

УДК 621.396.97

М.І. Рожков, Д.М. Запара, В.В. Воїнов, С.О. Ніколаєнко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ БЛИЖНЬОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ САМОНАВІДНИХ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ

В статті введений кількісний показник ефективності систем ближньої радіолокації, які використовуються в існуючих самонавідних зенітних керованих ракетах, що дозволяє оцінити їх ефективність. Проведено аналіз ефективності систем ближньої радіолокації в залежності від умов повітряної обстановки (кута зустрічі ракети з ціллю). На підставі цього зроблений висновок, що при проектуванні систем ближньої радіолокації перспективних зенітних керованих ракет необхідно урахувувати вплив кута зустрічі ракети з ціллю на ефективність таких систем.

**Ключові слова:** зенітна керована ракета, неконтактний підливний пристрій.

### Вступ

Специфічні проблеми систем ближньої радіолокації. До систем ближньої радіолокації (СБР) можна віднести радіолокаційні неконтактні підливний пристрій (НПП).

При стрільбі по повітряним (аеродинамічним) цілям, в силу відомих причин, безпосереднє зіткнення порівняно невеликих об'єктів, зенітної керованої ракети (ЗКР) і цілі, що рухаються з великими швидкостями малоймовірно. Завдання, забезпечити ураження цілі, покладається на бойове спорядження ЗКР, а саме: на неконтактний підливний пристрій (НПП) і бойову частину (БЧ). НПП повинен видати команду на підлив БЧ в такій точці простору і в такій момент часу, коли ймовірність ураження цілі однією ракетою ( $P_1$ ) буде найбільшою.

Геометричне місце умовних центрів цілей відносно ракети в момент спрацювання НПП, називається областю спрацювання (ОС) НПП [1].

Оскільки видача команди відбувається з неминучими помилками, залежними, як від умов зустрічі ракети і цілі, так і від випадкових факторів, що

впливають на роботу НПП, то розмір і положення області спрацювання НПП в просторі матиме випадковий характер. Положення області спрацювання НПП в просторі характеризується величиною кута спрацювання  $\bar{\theta}_{\text{НПП}}$  між бісектрисою області спрацювання (БОС) і вектором відносної швидкості ракети і цілі  $\bar{V}_{\text{відн}}$  ( $\bar{V}_{\text{відн}} = \bar{V}_p - \bar{V}_c$ ) (рис. 1).

Бойова частина, осколково-фугасної дії, характеризується масою, кількістю уламків, швидкістю  $\bar{V}_{\text{відн}}$  і статичним кутом розльоту уламків  $\alpha_{\text{ст}}$ . При підлив БЧ утворюється область розльоту уламків.

Область розльоту уламків, в кожній точці якої можливе ураження цілі з необхідною ймовірністю, називається областю ураження (ОУ) [2]. Розміри і положення ОУ в просторі визначаються  $\alpha_{\text{ст}}$ ,  $V_{\text{оск}}$  і  $\bar{V}_{\text{відн}}$ , і характеризується величиною кута  $\bar{\theta}_{\text{БЧ}}$  між бісектрисою області ураження (БОУ) і вектором  $\bar{V}_{\text{відн}}$  (рис. 1) Очевидно, що для виконання завдання стрільби, команда на підлив БЧ має бути видана в момент, коли ціль з'явиться в зоні ураження, таким

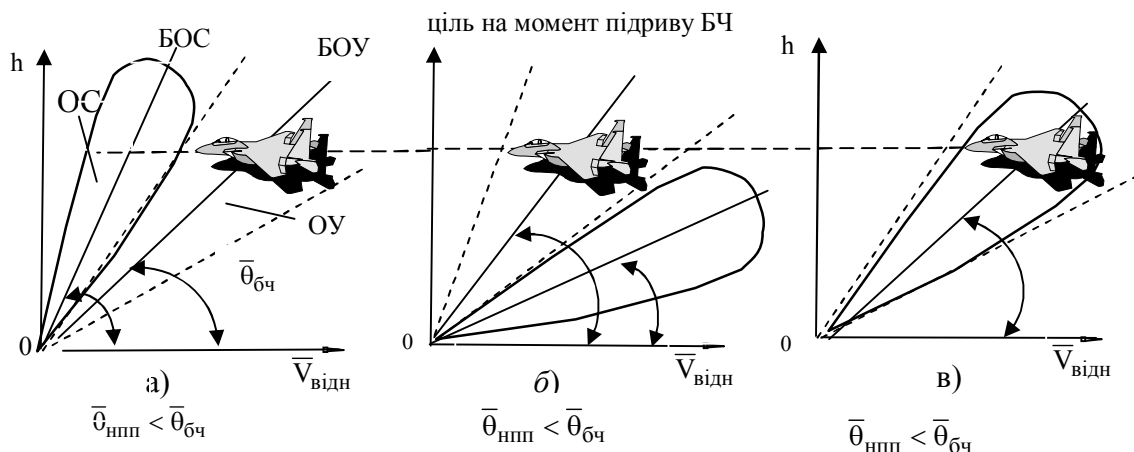


Рис. 1. Узгодження області спрацювання НПП з областю ураження БЧ

чином коли  $\bar{\theta}_{\text{нпп}} = \bar{\theta}_{\text{бч}}$  (за умови, що час проходження команди на підриг БЧ близький до нуля). У такому випадку говорять про узгодження області спрацювання НПП з областю ураження БЧ, або про узгодження НПП і БЧ (рис. 1в). При неузгодженості НПП і БЧ (рис. 1а,б), знижується ймовірність ураження цілі однією ракетою і, як наслідок, ефективність стрільби в цілому. Отже, від систем ближньої радіолокації потрібно таке рішення просторово-часової задачі взаємодії об'єктів (ракети і цілі), при якому ймовірність виконання поставленого завдання буде найбільшою. Виконання цієї вимоги становить зміст проблеми ефективності систем ближньої радіолокації, а ступінь його виконання повинна бути покладена в основу кількісної оцінки ефективності.

