

УДК 621.396:621.396.26

В.Є. Кудряшов<sup>1</sup>, О.В. Коломійцев<sup>1</sup>, С.С. Ворошилов<sup>2</sup>, І.Я. Загоруйко<sup>1</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>В/ч А 0666, Харків

## УМОВНА ІМОВІРНІСТЬ УРАЖЕННЯ НЕТИПОВОЇ ЦІЛІ ЗРК МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ

*Розглянуті характеристики закону помилок наведення ракет ЗРК малої дальності. Визначенні середні значення промаху ракети та їх середньо квадратичні відхилення в залежності від якості підготовки комплексу до стрільби. Здобуті значення умовних імовірностей ураження нетипових повітряних цілей. Обґрунтовані імовірності знаходження ракети у картинній площині стрільби з урахуванням ефективної поверхні розсіювання цілі. Це дозволяє оцінити ефективність стрільби ракетами ЗРК при проведенні тактичних навчань.*

**Ключові слова:** ефективна поверхня розсіювання, нетипова ціль, помилки наведення ракет, умовна імовірність ураження цілі.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Повітряні цілі у яких ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) не дорівнює  $1 - 1,5 \text{ м}^2$  є нетиповими цілями (НЦ) [1, 2]. Мала ЕПР НЦ ускладнює проведення стрільби, знижує значення імовірності спрацювання радіовибухача та умовні імовірності ураження даної цілі. Тому задача визначення величин умовних імовірностей ураження НЦ, при стрільбі ЗРК малої дальності, включаючи освітлювальну міну С-4 є актуальною [1 – 3].

**Аналіз публікацій** за даною тематикою [2 – 6] показує, що не визначенні середній промах ракети та його середнє квадратичне відхилення (СКВ), вплив малої ЕПР НЦ на величини умовних ймовірностей ураження повітряних цілей.

**Метою статті** є аналіз результатів розрахунку значень умовних імовірностей ураження НЦ типу освітлювальна 120 мм міна С-4.

### Виклад основного матеріалу

Перший рід помилок стрільби – це помилки наведення ракет (ПНР). Для спрощення задачі вводимо ряд припущень, які можуть зробити результат недостатньо точними, але при цьому дозволять зробити важливі висновки. Основні з цих припущень [3, 6]: а) коефіцієнт кореляції між динамічною, інструментальною та флуктуаційною ПНР дорівнює нулю; б) відсутня систематична складова флуктуаційної помилки наведення ракет; в) двомірний закон розподілу ПНР представлений у виді колового з рівними дисперсіями по координатам в картинній площині стрільби; г) розподіл промахів ракет  $f(\rho)$ , підпорядкований закону Райса (загальному релеєвському розподілу).

Інтегрування  $f(\rho)$  дозволяє визначити значення  $P_n(\rho < \rho_n)$ .  $P_n(\rho < \rho_n)$  – це імовірність прохо-

дження ракети в “трубці” заданого радіусу  $\rho_n$  в картинній площині стрільби [3 – 5], яка дорівнює:

$$P_n(\rho < \rho_n) = \int_0^{\rho_n} \frac{\rho}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\rho^2 + m^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) I_0\left(\frac{\rho m}{\sigma^2}\right) d\rho, \quad (1)$$

де  $\rho$  – часткове значення радіального відхилення траєкторії ракети від цілі в картинній площині (промах ракети);  $\sigma^2$  – дисперсія колового закону ПНР;  $m$  – відстань між ціллю і середньою траєкторією ракет в картинній площині (систематична складова ПНР);  $I_0(t)$  – циліндрична функція (функція Бесселя) першого роду, нульового порядку від уявного аргументу.

Для ЗРК малої дальності при стрільбі по цілі, яка летить рівномірно і прямолінійно, СКВ ПНР  $\sigma$  знаходиться в межах від 3 до 7 метрів. Причому, систематична складова ПНР  $m$  у 3 – 5 разів менше СКВ ПНР [2]. Найбільші та найменші очікувані значення  $m$  відповідно дорівнюють:  $m_{\min} = (\sigma_{\min}/5)$  та  $m_{\max} = (\sigma_{\max}/3)$ .

