\Delta r} \sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(\Delta r - M(\Delta r))^2}{2\sigma_{\Delta r}^2}.$$

Очевидно, що  $\max$  значень виразу (1) досягається: при  $\Delta r = M(\Delta r)$  (справедливість гіпотези  $H_2$ ) і дорівнює

$$\max_{M(\Delta r)} P(\Delta r / M(\Delta r) \neq 0) = \frac{1}{\sigma_{\Delta r} \sqrt{2\pi}},$$

при  $M(\Delta r) = 0$  (справедливість гіпотези  $H_1$ ) і дорівнює

$$\max_{M(\Delta r)} P(\Delta r / M(\Delta r) = 0) = \frac{1}{\sigma_{\Delta r} \sqrt{2\pi}} \exp \frac{-\Delta r^2}{2\sigma_{\Delta r}^2}. \quad (5)$$

Після логарифмування виразу (4) одержимо

$$\ln \ell = \frac{(\Delta r - M(\Delta r))^2}{\sigma_{\Delta r}^2} \leq 2 \ln C(\alpha) = C_1(\alpha). \quad (6)$$

Таким чином, рішення задачі ототожнення параметрів вимірів різних засобів зводиться до перевірки умови (6).

Поріг  $C_1(\alpha)$  знаходиться з виразу

$$\int_{C_1(\alpha)}^{\infty} P(\ln \ell / H_1) d \ln \ell = \alpha,$$

де  $P$  – щільність розподілу ймовірностей відношення правдоподібності при справедливості гіпотези  $H_1$ ;  $\alpha$  – задане значення ймовірності правильного ухвалення рішення.

Випадкова величина  $P(\ln \ell / H_1)$  розподілена за центральним законом  $\chi^2$  з двома ступенями свободи.

Отже, поріг ухвалення рішення може бути знайдений із виразу [5,6]:

$$\int_{\chi_{\text{пор}}^2}^{\infty} \frac{1}{4\Gamma} \exp \frac{-\Delta r^2}{2\sigma_{\Delta r}^2} d \left( \frac{\Delta r^2}{\sigma_{\Delta r}^2} \right) = \alpha,$$

де  $\Gamma$  – гама-розподіл.

Випадкова величина  $P(\ln \ell / H_2)$  розподілена за нецентральним законом  $\chi^2$  з двома ступенями свободи і параметром нецентральності  $M(\Delta r)$ , де  $M(\Delta r)$  вибирається з характеристик мінімальної відстані між повітряними цілями, що рухаються. Тому ймовірність помилкового ухвалення рішення може бути знайдена з виразу

$$\int_0^{\chi_{\text{пор}}^2} P(\ln \ell / H_2) d \ln \ell = F_{\text{лт}}.$$

Розподіл  $\chi^2$  табульовано і при заданому значенні ймовірності правильного ухвалення рішення може бути визначене чисельне значення вагового коефіцієнта порогу ухвалення рішення.

Таким чином, на підставі виразу (6) запишемо вирішальне правило для ототожнення параметрів вимірів супроводження активно-пасивними каналами РЛС супроводження під час роботи в синхронному режимі:

$$Z_1 = \frac{(\Delta r - M(\Delta r))^2}{\sigma_{\Delta r}^2} \leq C_1(\alpha).$$

Рішення про належність параметрів вимірів активно-пасивних каналів однієї ПЦ за даними чергового циклу огляду приймається, якщо значення  $Z_1$  перевищує заданий поріг  $C_1(\alpha)$ .

При роботі активно-пасивних каналів в асинхронному режимі умовна щільність ймовірності розподілу параметра  $\Delta r_k$  в інтервалі  $(1 \div (\Delta T_{\text{рлс}} / \Delta T_{\text{пас}}))$  має вид

$$P(\Delta r_k / M(\Delta r_k)) = \prod_{k=1}^{(\Delta T_{\text{рлс}} / \Delta T_{\text{пас}})} \frac{1}{\sigma_{\Delta r} \sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(\Delta r_k - M(\Delta r_k))^2}{2\sigma_{\Delta r}^2}.$$

Під час роботи активно-пасивних засобів у цьому режимі рішення задачі ототожнення параметрів вимірів зводиться до перевірки гіпотези  $H_1(M(\Delta r_k) = 0)$  проти складної гіпотези  $H_2(M(\Delta r_k) \neq 0)$  і записується у вигляді

$$I_1 = \frac{\max \prod_{k=1}^{(\Delta T_{\text{рлс}} / \Delta T_{\text{пас}})} P(\Delta r_k / M(\Delta r_k) = 0)}{\max \prod_{k=1}^{(\Delta T_{\text{рлс}} / \Delta T_{\text{пас}})} P(\Delta r_k / M(\Delta r_k) \neq 0)} C_2(\alpha). \quad (7)$$

