

УДК 355.58

О.В. Дейнега, М.М. Потьомкін, Д.І. Гразіон

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

## МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДБИТТЯ УДАРУ КРИЛАТИХ РАКЕТ УГРУПОВАННЯМ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

В статті наведено методику оцінювання ефективності відбиття удару крилатих ракет угрупованням зенітних ракетних військ, яка враховує нестохастичну невизначеність інформації про характеристики такого удару.

**Ключові слова:** оцінювання ефективності, крилаті ракети, невизначеність.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Досвід воєнних конфліктів кінця ХХ – початку ХХІ сторіч свідчить, що суттєвий вплив на перебіг бойових дій має протидія засобів повітряного нападу (ЗПН) та засобів протиповітряної оборони (ППО). При цьому необхідно зазначити, що основною тенденцією стосовно застосування ЗПН є збільшення серед них частки крилатих ракет (КР), які є досить складними цілями для засобів ППО [1–3].

Розроблення рекомендацій стосовно забезпечення ефективного відбиття ударів КР угрупованням зенітних ракетних військ (ЗРВ) потребує проведення оперативних розрахунків, що, в свою чергу, передбачає наявність відповідного методичного апарату з оцінювання ефективності відбиття ударів КР угрупованням ЗРВ. Особливістю таких розрахунків є невизначеність вихідної інформації стосовно значень основних показників, які характеризують удар. При цьому зазначена невизначеність має нестохастичну природу, що потребує використання елементів нечіткої логіки [4; 5].

Тому розвиток методичного апарату з оцінювання ефективності, який дозволяє під час розрахунків врахувати нестохастичну невизначеність вихідної інформації, є, на наш погляд, актуальним науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1; 3] наведена методика оцінювання ефективності відбиття ударів КР угрупованням ЗРВ, яка конкретизує наведену в [2; 6] методику шляхом урахування в ній особливостей ураження КР зенітними ракетними комплексами (ЗРК).

У основу методики, викладеній у [1; 3], покладена аналітико-стохастична модель бойових дій формувань ППО [2; 6], у якій розглядається еквівалентний ЗРК з характеристиками, які є середніми значеннями характеристик усіх ЗРК, що входять до

складу угруповання ЗРВ. Результатами розрахунків за методикою є кількість знищених КР противника та кількість своїх уражених ЗРК.

Розрахунки за методикою оцінювання ефективності відбиття ударів КР угрупованням ЗРВ [1; 3] проводяться поетапно, основні з яких показані на рис. 1.

Особливістю шістнадцятого етапу є те, що в основу розрахунків покладена аналітико-стохастична модель бойових дій [2; 6; 7], заснована на моделі бою еквівалентного ЗРК, яка у вигляді графу показана на рис. 2.

Для цієї моделі перехід ЗРК зі стану в стан визначається такими інтенсивностями:  $I_{\text{вияв}}$  – інтенсивність входу виявлених ЗПН в зону ураження ЗРК, які переводять його у стан  $S_{01}$ ;  $I_{\text{вз}}$  – інтенсивність повернення ЗРК у стан  $S_{00}$  за умови його неураження в дуельному бою;  $I_{\text{ур}}$  – інтенсивність переходу ЗРК у стан  $S_{10}$  зі стану  $S_{01}$  у разі його ураження в дуельному бою або „безкарного” ураження іншими ЗПН;  $I_{\text{ур}}^*$  – інтенсивність переходу ЗРК у стан  $S_{10}$  зі стану  $S_{00}$  у разі його „безкарного” ураження невиявленою часткою ЗПН.

Зазначені інтенсивності розраховуються за формулами:

$$I_{\text{вияв}} = I_1 \cdot P_o \cdot K_y, \quad (1)$$

$$I_{\text{вз}} = \mu (1 - P^*),$$

$$I_{\text{ур}} = \mu P^* + I_1 \cdot \Phi \cdot P_{\text{бкы}}, \quad (2)$$

$$I_{\text{ур}}^* = I_1 (1 - P_o) \cdot \Phi \cdot P_{\text{бкы}}. \quad (3)$$

За результатами розв’язання відповідної системи диференціальних рівнянь отримують формули, які дозволяють розрахувати:

кількість КР, що обстрілюються одним ЗРК за час відбиття удару [6]:

$$N_{\text{обс.1}}(t) = \mu \frac{I_{\text{вияв}}}{D} \left[ \frac{1}{E} (1 - e^{-Et}) - \frac{1}{S} (1 - e^{-St}) \right]; \quad (4)$$

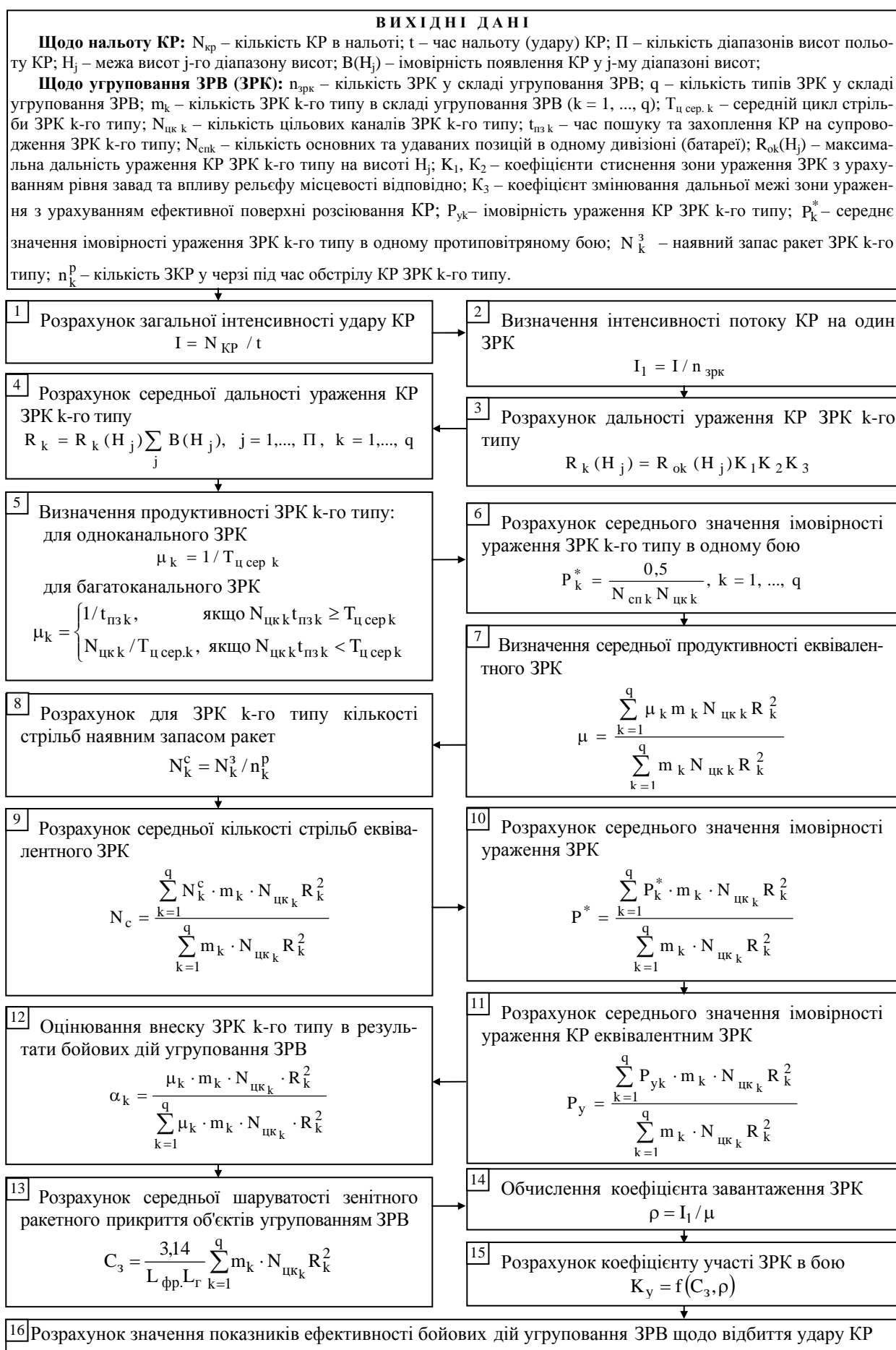


Рис. 1. Структурна схема методики оцінювання ефективності відбиття ударів КР угрупованням ЗРВ