Тобто, величини  $m$  знаходяться в межах від 0,6 до 2,3 метрів. На рис. 1 приведені криві імовірності проходження ракети в “трубці” заданого радіусу  $\rho_n$ , які здобуті при вирішенні виразу (1).

Крива  $P_n1(\rho)$  безперервна, здобута при умові, що  $m = 0,6 \text{ м}$  та  $\sigma = 3 \text{ м}$ . Ці значення  $m, \sigma$  відносимо до I варіанту ПНР. Такі високі показники ПНР відповідають налагодженому комплексу, коли точка зустрічі ракети з ціллю знаходиться у середині зони ураження ЗРК. Криві  $P_n2(\rho)$  (крапки) та  $3 P_n3(\rho)$  (крапки і тире) побудовані коли  $m = 1,5 \text{ м}$ ,  $\sigma = 5 \text{ м}$  (II варіант ПНР) та  $m = 2,3 \text{ м}$ ,  $\sigma = 7 \text{ м}$  (III варіант ПНР) відповідно.

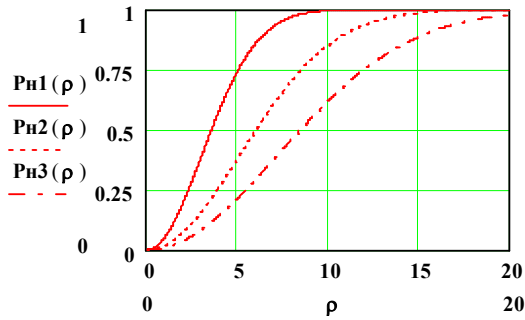


Рис. 1. Імовірності проходження ракет  $P_{n_i}(\rho)$  у “трубці” заданого радіусу  $\rho$

При стрільбі ракетами можливі випадки, коли систематична складова ПНР дорівнює нулю. Тоді, розподіл промахів  $f(\rho)$  буде під впорядкований функції розподілу Релея [3 – 6]. Інтегрування виразу (1) надає:

$$P_n(\rho < \rho_n) = 1 - \exp(-\rho^2/2\sigma^2). \quad (2)$$

Значення отримані по виразам (1) і (2) суттєво не відрізняються. Це підтверджується співвідношенням [3]:

$$\bar{m} = m / (\sigma\sqrt{2}), \quad (3)$$

де  $\bar{m}$  – граничні значення систематичної складової ПНР при яких реалізується достатня точність обчислювання умовної імовірності ураження цілі  $R_i(\rho)$ .

З врахуванням трьох варіантів ПНР  $\bar{m}$  змінюється у межах від 0,14 до 0,23.

Математичне сподівання (МС) випадкової величини часткового значення промаху ракети  $\rho_i$  та його СКВ  $\sigma_i$  [8] знаходимо по усім трьом варіантам ПНР з виразу (1). Результати розрахунку представлені на рис. 2.

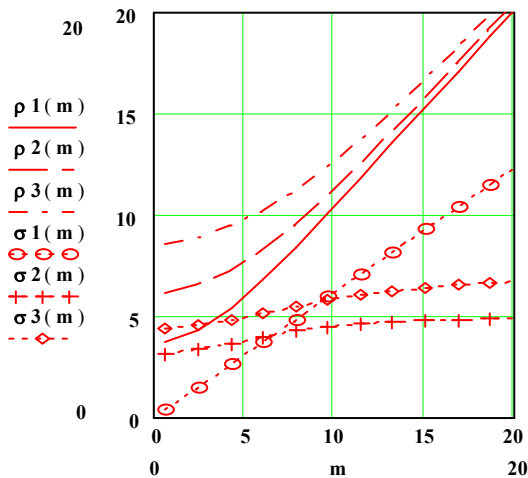


Рис. 2. Математичне сподівання випадкової величини часткового значення промаху ракети  $\rho_i(m)$  та його СКВ  $\sigma_i(m)$