Після логарифмування виразу (7) одержимо

$$\ln \ell_1 = \sum_{k=1}^{(\Delta T_{\text{рлс}} / \Delta T_{\text{пас}})} \frac{(\Delta r_k - M(\Delta r_k))^2}{\sigma_{\Delta r}^2} \leq 2 \ln C(\alpha) = C_2(\alpha). \quad (8)$$

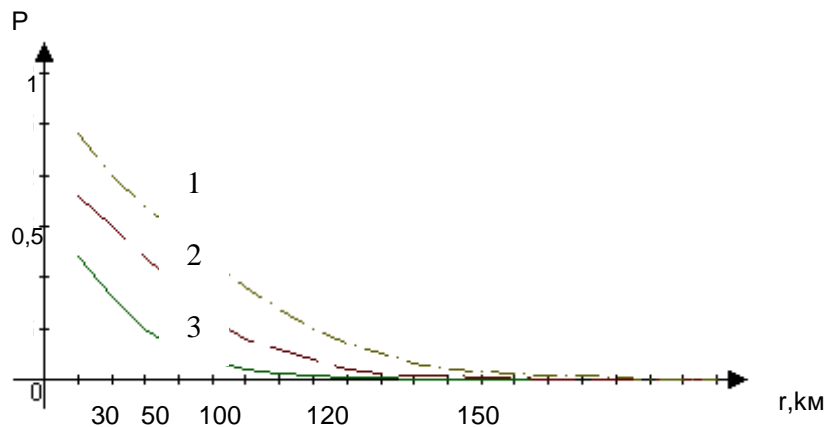
Рішенням задачі ототожнення параметрів вимірів є перевірка умови (8).

Випадкова величина  $\sum_{k=1}^{(\Delta T_{\text{рлс}} / \Delta T_{\text{пас}})} (\ln \ell_1 / H_2)$  розподілена за нецентральним законом  $\chi^2$  із  $(k+1)$  ступенями свободи і параметром нецентральності  $M(\Delta r_k)$ , а випадкова величина  $\sum_{k=1}^{(\Delta T_{\text{рлс}} / \Delta T_{\text{пас}})} (\ln \ell_1 / H_1)$  розподілена за центральним законом  $\chi^2$  із  $(k+1)$  ступенями свободи.

Ваговий коефіцієнт порогу ухвалення рішення визначається за методом, аналогічним раніше описаному, для випадку із  $(k+1)$  ступенями свободи.

Вирішальне правило для ототожнення параметрів вимірів активно-пасивних каналів РЛС супроводження, при їхній роботі в асинхронному режимі, буде мати вигляд

$$Z_2 = \sum_{k=1}^{(\Delta T_{\text{рлс}} / \Delta T_{\text{пас}})} \frac{(\Delta r_k - M(\Delta r_k))^2}{\sigma_{\Delta r}^2} \leq C_2(\alpha).$$



Графік розподілу ймовірності взяття на супроводження залежно від помилкового ухвалення рішення про виявлення повітряної цілі зі зниженою ЕПВ: 1 – розподіл ймовірності взяття на супроводження при ймовірності виявлення повітряної цілі  $p = 0,7$ ; 2 – розподіл ймовірності взяття на супроводження при ймовірності виявлення повітряної цілі  $p = 0,8$ ; 3 – розподіл ймовірності взяття на супроводження при ймовірності виявлення повітряної цілі  $p = 0,9$

Рішення про належність параметрів вимірів у результаті опрацювання даних циклу  $\Delta T_{\text{рлс}}$  і декількох  $\Delta T_{\text{пас}}$  приймається, якщо при деякому  $k$  значення  $Z_2$  перевищує заданий поріг  $C_2(\alpha)$ .

Для оцінки якості запропонованого методу ототожнення на рисунку подана залежність  $P = f(\Delta r)$  ймовірності помилкового рішення супроводження траси цілі від значення параметра нецентральності при фіксованому значенні ймовірності правильного рішення  $P = \text{const}$ . Дані залежності побудовані відповідно до наведених в [6] табульованих значень функції  $\chi^2$ .

З аналізу наведених залежностей можливо стверджувати, що при ефективній площі віддзеркалення динамічних літальних апаратів в діапазоні від  $[0,015 \div 0,025] \text{ м}^2$  і при ймовірності ухвалення рішення правильного ототожнення вимірів  $P = 0,9$  ймовірність помилкового рішення не перевищує значення  $0,1$ .

Таким чином, реалізація даного методу ототожнення вимірів РЛС супроводження і пасивних засобів дозволить істотно зменшити кількість помилкових траєкторій на етапах зав'язки трас і супроводження повітряних цілей зі штучно зниженою площею віддзеркалення.