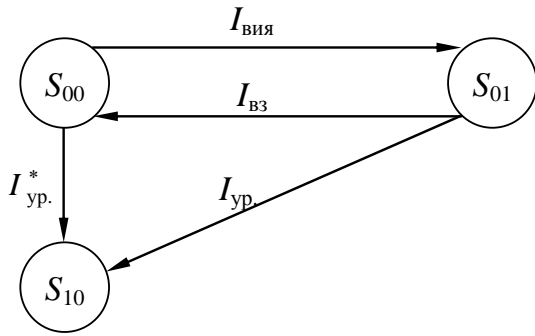


Рис. 2. Граф можливих станів еквівалентного ЗРК під час бойових дій:  $S_{00}$  – „Вільний і боездатний”;  $S_{01}$  – „зайнятий обстрілом цілей”;  $S_{10}$  – „уражений”

середню імовірність ураження одного ЗРК за час бою [6]:

$$P_{10}(t) = 1 - \frac{1}{D} \cdot \left[ \left( I_{ур} + I_{вияв.} + I_{вз} - E \right) \cdot e^{-Et} - \left[ - \left( I_{ур.} + I_{вз} + I_{вияв.} - S \right) \cdot e^{-St} \right] \right] \quad (5)$$

Коефіцієнти  $D$ ,  $E$ ,  $S$  розраховуються за формулами [1; 3]:

$$D = \sqrt{\left( I_{вз} + I_{ур} + I_{вияв.} + I_{ур}^* \right)^2 - 4 \left[ \left( I_{вз} + I_{ур} \right) \left( I_{вияв.} + I_{ур}^* \right) - I_{вияв.} \cdot I_{вз} \right]} \quad (6)$$

$$E = \frac{I_{вз} + I_{ур} + I_{вияв.} + I_{ур}^* - D}{2}; \quad E > 0; \quad (7)$$

$$S = \frac{I_{вз} + I_{ур} + I_{вияв.} + I_{ур}^* + D}{2}. \quad (8)$$

Тоді кількість КР, уражених угрупованням ЗРВ, розраховується за формулою:

$$M_{ур.ц}(t) = N_{обс.1}(t) \cdot P_y \cdot n_{зрк}, \quad (9)$$

а кількість уражених ЗРК –

$$M_{ур.зрк}(t) = P_{10}(t) \cdot n_{зрк}. \quad (10)$$

На основі отриманих результатів з урахуванням коефіцієнтів внесків різних типів ЗРК у результати перебігу бойових дій можна оцінити і інші показники, формули для розрахунку яких наведені в [1; 3].

Надаючи загальну оцінку розглянутій методиці, можна зазначити, що вона дозволяє отримати значення показників, які характеризують ефективність відбиття ударів КР угрупованням ЗРВ.

Однак наведені вище розрахункові залежності передбачають детермінованість (тобто повну визначеність) вихідних даних, що не дозволяє використовувати розглянуту вище методику в разі, коли вихідні дані є невизначеними.

Водночас з урахуванням підходів до використання апарату нечіткої логіки, наведених у [8], на основі розглянутої вище методики можна розробити методику оцінювання ефективності відбиття удару крилатих ракет угрупованням зенітних ракетних

військ в умовах невизначеності.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** На основі викладеного було поставлено таке завдання досліджень: розробити методику оцінювання ефективності відбиття удару крилатих ракет угрупованням зенітних ракетних військ з урахуванням нестохастичної невизначеності вихідної інформації про його характеристики.

### Виклад основного матеріалу

Аналіз наведеної вище методики свідчить, що невизначеність вихідної інформації буде мати наслідком необхідність її урахування під час підготовки вихідних даних, а також відповідної модифікації розрахункових залежностей, у яких вони будуть використовуватись. Окрім того, зазнають змін і деякі інші формули.

Невизначеність вихідної інформації пропонується враховувати шляхом використання трикутних нечітких чисел, які задаються числами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , для яких  $-\infty < a \leq b \leq c < \infty$ . Трикутне нечітке число  $\tilde{A}(a, b, c)$  характеризуються функцією приналежності виду:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x \leq a, \quad x > c, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{якщо } a < x \leq b, \\ \frac{x-c}{b-c}, & \text{якщо } b < x \leq c. \end{cases}$$

Тоді математичні операції з чіткими числами повинні бути замінені на відповідні операції з нечіткими числами.