**Метою статті** є розробка кількісного показника ефективності радіолокаційних напівактивних неконтактних підригних пристроїв, що використовуються в існуючих зенітних керованих ракетах з самонаведенням та аналіз їх ефективності.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Кількісний показник ефективності систем ближньої радіолокації.

У загальному випадку ймовірність ураження цілі однією ракетою залежить від координат  $X, Y, Z$  ракети щодо цілі в момент видачі НПП команди на підриг БЧ, що переміщується зі швидкістю  $\bar{V}_{\text{відн}}$  (рис. 2) і визначається за відомою формулою [3]

$$P_1 = \iiint_D f(X, Y, Z) G(X, Y, Z) dx dy dz, \quad (1)$$

де  $OX, Y, Z$  – прямокутна система координат з початком в умовному центрі цілі;  $f(X, Y, Z)$  – щільність ймовірності видачі команди НПП в області спрацювання  $D$ ;  $D(X, Y, Z)$  – координатний закон ураження цілі;  $D$  – область спрацювання НПП. Рішення завдання ураження цілі здійснюється у два типових функціональних етапи: на першому з них здійснюється наведення і самонаведення, на другому, завершальному етапі – видача виконавчої команди НПП.

Якщо вісь  $OX$  направити за вектором  $\bar{V}_{\text{відн}}$ , а вісі  $OY$  та  $OZ$  розташувати в перпендикулярній площині (рис. 2), то тривимірний розподіл  $f(X, Y, Z)$  можна представити у вигляді

$$f(X, Y, Z) = f_1(Y, Z) f_2(X/Y, Z)$$

де,  $f_1(Y, Z)$  – щільність ймовірності проходження відносної траєкторії через точку з координатами  $(Y, Z)$  в площині  $YOZ$ ;  $f_2(X/Y, Z)$  – умовна щільність ймовірності спрацювання НПП в точці  $X$  за умови, якщо траєкторія польоту ЗКР пройшла через точку з координатами  $(Y, Z)$ .

Тоді вираз (1) може бути записано у вигляді:

$$P_1 = \iiint_D f_1(Y, Z) f_2(X/Y, Z) G(X, Y, Z) dx dy dz. \quad (2)$$

Зручність виразу  $P_1$  у вигляді (2) полягає в тому, що в ньому характеристики НПП відображаються єдиним співмножником  $f_2(X/Y, Z)$  та містять статистичний опис області спрацювання.

Враховуючи, що координати  $(Y, Z)$  помилок наведення характеризують промах, можна перейти до циліндричної системи координат  $(h, \beta, \theta)$  [4] (рис. 2).

Будемо вважати, що функція  $G(X, Y, Z)$  приймає два значення:  $G(X, Y, Z) = G$ , якщо команда на підриг БЧ відбулася в межах області ураження і  $G(X, Y, Z) = 0$  – в іншому випадку. Тоді:

$$P_1 = \int_0^{h_{\text{макс}}} \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} G(h, 0) f_1(h) J dh d\beta d\theta,$$

$$\left| \frac{dx}{dh}, \frac{dx}{d\beta}, \frac{dx}{d\theta} \right|$$

де  $J = \left| \frac{dy}{dh}, \frac{dy}{d\beta}, \frac{dy}{d\theta} \right|$  – якобіан перетворення;

$$\left| \frac{dz}{dh}, \frac{dz}{d\beta}, \frac{dz}{d\theta} \right|$$

$h_{\text{макс}}$  – максимальний промах при якому ще спрацює НПП;  $0-2\pi$  – межі діапазону можливих кутів спрацювання НПП в горизонтальній площині;  $\theta_1$  та  $\theta_2$  – межі діапазону можливих кутів спрацювання НПП в вертикальній площині.

У відповідності з рис. 2 знаходимо  $X = h \operatorname{ctg} \theta$ ,  $Y = h \sin \beta$ ,  $Z = h \cos \beta$ , тоді

$$P_1 = \int_0^{h_{\text{макс}}} \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} G(h, 0) f_1(h) f_2(\theta/h, \beta) \frac{h^2}{\sin^2 \theta} dh d\beta d\theta; \quad (3)$$

Для вхідних в підінтегральний вираз функцій (3) справедливі такі апроксимації [2]:

$$f_1(h) = \frac{1}{2\pi} \sigma_h^2 \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_h^2}\right\};$$

$$f_2(\theta/h, \beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_{\theta_{\text{нпп}}}^2 \exp\left\{-\frac{(\theta - \bar{\theta}_{\text{нпп}})^2}{2\sigma_{\theta_{\text{нпп}}}^2}\right\};$$

де  $\sigma_h^2$  – дисперсія промахів;  $\sigma_{\theta_{\text{нпп}}}^2$  – дисперсія розкиду кутів спрацювання НПП;

Координатний закон ураження цілі залежить від характеристик БЧ і уразливості цілі. Якщо вважати, що апроксимуючою функцією  $G(h, \theta)$  є

$$G(h, \theta) = \exp\left\{-\frac{h^2}{2R_0^2}\right\} \exp\left\{-\frac{(\theta - \bar{\theta}_{\text{бч}})^2}{2\sigma_{\theta_{\text{бч}}}^2}\right\},$$

де  $R_0$  – параметр, що має розмір промаху;  $\sigma_{\theta_{\text{бч}}}$  – дисперсія розкиду кутів розльоту осколків.

