

УДК 623.558:358.116(045)

С.В. Новіченко, С.В. Нечитайло, В.Г. Єрдяков, В.П. Косенко, А.А. Савельєв

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОБГРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ПРИКРИТТЯ ВАЖЛИВИХ ДЕРЖАВНИХ ОБ'ЄКТІВ

*В статті запропоновано в якості показника ефективності зенітного ракетного прикриття важливих державних об'єктів використовувати імовірність знищення усіх засобів повітряного нападу противника до рубежу виконання ними задач. Запропоновано спрощений метод розрахунку вказаного показника для угруповання зенітних ракетних військ змішаного складу, що значно зменшує обчислювальні витрати.*

**Ключові слова:** ефективність зенітного ракетного прикриття, важливі державні об'єкти, угруповання змішаного складу.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі реформування та розвитку Збройних Сил (ЗС) України визначення стану протиповітряної оборони важливих державних об'єктів (ВДО) не втрачають своєї актуальності. Зміни, що відбуваються у військово-політичній обстановці, в умовах застосування ЗС, зростаючий обсяг і складність задач обумовлюють пошук відповіді на питання: "З якою ефективністю здійснюється прикриття того чи іншого ВДО силами та засобами зенітних ракетних військ (ЗРВ) ЗС України?".

**Аналіз літератури.** Відповіді на це питання відшукували по різному [1-3], використовуючи при цьому різноманітні показники, що прямо або опосередковано (частково) характеризують ефективність бойових дій угруповання ЗРВ. При вирішенні зазначеного питання були застосовані методи статистичного аналізу та прогнозування, що дозволило значно спростити розрахунки, а також математичного моделювання, що дозволило врахувати велику кількість факторів і можливість отримувати більш точні оцінки показників ефективності.

**Метою статті** є обґрунтування показника ефективності не бойових дій угруповання ЗРВ у цілому, а конкретно зенітного ракетного прикриття ВДО, що потребує проведення відповідного аналізу тих процесів, що виникають у такому випадку.

### Основна частина

Ефективність зенітного ракетного прикриття характеризує ступінь відповідності результатів його здійснення завданням, що вирішуються під час різних варіантів дій повітряного противника і визначається можливостями створених систем вогню, розвідки та управління, мобільністю прикриття, максимальним використанням потенційних можливостей сил і засобів, рівнем бойового вишколу особового складу [2].

У здійсненні зенітного ракетного прикриття ВДО найголовнішим завданням є їх захист, тобто

недопущення виконання завдання повітряним противником з нанесення удару по об'єктах, що прикриваються [3].

Таким чином, ефективність зенітного ракетного прикриття ВДО можна визначити як ступінь відповідності його результатів, завданню з недопущення нанесення удару засобами повітряного нападу (ЗПН) противника по об'єктах, що прикриваються.

Недопущення виконання завдання повітряним противником з нанесення удару по об'єкту, що прикривається, здійснюється шляхом знищення ЗПН противника до рубежів виконання ними завдань (РВЗ), тому для здійснення оцінки ефективності зенітного ракетного прикриття ВДО зенітною ракетною бригадою (зрбр) (полком (зрп)) в якості показника можна використати імовірність знищення усіх ЗПН противника до РВЗ.

Для визначення зазначеної імовірності необхідно здійснити аналіз процесу знищення ЗПН противника зенітною ракетною бригадою (полком).

Зрбр (зрп) здійснює обстріл ЗПН противника зенітними ракетними дивізіонами (зрдн) (батареями (зрбатр)), які входять в її склад, і знищення ЗПН при обстрілі дивізіоном є випадковою подією, імовірність появи якої можна вважати незалежною від результатів попередніх стрільб чи результатів стрільб інших дивізіонів. Таке припущення цілком оправдане при централізованому управлінні зрдн (зрбатр) з командного пункту (КП) зрбр (зрп).

Якщо в склад зрбр (зрп) входять зрдн (зрбатр) одного типу, то процес знищення ЗПН противника можна формалізувати як схему проведення випробувань Бернуллі [4].

Згідно схеми Бернуллі маємо  $n$  незалежних випробувань, в ході кожного з яких може наступити певна подія з імовірністю  $p$ . Тоді справедливо твердження, що випадкова величина  $x$  – кількість певних подій, які наступили у ході проведення усіх  $n$  випробувань розподілена по біноміальному закону.

В даному випадку під кількістю випробувань

масмо потенційну кількість стрільб збр (зрп)  $N_{стр}$  в розрахунку до РВЗ, а під певною подією – знищення цілі за одну потенційну стрільбу, що здійснюється з імовірністю  $P_0$ .