Найпоширеніші математичні операції для двох нечітких чисел  $\tilde{A}(a, b, c)$  та  $\tilde{B}(d, e, f)$  наведені в табл. 1.

Таблиця 1  
Найпоширеніші обчислювальні операції, визначені для трикутних нечітких чисел ( $\tilde{A} \geq 0, \tilde{B} \geq 0$ )

Назва операції	Позначення операції	Математичний вираз
Додавання	$\tilde{A} \oplus \tilde{B}$	$(a + d, b + e, c + f)$
Віднімання	$\tilde{A} \ominus \tilde{B}$	$(a - f, b - e, c - d)$
Множення	$\tilde{A} \otimes \tilde{B}$	$(a \times d, b \times e, c \times f)$
Множення на скаляр	$k \otimes \tilde{A}$	$(k \times a, k \times b, k \times c), k > 0$ $(k \times c, k \times b, k \times a), k < 0$
Ділення	$\tilde{A} \oslash \tilde{B}$	$(a / f, b / e, c / d)$
Зміна знака	$-\tilde{A}$	$(-c, -b, -a)$

Аналіз наведеної вище методики свідчить, що нестохастична невизначеність стосується таких вихідних даних: кількості КР в нальоті ( $\tilde{N}_{кр}$ ), часу нальоту (удару) КР ( $\tilde{t}$ ); частки КР, яка виділяється для ураження ЗРК ( $\tilde{\Phi}$ ); імовірності безкарного уда-

ру КР по позиціях зрдн (зрбтр) ( $\tilde{P}_{\text{бкы}}$ ).

Тоді відповідних змін зазнають розрахункові формули (1–13):

$$\begin{aligned} \tilde{I} &= \tilde{N}_{\text{кр}} \otimes \tilde{t}; & \tilde{I}_1 &= \tilde{I} \otimes n_{\text{зрк}}; \\ \tilde{\rho} &= \tilde{I}_1 \otimes \mu; & \tilde{I}_{\text{вияв}} &= \tilde{I}_1 \otimes P_o \otimes \tilde{K}_y; \\ \tilde{I}_{\text{ур}} &= \mu P^* + \tilde{I}_1 \otimes \tilde{\Phi} \otimes \tilde{P}_{\text{бкы}}; \\ \tilde{I}_{\text{ур}}^* &= \tilde{I}_1 \otimes (1 - P_o) \otimes \tilde{\Phi} \otimes \tilde{P}_{\text{бкы}}; \\ \tilde{N}_{\text{обс.1}}(\tilde{t}) &= \mu \otimes \tilde{I}_{\text{вияв}} \otimes \left[ \frac{1}{\tilde{E}} (1 - e^{-\tilde{E}\tilde{t}}) - \frac{1}{\tilde{S}} (1 - e^{-\tilde{S}\tilde{t}}) \right] \otimes \tilde{D}; \\ \tilde{P}_{10}(\tilde{t}) &= 1 - \left[ \left( \tilde{I}_{\text{ур}} \oplus \tilde{I}_{\text{вияв}} \cdot \Theta \tilde{E} + I_{\text{вз}} \right) \otimes e^{-\tilde{E}\tilde{t}} \right. \\ &\quad \left. \oplus \left( I_{\text{вз}} + \tilde{I}_{\text{ур}} \cdot \Theta \tilde{S} \right) \otimes e^{-\tilde{S}\tilde{t}} \right] \otimes \tilde{D}; \\ \tilde{D} &= \sqrt{\left( I_{\text{вз}} + \tilde{I}_{\text{ур}} \oplus \tilde{I}_{\text{вияв}} \oplus \tilde{I}_{\text{ур}}^* \right)^2 -} \\ &\quad - 4 \left[ \left( I_{\text{вз}} + \tilde{I}_{\text{ур}} \right) \left( \tilde{I}_{\text{вияв}} \oplus \tilde{I}_{\text{ур}}^* \right) \Theta \tilde{I}_{\text{вияв}} \otimes I_{\text{вз}} \right]; \\ \tilde{E} &= \frac{I_{\text{вз}} + \tilde{I}_{\text{ур}} \oplus \tilde{I}_{\text{вияв}} \oplus \tilde{I}_{\text{ур}}^* \Theta \tilde{D}}{2}; \\ \tilde{S} &= (I_{\text{вз}} + \tilde{I}_{\text{ур}} \oplus \tilde{I}_{\text{вияв}} \oplus \tilde{I}_{\text{ур}}^* \oplus \tilde{D}) / 2; \\ \tilde{M}_{\text{ур.ц}}(\tilde{t}) &= \tilde{N}_{\text{обс.1}}(\tilde{t}) \otimes P_y \otimes n_{\text{зрк}}; \\ \tilde{M}_{\text{ур.зрк}}(\tilde{t}) &= \tilde{P}_{10}(\tilde{t}) \otimes n_{\text{зрк}}. \end{aligned}$$