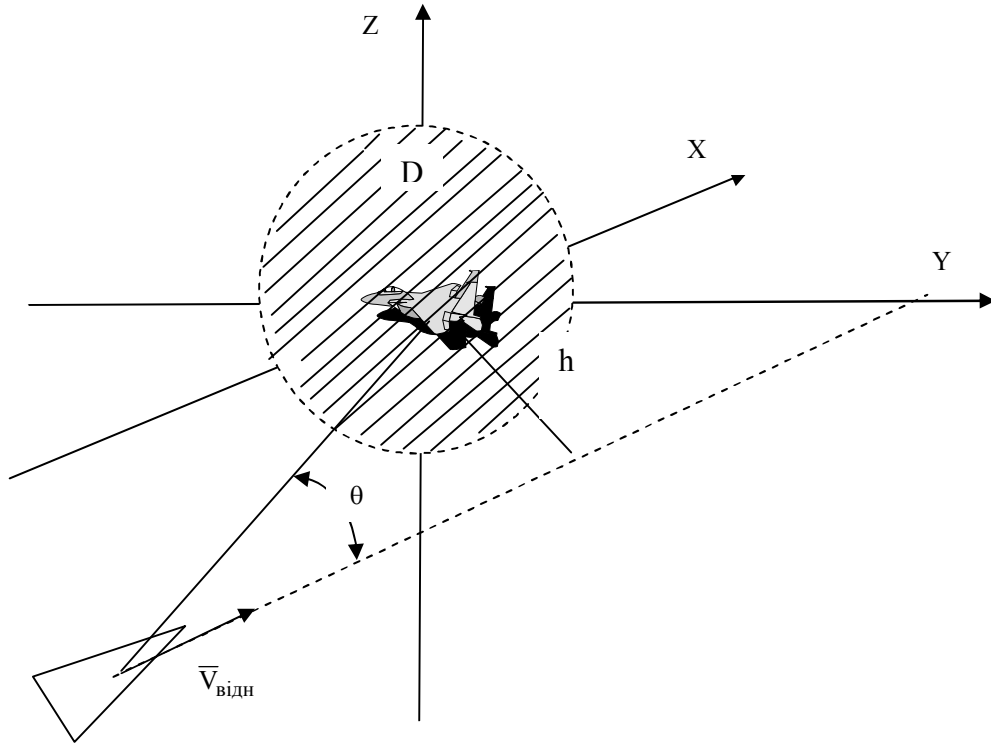


Рис. 2. Визначення кількісного показника ефективності СБРЛ

Тоді отримаємо:

$$P_1 = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^3} \sigma_h^2 \sigma_{\text{НПП}}^2} \int_0^{h_{\max}} h^2 \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_h^2}\right\} \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_0^2}\right\} dh \times \int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp\left\{-\frac{(\theta - \bar{\theta}_{\text{БЧ}})^2}{2\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2}\right\} \exp\left\{-\frac{(\theta - \bar{\theta}_{\text{НПП}})^2}{2\sigma_{\theta_{\text{НПП}}}^2}\right\} \frac{d\theta}{\sin^2 \theta} \quad (4)$$

Величина  $P_1$  (4) може слугувати кількісною мірою ефективності СБРЛ. Однак її обчислення вимагає знання досить точних вихідних даних всіх факторів, що визначають величину  $P_1$ . Крім того, внаслідок залежності  $P_1$  від факторів не пов'язаних безпосередньо з СБРЛ, сама величина недостатньо критична щодо параметрів і характеристик власне СБРЛ.

Аналіз отриманого виразу (3) показує, що у вибраній системі управління ЗКР, з даною БЧ,  $P_1$  залежить від ступеня узгодження НПП і БЧ. Тому в якості

$$P_1 = P_{1\max} = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^3} \sigma_h^2 \sigma_{\text{БЧ}}^2} \int_0^{h_{\max}} h^2 \exp\left\{-\frac{h^2}{2\sigma_h^2}\right\} \exp\left\{-\frac{h^2}{2R_0^2}\right\} dh \times \int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp\left\{-\frac{(\theta - \bar{\theta}_{\text{БЧ}})^2}{2\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2}\right\} \exp\left\{-\frac{(\theta - \bar{\theta}_{\text{НПП}})^2}{2\sigma_{\theta_{\text{НПП}}}^2}\right\} \frac{d\theta}{\sin^2 \theta} \quad (5)$$

$$\text{Тому } K_{\text{еф}} = \frac{P_1}{P_{1\max}} = \frac{\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2}{\sigma_{\theta_{\text{НПП}}}^2} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp\left\{-\frac{(\theta - \bar{\theta}_{\text{БЧ}})^2}{2\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2}\right\} \exp\left\{-\frac{(\theta - \bar{\theta}_{\text{НПП}})^2}{2\sigma_{\theta_{\text{НПП}}}^2}\right\} \frac{d\theta}{\sin^2 \theta} \bigg/ \int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp\left\{-\frac{(\theta - \bar{\theta}_{\text{БЧ}})^2}{2\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2}\right\} \frac{d\theta}{\sin^2 \theta} \quad (6)$$