На рис. 2 безперервна крива, відображає зміну значень  $\rho_1(m)$  від  $m$  коли  $\sigma = 3$  м. Крива (крапки і коло) на рис. 2 вказує на значення  $\sigma_1(m)$  також при  $\sigma = 3$  м. Типове налагодження комплексу, II варіант ПНР ( $m = 1,5$  м,  $\sigma = 5$  м), надає криву  $\rho_2(m)$  (тире) та криву  $\sigma_2(m)$  (крапки і плюс). Криві  $\rho_3(m)$  (крапки та тире) та  $\sigma_3(m)$  (крапки і ромб) вказують на значення ПНР по III варіанту. Значення, які округлені до цілого,  $\rho_2(m)$  та  $\sigma_2(m)$  при типовому налагодженні ЗКР відповідно дорівнюють 6 м та 3 м. По I варіанту ПНР, ці значення змінюються та дорівнюють 3,8 м та 1,9 м. Хоча заради III варіанту ПНР – 8,9 м та 4,5 м. В подальшому приймаємо осереднені значення  $\rho_2$  та  $\sigma_2$  для типового налагодження комплексу.

Аналіз значень функції  $P_n(\rho < \rho_n)$  представлених на рис. 1 та визначених за виразами (1) і (2) дозволяє сформулювати наступні висновки:

1. Коли  $\rho_n = 6$  м ( $\rho_n = \rho_i$ ) та  $m = 0$  м,  $\sigma = 3$  м відносно  $m = 0,6$  м,  $\sigma = 3$  м змінює величину функції  $P_n(\rho < \rho_n)$  з 0,87 до 0,86. Відсутність  $m$  та її наявність, тобто  $m = 1,5$  м (2,3 м) коли  $\sigma = 5$  м (7 м) зменшує величину  $P_n(\rho < \rho_n)$  в межах з 0,51 (0,5) до 0,31 (0,29);

2. При  $\rho_n = 12$  м ( $\rho_n = \rho_i + 2\sigma_i$ ),  $m = 0$  м,  $\sigma = 3$  м відносно  $m = 0,6$  м,  $\sigma = 3$  м практично не змінює значення  $P_n(\rho < \rho_n)$ , 0,9997 і 0,9996 відповідно. Відсутність  $m$  та її наявність,  $m = 1,5$  м (2,3 м) і  $\sigma = 5$  м (7 м) знижує значення  $P_n(\rho < \rho_n)$  відповідно з 0,94 (0,93) до 0,77 (0,75);

3. Коли  $\rho_n = 15$  м ( $\rho_n = \rho_i + 3\sigma_i$ ),  $m = 0$  м,  $\sigma = 3$  м відносно  $m = 0,6$  м,  $\sigma = 3$  м здобули практично однакові значення  $P_n(\rho < \rho_n)$ , які прямують до одиниці. Відсутність  $m$  та її наявність,  $m = 1,5$  м (2,3 м.) і  $\sigma = 5$  м (7 м) практично не змінює величини функції  $P_n(\rho < \rho_n)$ , яка дорівнює 0,989 (0,987) і 0,9 (0,89);

4. В зоні ураження ЗКР малої дальності слід користуватися значенням функції  $P_n(\rho < \rho_n)$ , яка знаходиться у межах від 0,9 до 1.

Другий рід помилок стрільби – помилки системи підриву бойової частини (БЧ) ракети характеризуються імовірність спрацювання радіовибухача (РВ)  $P_p(\rho)$  [2, 3]. Значення  $P_p(\rho)$  визначається:

$$P_p(\rho) = 1 - F\left[\frac{(\rho - m_p)}{\sigma_p}\right], \quad (4)$$

де  $F(Z)$  – це функція розподілу нормального та центрованого нормального розподілення;

$m_p$ ;  $\sigma_p$  – МС і СКВ випадкових величин радіусу спрацювання РВ відповідно (які відповідають типовій цілі в обумовлених (типових) умовах зустрічі).