На основі розрахованих нечітких значень  $\tilde{M}_{\text{ур.ц}}(\tilde{t})$  та  $\tilde{M}_{\text{ур.зрк}}(\tilde{t})$  розраховують кількість уражених КР та ЗРК з використанням операції дефазифікації – операції переходу від нечіткого числа до чіткого.

Для переходу від нечіткого числа ( $\tilde{A}$  (a, b, c)) до чіткого (A) використовується формула

$$A = a + ((c - a) + (b - a)) / 3.$$

## Висновки

Таким чином, у статті розроблено методику оцінювання ефективності відбиття удару крилатих ракет у групуванням зенітних ракетних військ, яка

дозволяє врахувати невизначеність вихідної інформації про характеристики удару.

Подальший розвиток проведених досліджень вбачається в програмній реалізації розробленої методики та перевірці доцільності її використання на достатньому обсязі тестових даних.

## Список літератури

1. Романченко І.С. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітними цілями: моногр. / І.С. Романченко, О.М. Загорка, С.Г. Бутенко, О.В. Дейнега. – Житомир, 2011. – 344 с.
2. Городнов В.П. Моделирование боевых дій військ (сил) ППО та інформаційне забезпечення процесів управління ними: моногр. / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко. – Х.: ХВУ, 2004. – 410 с.
3. Загорка О.М. Методика оцінювання ефективності прикриття об'єктів від ударів КР у групуванням ЗРВ / О.М. Загорка, О.В. Дейнега. – К.: ЦНДІ ЗС України, 2004. – 31 с.
4. Ткаченко В.І. Теорія прийняття рішень органами військового управління: моногр. / В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов, Г.А. Дробаха та ін. – Х.: ХУПС, 2008. – 545 с.
5. Бучик С.С. Нечітка кластеризація даних на основі принципу самоорганізації / С.С. Бучик, Б.М. Герасимов // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 4 (23). – С. 177-185.
6. Городнов В.П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО / В.П. Городнов. – Х.: ВИРТА ПВО, 1987. – 387 с.
7. Городнов В.П. Методики прогноза ефективності групувань родов Воиcк ПВО / В.П. Городнов. – Х.: ХВУ, 1999. – 32 с.
8. Потьомкін М.М. Аналіз підходів до використання апарату нечіткої логіки в методах багатокритеріального порівняння альтернатив / М.М. Потьомкін, Д.І. Гразіон // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2015. – № 2 (72). – С. 204-214.

Надійшла до редколегії 18.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.Ю. Богданович, Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАЖЕНИЯ УДАРА КРЫЛАТЫХ РАКЕТ ГРУППИРОВКОЙ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ВОЙСК В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

А.В. Дейнега, М.М. Потёмкин, Д.И. Гразіон

В статье приведена методика оценки эффективности отражения удара крылатых ракет группировкой зенитных ракетных войск, в которой учитывается нестохастическая неопределенность информации о характеристиках такого удара.

**Ключевые слова:** оценка эффективности, крылатые ракеты, неопределенность.

## METHODOLOGY OF ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF REFLECTION OF ATTACK OF CRUISE MISSILES BY GROUPING OF ZENITAL MISSILE TROOPS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

A. Deinega, M. Potyemkin, D. Grazion

The article gives a method of assessing of the effectiveness of the reflection of a cruise missile attack by a group of anti-aircraft missile forces, which takes into account the non-stochastic uncertainty of an information about the characteristics of such a attack.

**Keywords:** efficiency estimation, cruise missiles, uncertainty.