Враховуючи, що систематична помилка відхилення бісектриси області спрацювання НПП від бісектриси області поразки БЧ дорівнює

показника ефективності СБРЛ  $K_{\text{еф}}$  (коефіцієнт ефективності) можна вибрати відношення  $P_1$  з реальним ступенем узгодження НПП і БЧ до максимально можливого її значення, у разі, коли НПП і БЧ узгоджені ідеально. Ступінь узгодження НПП і БЧ характеризується величинами помилок неузгодженості параметрів:

$$\Delta\bar{\theta} = \bar{\theta}_{\text{БЧ}} - \bar{\theta}_{\text{НПП}}, \quad \Delta\sigma^2 = \sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2 - \sigma_{\theta_{\text{НПП}}}^2,$$

а при  $\Delta\bar{\theta} = 0$  і  $\Delta\sigma^2 = 0$  узгодження НПП і БЧ буде ідеальне. При виконанні цієї умови

$\Delta\bar{\theta} = \theta_{\text{НПП}} - \bar{\theta}_{\text{БЧ}}$ , а випадкова помилка

$\sigma_{\theta_{\text{НПП}}}^2 = m\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2$ , вираз (6) можна привести до вигляду:

$$K_{\text{еф}} = \frac{1}{\sqrt{m}} \exp\left\{\frac{(m-1)\bar{\theta}_{\text{БЧ}} + \Delta\bar{\theta}(2\bar{\theta}_{\text{БЧ}} - \Delta\bar{\theta})}{2m\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}\right\} \frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp\left\{-\frac{m+1}{2m\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2} \left[\theta^2 - 2\left(\bar{\theta}_{\text{БЧ}} + \frac{\Delta\bar{\theta}}{m+1}\right)\theta\right]\right\} \frac{d\theta}{\sin^2 \theta}}{\int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp\left\{-\frac{1}{\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2} (\theta^2 - 2\bar{\theta}_{\text{БЧ}}\theta)\right\} \frac{d\theta}{\sin^2 \theta}} \quad (7)$$

При  $\Delta\bar{\theta} = 0$  вираз (7) приймає вигляд:

$$K_{\text{еф}} = \frac{1}{\sqrt{m}} \exp\left\{-\frac{(m-1)^2 \bar{\theta}_{\text{БЧ}}}{2m\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2}\right\} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp\left\{-\frac{m+1}{2m\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2} [\theta^2 - 2\bar{\theta}_{\text{БЧ}}\theta]\right\} \frac{d\theta}{\sin^2 \theta} \bigg/ \int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp\left\{-\frac{1}{\sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2} (\theta^2 - 2\bar{\theta}_{\text{БЧ}}\theta)\right\} \frac{d\theta}{\sin^2 \theta} \cdot (8)$$

При ідеальному узгодженні області спрацювання НПП і області ураження БЧ

$$\sigma_{\theta_{\text{НПП}}}^2 = \sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2,$$

а отже  $m = 1$ , згідно з виразом (8)  $K_{\text{еф}} = 1$ .

На рис. 3 приведений графік  $K_{\text{еф}} = f(\Delta\bar{\theta}, m)$ ,

де  $\Delta\bar{\theta} = \bar{\theta}_{\text{НПП}} - \bar{\theta}_{\text{БЧ}}$ ,  $m = \sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2 / \sigma_{\theta_{\text{НПП}}}^2$ .

Таким чином, при заданих характеристиках БЧ  $(\bar{\theta}_{\text{БЧ}}, \sigma_{\theta_{\text{БЧ}}}^2)$ , для аналізу ефективності СБРЛ необхідно знати розмір і положення в просторі області спрацювання НПП  $(\bar{\theta}_{\text{НПП}}, \sigma_{\theta_{\text{НПП}}}^2)$ .