В останньому виразі  $m_p$  [1] дорівнює куту нахилу діаграми спрямованості приймальної антени РВ ( $m_p \approx 55^\circ$ ). В картинній площині стрільби  $\sigma_p$  дорівнює:

$$\sigma_p = \left[ \frac{r \sin(\Theta_{0.5}/2)}{3} \right] \cdot \left\langle \left[ \sin\left(\frac{\pi}{2} + m_p - \frac{\Theta_{0.5}}{2}\right) \right]^{-1} \times \right. \\ \left. \times \left[ \sin\left(\frac{\pi}{2} - m_p - \frac{\Theta_{0.5}}{2}\right) \right]^{-1} \right\rangle, \quad (5)$$

де  $r$  – відстань між прийнятною антеною та ціллю;  $\Theta_{0.5}$  – на півширина діаграми спрямованості приймальної антени РВ ( $4.4^\circ$ ) [1].

У [1] отримали значення промаху ракети  $\rho_{\max C-4}$ , при якому РВ спрацьовує з імовірністю 0,5, коли стрільба ведеться по НЦ:

$$\rho_{\max C-4} \approx \sqrt[3]{\frac{\rho_{\max}^4 \sigma_{C-4}}{\sigma_{\text{ТЦ}} (L^2 / \lambda) \sin(m_p + 3\sigma_p)}}, \quad (6)$$

де  $\rho_{\max}$  – найбільше часткове значення промаху ракети (16,5 м.) при якому РВ спрацьовує з імовірність 0,5, при стрільбі по типовій цілі (ТЦ) та II варіанту ПНР;  $\sigma_{C-4}$  – ЕПР освітлювальної міни, змінюється приблизно у межах від  $1 \text{ м}^2$  до  $10^{-3} \text{ м}^2$ ;  $\sigma_{\text{ТЦ}}$  – ЕПР ТЦ ( $1,25 \text{ м}^2$ );  $L$  – довжина приймальної антени РВ;  $\lambda$  – довжина хвилі передавальної системи РВ.

Результати розрахунків значень  $P_p(\rho)$  по виразам (4) – (6) представлені на рис. 3.

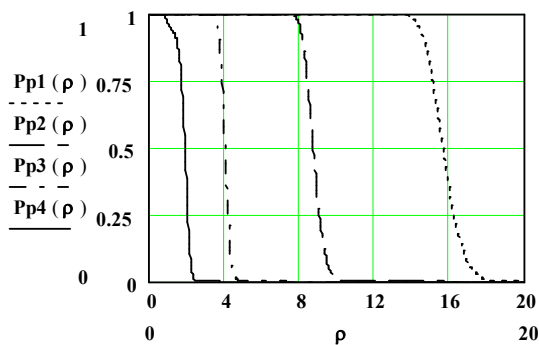


Рис. 3. Імовірності спрацювання радіовибухача  $P_p(\rho)$  в залежності від ЕПР нетипової цілі та часткового значення промаху ракети  $\rho$

Крива на рис. 3  $P_{p1}(\rho)$  – приведена крапками, коли  $\sigma_{C-4} = 1 \text{ м}^2$ . Криві  $P_{p2}(\rho)$  (тире),  $P_{p3}(\rho)$  (тире і крапки) та  $P_{p4}(\rho)$  (безперервна) розраховані відповідно при  $\sigma_{C-4} 10^{-1} \text{ м}^2$ ,  $10^{-2} \text{ м}^2$  та  $10^{-3} \text{ м}^2$ .

Збільшення кута нахилу кривій 4  $P_{p4}(\rho)$  у районі від 1,4 м до 0,8 м обумовлено зростанням  $\sigma_p$ . СКВ РВ  $\sigma_p$  підвищується у 2,7 рази за рахунок впливу границі реактивного ближнього поля приймальної антени РВ [1]. Імовірність знаходження ракети в площині стрільби при  $\sigma_{C-4} \geq 1 \text{ м}^2$  приблизна дорівнює 0,08. При цьому на міні С-4 закінчилось горіння. Якщо ЕПР знаходиться у межах від  $1 \text{ м}^2$  до  $10^{-1} \text{ м}^2$  то ця імовірність дорівнює 0,04. Коли  $\sigma_{C-4} - 10^{-1} \text{ м}^2$  до  $10^{-2} \text{ м}^2$  отримали 0,11. Імовірність знаходження ракети в картинній площині стрільби найімовірніша, та дорівнює 0,77, при зміні  $\sigma_{C-4}$  з  $10^{-2} \text{ м}^2$  до  $10^{-3} \text{ м}^2$ .