Таким чином кількість знищених ЗПН противника такою бригадою (полком) за удар є випадковою величиною, ряд розподілу імовірності якої визначається наступним чином:

$$P_x = C_{N_{стр}}^x \cdot P_0^x \cdot (1 - P_0)^{(N_{стр} - x)}, \quad (1)$$

де  $x = \{0, 1, \dots, N_{стр}\}$ ;

$C_{N_{стр}}^x$  – число сполучень з  $x$  по  $N_{стр}$ , що визначається наступним чином:

$$C_{N_{стр}}^x = \frac{N_{стр}!}{x!(N_{стр} - x)!}. \quad (2)$$

В такому випадку кількість знищених ЗПН противника є випадковою величиною, яка розподілена по узагальненому біноміальному закону [4], що визначається за допомогою твірної функції такого виду:

$$\phi(z) = \sum_{x=0}^{N_{стр}} (P_x \cdot z^x) = \prod_{j=1}^{N_{стр}} \left( (1 - \Theta_{0j}) + \Theta_{0j} \cdot z \right), \quad (4)$$

де  $z$  – довільний параметр, значення якого лежить  $0 < z \leq 1$ ;  $\Theta_{0j} = P_{0j}$ , при  $j \in \{J_i^1, J_i^1 + 1, \dots, J_i^{N_{стрi}}\}$  та  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ ;

$P_{0i}$  – імовірність знищення цілі  $i$ -им зрдн (зрбратр) за одну потенційну стрільбу;

$$J_i^1 = \begin{cases} 1, & \text{при } i = 1; \\ \sum_{k=1}^{i-1} N_{стрk}, & \text{при } i \in \{2, 3, \dots, m\}; \end{cases}$$

$$J_i^{N_{стрi}} = J_i^1 + N_{стрi} - 1;$$

$N_{стрi}$  – потенційна кількість стрільб  $i$ -го зрдн (зрбратр);  $m$  – кількість зрдн (зрбратр).

Тобто імовірності  $P_x$ ,  $x = \{0, 1, \dots, N_{стр}\}$  визначаються в результаті помноження біномів  $\left( (1 - \Theta_{0j}) + \Theta_{0j} \cdot z \right)$  та приведення відповідних членів з однаковими степенями  $z$ , або іншими словами імовірність  $P_x$  є сумою усіх можливих добутоків, в які входять  $x$  складових  $\Theta_{0j}$  з різними індексами та  $(N_{стр} - x)$  складових  $(1 - \Theta_{0j})$  з різними індексами.

Практично здійснити розрахунок ряду  $P_x$ ,  $x = \{0, 1, \dots, N_{стр}\}$  випадкової величини, що розподілена по узагальненому біноміальному закону

можна з використанням одномірного масиву перестановок наступним чином:

$$P_x = \sum_{k=1}^{C_{N_{стр}}^x} \left( \prod_{j=1}^{N_{стр}} \left( \Theta_{0j}^{\vartheta(x,k)_j} \cdot (1 - \Theta_{0j})^{(1 - \vartheta(x,k)_j)} \right) \right), \quad (5)$$

де  $\vartheta(x, k)_j$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, N_{стр}\}$  – одномірний масив перестановок, що складається з нулів та одиниць, у якому  $j$  – номер розряду масиву,  $x \in \{0, 1, \dots, N_{стр}\}$  – кількість одиниць у масиві,  $k \in \{1, 2, \dots, C_{N_{стр}}^x\}$  – номер унікальної комбінації  $x$  одиниць у  $N_{стр}$  розрядах.

Формування масиву перестановок для  $N_{стр} = 4$  та при  $x = 2$  пояснюється таблицею 1.

Таблиця 1

Значення масиву  $\vartheta(x, k)_j$  для  $N_{стр} = 4$  та при  $x = 2$

|     | j=1 | j=2 | j=3 | j=4 |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| k=1 | 1   | 1   | 0   | 0   |
| k=2 | 1   | 0   | 1   | 0   |
| k=3 | 1   | 0   | 0   | 1   |
| k=4 | 0   | 1   | 1   | 0   |
| k=5 | 0   | 1   | 0   | 1   |
| k=6 | 0   | 0   | 1   | 1   |

В загальному випадку формування масиву перестановок для  $k = 1$  здійснюється за алгоритмом початкової ініціалізації, що наведений на рисунку 1.

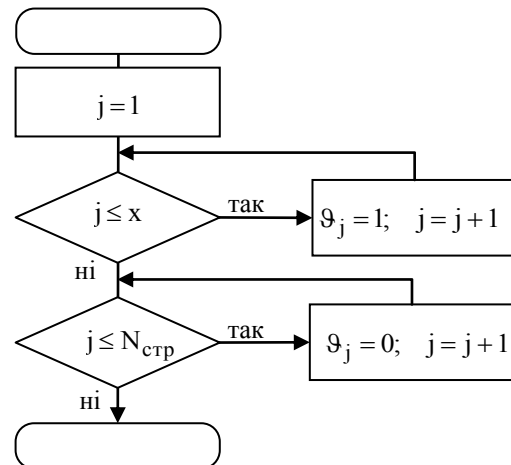


Рис.1. Алгоритм початкової ініціалізації масиву перестановок

Масив перестановок для наступної комбінації  $k = k + 1$  формується за алгоритмом, що приведений на рис. 2.