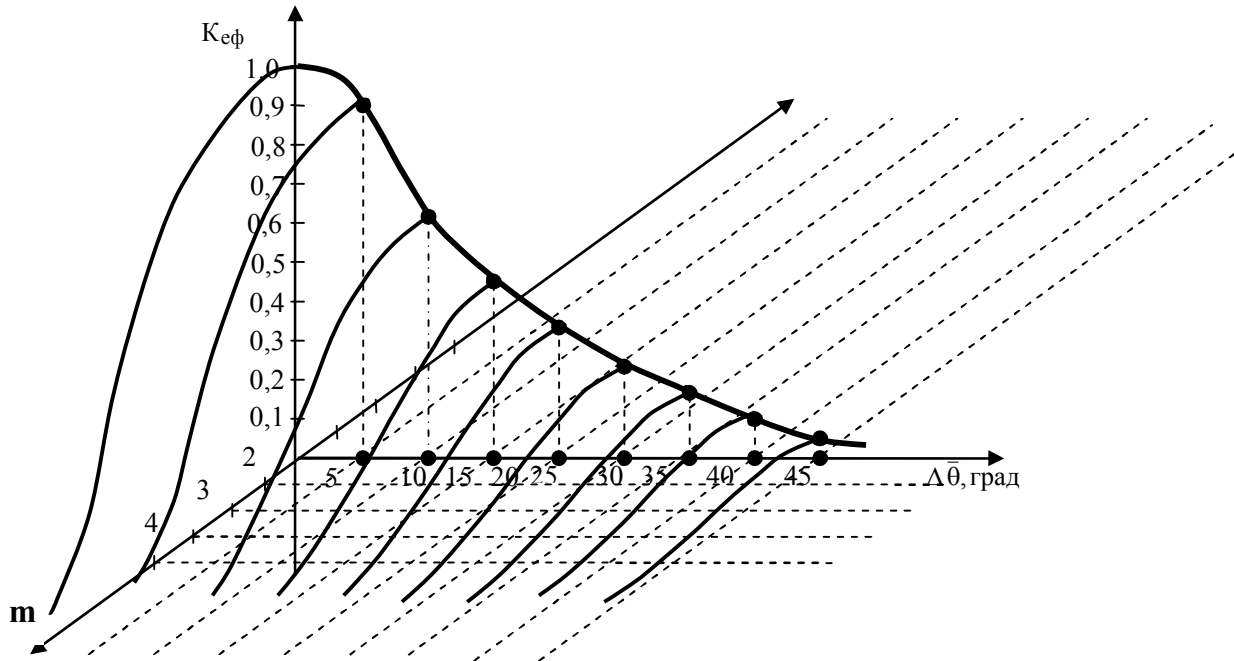


Рис. 3. Залежність коефіцієнта ефективності від узгодженості НПП та БЧ

### Аналіз ефективності систем ближньої радіолокації самонавідних ЗКР

Проведено аналіз ефективності роботи напівактивних радіолокаційних неконтактних підричних пристроїв (НПП), які реалізують фазовий і частотний методи пеленгації [1]. Такі НПП є бортовими пеленгаторами, що вимірюють кут  $\bar{\theta}$  між вектором  $\bar{V}_{\text{відн}}$  і лінією ракета-ціль та, в момент, коли величина кута  $\bar{\theta}_{\text{НПП}}$  дорівнює величині  $\bar{\theta}_{\text{БЧ}}$  видають команду на підрич БЧ.

Величина кута  $\bar{\theta}_{\text{БЧ}}$  розраховується в бортовому обчислювальному пристрої ЗКР до старту по відомим величинам  $\bar{V}_{\text{відн}}$  і  $\bar{V}_{\text{оск}}$ , згідно з виразом

$$\bar{\theta}_{\text{БЧ}} = \arccos \frac{1}{\sqrt{1 + (V_{\text{оск}}/V_{\text{відн}})^2}}, \text{ і вводитьься в НПП.}$$

При частотному методі пеленгації кут в НПП визначається шляхом вимірювання різниці доплерівських частот

$$\Delta F_{\text{Д}} = F_{\text{Д}\infty} - F_{\text{Дпот}},$$

де  $F_{\text{Д}\infty} = \frac{V_{\text{відн}}}{\lambda} \cos \theta_0 + \frac{V_{\text{ц}}}{\lambda} \cos \gamma$  – значення частоти Доплера, що вимірюється на борту ракети, в момент зриву супроводу цілі апаратурою наведення (відповідає моменту видачі команди ввімкнення НПП);

$F_{\text{Дпот}} = \frac{V_{\text{відн}}}{\lambda} \cos(\theta + \theta_0) + \frac{V_{\text{ц}}}{\lambda} \cos \gamma$  – поточне значення частоти Доплера, що вимірюється на борту ракети, після зриву самонаведення на ціль;  $\theta_0$  – значення кута  $\theta$  в момент зриву супроводу цілі;  $\lambda$  – довжина хвилі передавача наземної РЛС підсвіту;  $\gamma$  – кут між вектором  $\bar{V}_{\text{ц}}$  та вектором  $\bar{V}_{\text{відн}}$  (рис. 4).

Тоді  $\Delta F_{\text{Д}} = \frac{V_{\text{відн}}}{\lambda} [\cos \theta_0 - \cos(\theta + \theta_0)]$ , а значення різниці частот, при якій необхідно видати команду на підрич БЧ відповідно:

$$\Delta F_{\text{ДНПП}} = \frac{V_{\text{відн}}}{\lambda} (\cos \theta_0 - \cos \bar{\theta}_{\text{БЧ}}). \quad (9)$$