Умовна імовірність ураження цілі  $R_i(\rho)$  знаходиться як сумісні імовірності проходження ракети в “коло” заданого радіусу  $R_n(\rho < \rho_n)$  та спрацювання РВ  $P_p(\rho)$ , так:

$$R_i(\rho) = R_n(\rho) \cdot P_p(\rho). \quad (7)$$

Результати розрахунку  $R_i(\rho)$  представлені на рис. 4.

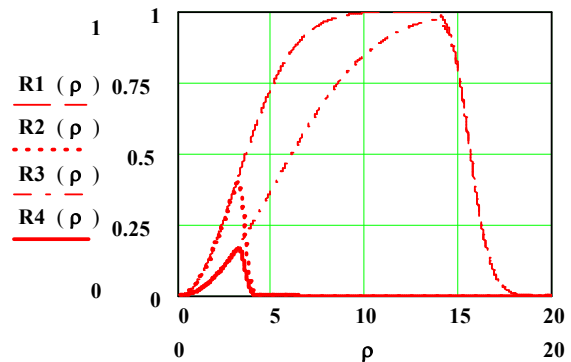


Рис. 4. Умовні імовірності ураження цілі  $R_i(\rho)$  в залежності від ЕПР нетипової цілі та часткового значення промаху ракети  $\rho$

Крива  $R_1(\rho)$  на рис. 4 позначена тире відображає якість стрільби при налагодженому комплексі, коли  $\sigma_{C-4} = 1 \text{ м}^2$ . Крива  $R_2(\rho)$  (крапки) вказує на значення показника ефективності стрільби при  $\sigma_{C-4} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ . Дана ЕПР обґрунтована для умов стрільби при проведенні тактичних навчань [1]. Криві  $R_3(\rho)$  (крапка і тире) та  $R_4(\rho)$  (безперервна) здобути

при тих самих умовах, що і попередні, але комплекс налагоджене по типовому. Найбільші значення  $R_2(3,16)$  приблизно дорівнює 0,4 і  $R_4(3,18) - 0,17$ .

В цілому дослідження помилок наведення ракет та помилок спрацювання радіовибухача ЗРК малої дальності дозволили сформулювати пропозиції стосовно оцінювання бойової стрільби по мішені типу 120 мм. освітлювана міна С-4, так:

– “Відмінно” – ракета підірвалася по цілі або ні. Відхилення ракети від мішені не більше 6 м.

– “Добре” – ракета не підірвалася по цілі. Відхилення ракети від мішені не більше 12 м.

– “Задовільно” – ракета не підірвалася по цілі. Відхилення ракети від мішені не більше 15 м.

– “Незадовільно” – мішень пропущено з вини особового складу, мішень не обстріляно, або проведено пуск ракети без супроводу мішені, або пройшов зрив супроводження мішені під час наведення ракети, або відхилення від мішені більше 15 м.

## Висновки

Таким чином, можливо констатувати наступне.

1. Систематична складова та середньо квадратичні відхилення (СКВ) помилок наведення ракет відповідно знаходяться в межах від 0,6 м до 2,3 м та від 3,0 м до 7,0 м. Прийняті такі осереднені значення, систематична складова дорівнює 1,5 м, а СКВ помилок наведення – 5 м.

2. При математичному сподіванні (МС) промаху ракети у 6,0 м імовірність проходження ракети в даній “трубі” заданого радіусу знаходяться в межах від 0,87 до 0,29. Коли МС промаху ракети дорівнює 12 м, (15 м) – від приблизно 1 (0,99) до 0,75 (0,89).