**Література:** 1. Барабаш Ю.Л. Проблемы радиолокационного распознавания и возможные пути их решения / Ю.Л. Барабаш. К.: 1984. 369 с. 2. Востриков А.К. Радиолокационные станции сопровождения цели и визирования / А.К. Востриков, А.Н. Райкин. К.: КВЗРИУ, 1984. 84 с. 3. Пархомей І.Р., Толюпа С.В., В.А. Дружинін, Наконечний В.С. Резонансні методи отримання і використання інформації в радіотехнології // Монографія. К. Логос, 2013. 146 с. 4. Толюпа

С.В., Дружинін В.А., Наконечний В.С. Методи та алгоритми обробки та захисту радіолокаційної інформації у багатопозиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією // Монографія. К. Логос, 2014. 251 с. 5. Толупа С.В., Дружинін В.А., Наконечний В.С. Ефективність радіолокації при використанні технології штучного зниження ефективної поверхні випромінювання літальних апаратів // Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2014. №1. С. 62-69. 6. Дорохов А.П. Расчет и конструирование антенно-фидерных устройств / А.П. Дорохов. Х.: ХГУ, 1980. 284 с.

**Transliterated bibliography:**

1. *Barabash Ju.L.* Problemy radiolokacionnogo raspoznavaniya i vozmozhnye puti ih resheniya / Ju.L. Barabash. K.: 1984. 369 s.
2. *Vostrikov A.K.* Radiolokacionnye stancii so-provozhdeniya celi i vizirovaniya. / A.K. Vostrikov, A.N. Raikin K.: KVZRIU, 1984. 84 s.
3. *Parhomej I.R., Toljupa S.V., V.A. Druzhinin, Nakonechnij V.S.* Rezonansni metodi otrimannja i vikoristannja informacii v radiotehnologii // Monografija. K. Logos, 2013. 146 s.
4. *Tolyupa S.V., Druzhinin V.A., Nakonechniy V.S.* Metodi ta algoritmi obrobki ta zahistu radiolokatsiynoi informatsiyi u bagatopozitsiynih sistemah zi zminnoyu prostorovoyu konfiguratsiyeu // Monografiya. K. Logos, 2014. 251 s.
5. *Tolyupa S.V., Druzhinin V.A., Nakonechniy V.S.* Efektivnist radiolokatsiyi pri vikoristanni tehnologiyi shtuchnogo znizhennya effektivnoyi poverhni viprominyuvannya litalnih aparativ // Telekomunikatsiyni ta informatsiyni tehnologiyi. 2014. №1. S. 62-69.
6. *Dorohov A.P.* Raschet i konstruirovaniye antenno-fidernyh ustrojstv / A.P. Dorohov. H.: HGU, 1980. 284 s.

Надійшла до редколегії 11.05.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Бараннік В.В.

**Толупа Сергій Васильович**, д-р техн. наук, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації факультету інформаційних технологій Київського національного університету ім. Т. Шевченка. Наукові інтереси: інтелектуальні системи управління, напрямки підвищення ефективності функціонування інформаційних систем та мереж, системи технічного захисту інформації, кібербезпека та кіберзахист, обробка та захист радіолокаційної інформації. Адреса: Україна, 01033, Київ, вул. Володимирська, 60, e-mail: [tolupa@i.ua](mailto:tolupa@i.ua)

**Самохвалов Юрій Якович**, д-р техн. наук, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації факультету інформаційних технологій Київського національного університету ім. Т. Шевченка. Наукові інтереси: теорія і практика побудови інтелектуальних систем, нечіткі алгоритми управління, логіко-лінгвістичне моделювання у кіберпросторі та теорія і практика проектування автоматизованих систем та проведення експертиз. Адреса: Україна, 01033, Київ, вул. Володимирська, 60, e-mail: [yu1953@ukr.net](mailto:yu1953@ukr.net)

**Tolyupa Sergey Vasilievich**, Dr. of Sc., Professor, Department of Cybersecurity and Information Protection at Faculty of Information Technologies, Kyiv National University named after T. Shevchenko. Scientific interests: intellectual control systems, directions for improving the operation of information systems and networks, systems of technical protection of information, cyber security and cyber defense, processing and protection of radar information. Address: Ukraine, 01033, Kyiv, Vladimirska Str., 60, e-mail: [to-lupa@i.ua](mailto:to-lupa@i.ua)

**Samokhvalov Yuriy Yakovlevich**, Dr. of Sc., Professor, Department of Cybersecurity and Information Protection at Faculty of Information Technologies, Kyiv National University. T. Shevchenko. Research interests: the theory and practice of building intelligent systems, fuzzy control algorithms, logic-linguistic modeling in cyberspace, and the theory and practice of designing automated systems and conducting expert assessments. Address: Ukraine, 01033, Kyiv, Vladimirska Str., 60, e-mail: [yu1953@ukr.net](mailto:yu1953@ukr.net)