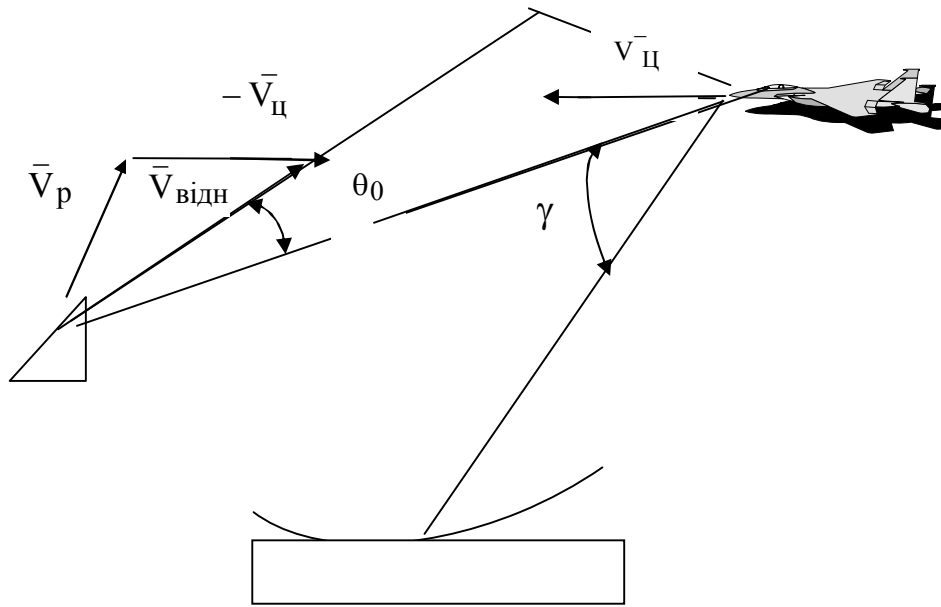


Рис. 4. Геометрія зустрічі ракети і цілі

Інформація про  $\Delta F_{Днпп}$  вводиться в НПП шляхом налаштування виконавчого фільтра приймача НПП на частоту  $\Delta F_{Днпп} = \frac{V_{відн}}{\lambda} (1 - \cos \bar{\theta}_{БЧ})$  до старту ЗКР. Тоді помилка неузгодженості НПП і БЧ пропорційна частоті  $\Delta F_{Днпп} = \frac{V_{відн}}{\lambda} (\cos \theta_0 - 1)$ .

При фазовому методі пеленгації напруга на виході фазового детектора фазового каналу НПУ змінюється за законом

$$U_{фд} = K_{фд} U_1 U_2 \sin \Delta \varphi_c, \quad (10)$$

де  $\Delta \varphi_c = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi d}{\lambda} [1 - \cos(\theta + \theta_0)]$  – різниця фаз сигналів між каналами прийому НПП;  $d$  – лінійна відстань між антенами НПП;  $U_1$  – амплітуда напруги на вході 1-го каналу НПП;  $U_2$  – амплітуда напруги на вході 2-го каналу НПП;  $K_{фд}$  – коефіцієнт передачі фазового детектора.

Перед пуском ЗКР в фазовий канал НПП вводиться дискретне зміщення фази відповідне куту  $\bar{\theta}_{БЧ}$

$$\Delta \varphi_{нпп} = \frac{2\pi d}{\lambda} (1 - \cos \theta_{БЧ}).$$

Тоді різниця фаз сигналів на вході фазового детектора буде визначатися таким виразом:

$$\Delta \varphi_c = \Delta \varphi_{нпп} - \Delta \varphi_c = \frac{2\pi d}{\lambda} [\cos \theta_{БЧ} - \cos(\theta + \theta_0)] \quad (11)$$

Підставляючи (11) в (10) отримаємо вираз пеленгаційної характеристики фазового каналу НПП. Воно буде мати вигляд:

$$U_{фд} = K_{фд} U_1 U_2 \sin \frac{2\pi d}{\lambda} [\cos \theta_{БЧ} - \cos(\theta + \theta_0)] \quad (12)$$

Команда на підрив БЧ видається при досягненні величини  $U_{фд} = 0$  або іншого значення, залежно від технічної реалізації НПП.

Аналізуючи вирази (9) і (12) можна зробити висновки, що на точність визначення моменту видачі команди на підрив БЧ, а отже на узгодження НПП і БЧ, впливатиме значення величини кута  $\theta_0$ .

Значення кута  $\theta_0$ , при якому відбувається ввімкнення НПП можна визначити, використовуючи геометрію зустрічі ракети і цілі (рис. 5).

З рисунка видно, що помилка наведення (миттєвий промах)  $h_m$  самонавідної ракети в момент видачі команди ввімкнення НПП визначається кутом  $\theta_0$ :

$$h_m = R \sin \theta_0. \quad (13)$$

Існування кута  $\theta_0$  приводить до кутового обертання лінії ракета-ціль у просторі з куговою швидкістю

$$\varepsilon = \frac{V_{н.відн}}{R}, \quad (14)$$

де  $R$  – відстань між ракетою й ціллю в момент припинення керування.

З іншого боку,

$$\bar{V}_{відн} = \bar{V}_{відн} \sin \theta_0. \quad (15)$$

Після підстановки (13) до (12), а потім до (13) отримаємо співвідношення

$$h_m = \frac{R^2}{V_{відн}} \varepsilon \quad (16)$$

На величину промаху також впливає нормальне прискорення  $W_{н.відн}$ , яке відчуває система ракета-ціль (рис. 5). Тоді ракета буде рухатись відносно до цілі за криволінійною (параболічною) траєкторією й наприкінці попаде в точку **Б**.