3. Імовірність знаходження ракети в площині стрільби де  $\sigma_{C-4} \geq 1 \text{ м}^2$  приблизно дорівнює 0,08. Якщо ЕПР знаходиться у межах від  $1 \text{ м}^2$  до  $10^{-1} \text{ м}^2$  то ця імовірність дорівнює 0,04. Коли  $\sigma_{C-4} - 10^{-1} \text{ м}^2$  до  $10^{-2} \text{ м}^2$  отримали 0,11. Імовірність знаходження ракети в картинній площині стрільби найімовірніша, та до

рівнює 0,77, при зміні  $\sigma_{C-4}$  з  $10^{-2} \text{ м}^2$  до  $10^{-3} \text{ м}^2$ .

4. З імовірністю 0,08 та МС промаху у 6,0 м реалізується підриг бойової частини (БЧ) ракети та знищення нетипової цілі з умовною імовірністю ураження 0,86. При цьому БМ і ракета добре налагоджені та точка зустрічі ракети з ціллю знаходиться у середині зони ураження. Коли типове налагодження комплексу, то підриг БЧ ракети і умова імовірність ураження зменшується до 0,5.

5. Не здійснюється підриг БЧ ракети з імовірністю 0,77 при МС промаху у 6,0 м. При цьому умовна імовірність ураження нетипової цілі дорівнює  $6,6 \cdot 10^{-15}$ , і при типовому налагодженні –  $3,8 \cdot 10^{-15}$ .

6. Дослідження помилок наведення ракет та помилок спрацювання радіовибухача ЗРК малої дальності дозволили сформулювати пропозиції стосовно оцінювання бойової стрільби по мішені типу 120 мм. освітлювана міна С-4 при проведенні тактичних навчань.

## Список літератури

1. Другий род помилок стрільби ракетами по нетиповим цілям ЗРК малої дальності / О.В. Коломійцев, В.Є. Кудряшов, С.С. Ворошилов, І.Я. Загоруйко // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2011. – С. 86-90.
2. Посobie по изучению правил стрельбы. Ч. 3. – М.: Воениздат, 1983. – 168 с.
3. Основы стрельбы и управления огнём зенитных ракетных комплексов. Ч. 1. Общие вопросы стрельбы и управления огнём / под ред. Г.В. Семёнова. – К.: КВАИУ, 1971. – 468 с.
4. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торочин та ін. – К.: МО України, 2003. – 368 с.
5. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. 3-е изд. / Ф.К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1991. – 343 с.
6. Медведев Ю.М. Теоретические основы построения ЗРК / Ю.М. Медведев, В.М. Клименков, В.Я. Головятенко. – Х.: МО Украины, ХВУ, 1994. – 254 с.
7. Теоретические основы радиолокации / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
8. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семиряев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

Надійшла до редколегії 11.04.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Є.Л. Казаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## УСЛОВНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ НЕТИПОВОЙ ЦЕЛИ ЗРК МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ

А.В. Коломийцев, В.Е. Кудряшов, С.С. Ворошилов, И.Я. Загоруйко

*Рассмотрены характеристики закона ошибок наведения ракет. Определены средние значения промахов ракет и их среднеквадратические отклонения в зависимости от качества подготовки комплекса к стрельбе. Получены значения условных вероятностей поражения воздушных нетиповых целей. Обоснованы вероятности нахождения ракеты в картинной плоскости стрельбы с учетом эффективной поверхности рассеивания цели. Это позволяет оценить эффективность стрельбы ракетами при проведении тактических учений.*

**Ключевые слова:** эффективная поверхность рассеивания, нетиповая цель, ошибки наведения ракет, условная вероятность поражения цели.

## CONDITIONAL HIT OF UNMODEL PURPOSE OF ZRK OF SMALL DISTANCE PROBABILITY

O.V. Kolomitsev, V.E. Koodrjashov, S.S. Voroshilov, I.J. Zagoruiko

*Descriptions of law of errors of aiming of rockets are considered. The mean values of misses of rockets and their среднеквадратические отклонения are certain depending on quality of preparation of complex to firing. The values of conditional hit of air unmodel aims probabilities are got. Probabilities of finding of rocket are grounded in the picture plane of firing taking into account the effective surface of dispersion of purpose. It allows to estimate efficiency of firing rockets during conducting of tactical studies.*

**Keywords:** effective surface of dispersion, unmodel purpose, errors of aiming of rockets, conditional hit of purpose probability.