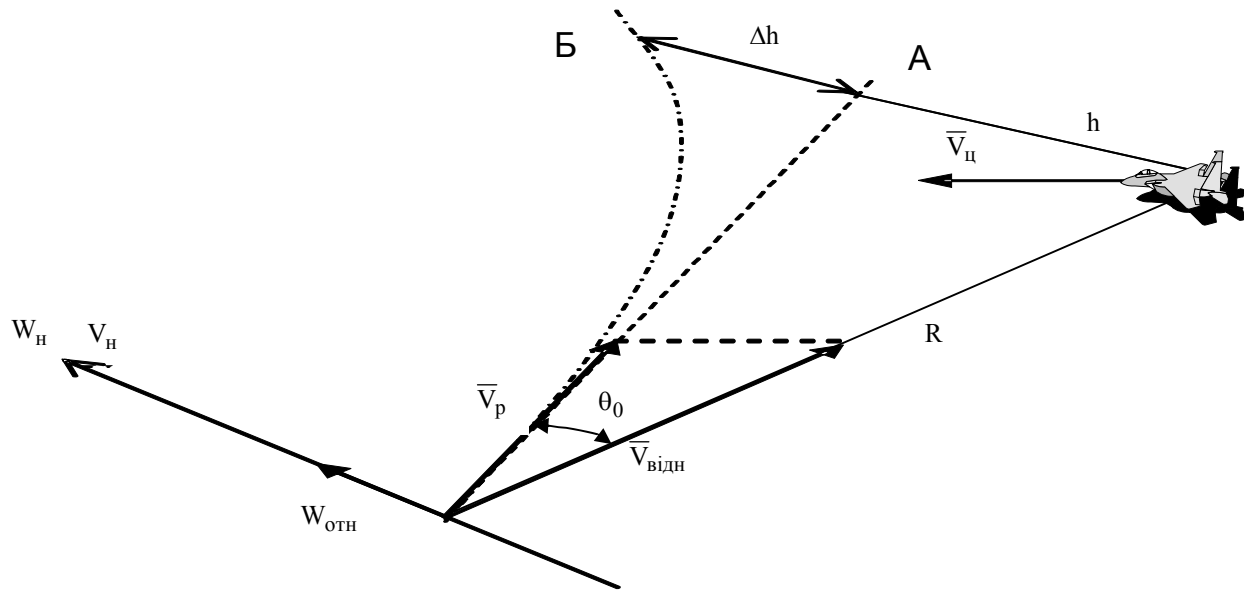


Рис. 5. Залежність величини кута  $\theta_0$  від величини кута  $\alpha_{ц}$  зустрічі ракети і цілі

У зв'язку з цим з'явиться додатковий промах  $\Delta h$ , який складає

$$\Delta h = \frac{W_{н.відн}}{2} t^2, \quad (17)$$

де  $t = R/V_{відн}$  – час польоту ракети в точку Б;

$$W_{н.відн} = \frac{V_{н.відн}^2}{R} = V \frac{V_{відн}^2 \sin^2 \theta_0}{R}.$$

Тоді  $\Delta h = R \sin^2 \theta_0.$  (18)

Враховуючи (14) і (16), отримаємо повну величину промаху у вигляді

$$h = h_M + \Delta h = \frac{R^2}{V_{відн}} \varepsilon + R \sin^2 \theta_0. \quad (19)$$

Використовуючи вираз для величини відносної швидкості

$$V_{отн} = \sqrt{V_p^2 + V_{ц}^2 - 2V_p V_{ц} \cos \alpha_{ц}} \quad (20)$$

отримаємо співвідношення для залежності  $\theta_0 = f(\alpha_{ц})$ . Підставимо (18) в (17) і вирішуючи рівняння щодо  $\theta_0$  отримаємо:

$$\theta_0 = \arcsin \sqrt{\frac{h}{R} - \frac{R_\varepsilon}{\sqrt{V_p^2 + V_{ц}^2 - 2V_p V_{ц} \cos \alpha_{ц}}}}, \quad (21)$$

де  $\alpha_{ц}$  – кут між вектором швидкості ракети  $\bar{V}_p$  і вектором швидкості цілі  $\bar{V}_{ц}$  (рис. 6)

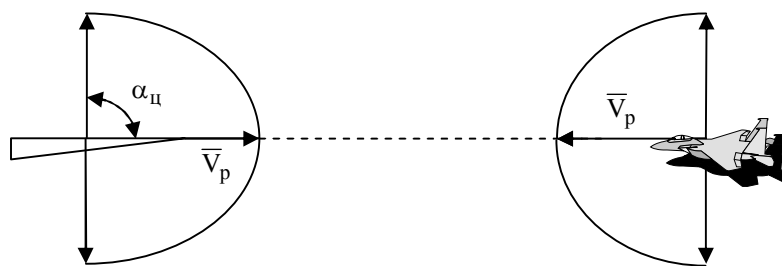


Рис. 6. Діапазон змінення величини кута  $\alpha_{ц}$

З рис.6 видно, що кут  $\theta_0 = 0$  буде тільки в двох випадках:

- коли кут  $\alpha_{ц} = 0^0$  (при стрільбі вдогін);
- коли кут  $\alpha_{ц} = 180^0$  (при стрільбі назустріч).

При всіх інших значеннях  $\alpha_{ц}$  величина кута

$$\theta_0 \neq 0$$

(діапазон зміни  $\alpha_{ц}$  від  $0^0$  до  $180^0$ ). Оцінимо вплив

величини кута  $\theta_0$  на ефективність напівактивних фазодоплерівських НПП, працюючих з безперервним сигналом підсвіту наземних РЛС.

На рис. 7 показаний зсув пеленгаційної характеристики, в залежності від величини кута  $\theta_0$  при зміні кута зустрічі ракети і цілі  $\alpha_{ц}$  в межах  $90^0 - 180^0$  (розглядається стрільба на зустрічних курсах).

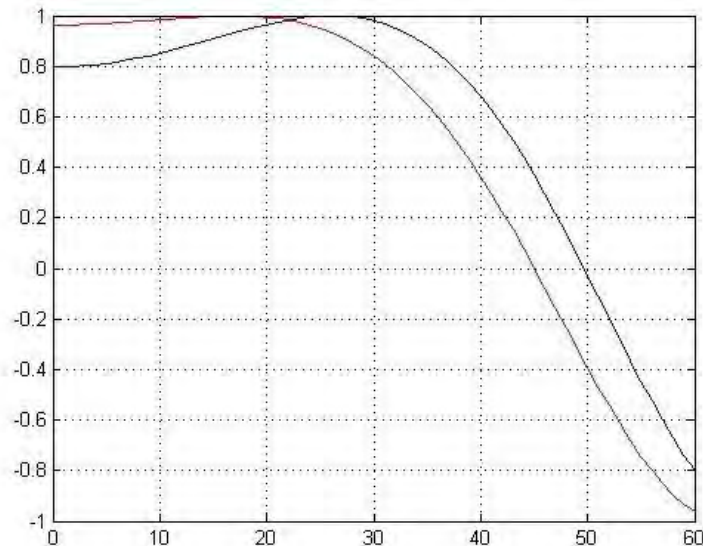


Рис. 7. Зсув пеленгаційної характеристики в залежності від величини кута  $\theta_0$

Рисунок показує зміщення пеленгаційної характеристики в область більших значень кутів спрацювання НПП, що призводить до запізнювання видачі команди на підриг бойової частини ракети, а отже, до неузгодженості області ураження БЧ з областю спрацювання НВУ.

Помилка у визначенні положення бісектриси області спрацювання НВУ буде визначатися величиною кута  $\theta_0$ , а отже  $\Delta\bar{\theta} = \bar{\theta}_{\text{нпп}} - \bar{\theta}_{\text{бч}} = \theta_0$ , використовуючи значення  $\Delta\bar{\theta}$  за графіком (рис.3) можна визначити ступінь зниження ефективності бойового спорядження.

### Висновки

Аналіз ефективності радіолокаційних напівактивних НПП існуючих самонавідних ЗКР показує, що момент видачі виконавчої команди визначається з помилками, які залежать від величини кута зустрічі ЗКР та цілі, що призводить до зменшення ефективності

бойового спорядження. Удосконалення існуючих і створення більш точних НПП дозволить перейти до створення БЧ спрямованої дії з малим  $\alpha_{\text{ст}}$ , що дозволить зменшити масу БЧ, а таким чином і масу ЗКР.

### Список літератури

1. Головятенко В.В. Основы построения радиоэлектронных устройств зенитных ракетных систем / В.В. Головятенко. – Х: ХВУ, 1997. – 280 с.
2. Бурцев В.В. Системотехнічні основи побудови та бойового використання комплексів і систем зенітного озброєння / В.В. Бурцев. – Х: ХУПС, 2005. – 286 с.
3. Довідник з протиповітряної оборони. – Х: ХВУ, 2003. – 368 с.
4. Коган И.М. Теория информации и проблемы ближней радиолокации / И.М.Коган. – М.: Сов. радио, 1968. – 144с.

Надійшла до редколегії 29.06.2013

Рецензент: д-р військ. наук, проф. Г.А. Дробаха, Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, Харків.

### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ САМОНАВОДЯЩИХСЯ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ

Н.И. Рожков, Д.М. Запара, В.В. Войнов, С.А. Николаенко

В статье введен количественный показатель эффективности систем ближней радиолокации, которые используются в существующих самонаводящихся зенитных управляемых ракетах, что позволяет оценить их эффективность. Проведен анализ эффективности систем ближней радиолокации в зависимости от условий воздушной обстановки (угла встречи ракеты с целью). На основании этого сделан вывод, что при проектировании систем ближней радиолокации перспективных зенитных управляемых ракет необходимо учитывать влияние угла встречи ракеты с целью на эффективность таких систем.

**Ключевые слова:** зенитная управляемая ракета, неконтактное взрывное устройство.

### THE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF SYSTEMS OF A NEAR RADAR-LOCATION OF SELF-DIRECTED ANTI-AIRCRAFT GUIDED MISSILES

N.I. Rozhkov, D.M. Zapara, V.V. Voinov, S.A. Nikolaenko

In article the quantitative index of efficiency of systems of a near radar-location which are used in existing being self-directed anti-aircraft guided missiles which allow estimating their efficiency is entered. The analysis of efficiency of systems of a near radar-location depending on conditions of an air situation (a corner of a meeting of the rocket and the purpose) is carried out. On the basis of it the conclusion is drawn that at design of systems of a near radar-location of perspective rockets it is necessary to consider influence of a corner of a meeting of the rocket and the purpose on efficiency of such systems.

**Keywords:** anti-aircraft guided missile, not contact explosive device.