Якщо проаналізувати вираз для розрахунку ряду  $P_x$ ,  $x = \{0, 1, \dots, N_{стр}\}$  за формулою (5), то можна дійти висновку про можливість його застосу-

вання при досить обмеженому значенні кількості стрільб  $N_{стр}$  (до 20, при потребі швидких розрахунків та до 30-40 при тривалих розрахунках).

Обмеження на кількість стрільб  $N_{стр}$  при розрахунках за формулою (5) обумовлене різким зрос-

танням кількості підсумовувань добутоків з її ростом, що при  $x = \frac{N_{стр}}{2}$  становить  $\frac{0,5 \cdot N_{стр}!}{(0,5 \cdot N_{стр})!}$ .

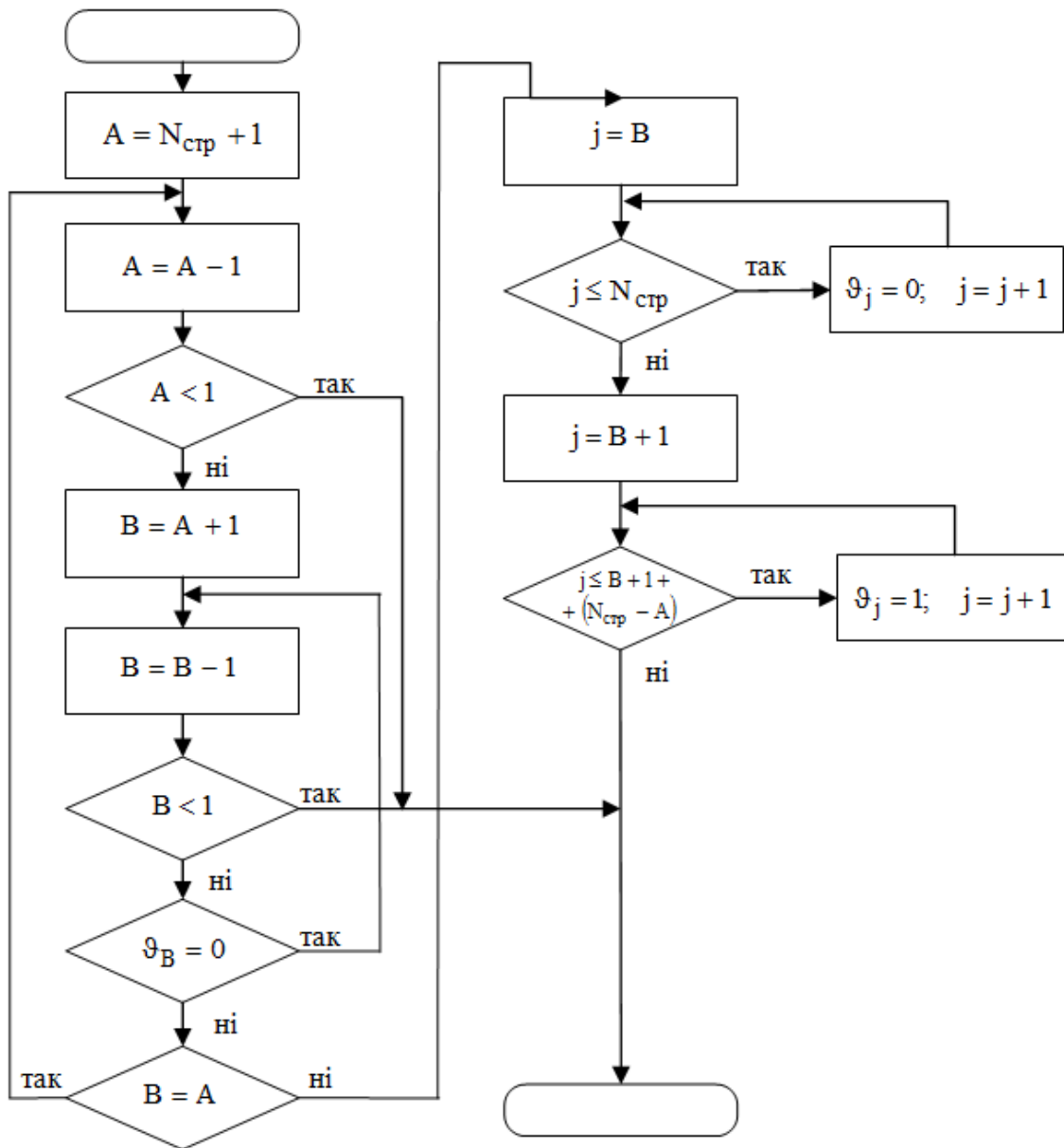


Рис. 2. Алгоритм наступної ініціалізації масиву перестановок

Однак, якщо значення імовірності  $P_{0_i}$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$  одне від одного відрізняються слабо, тобто якщо  $\max P_{0_i} - \min P_{0_i} < 0,2 \dots 0,3$ , то при визначенні ряду розподілу кількості знищених ЗПН противника за удар зенітною ракетною бригадою (полком), що має різні типи зрдн (зрбатр), можна використати модель (1), в якій імовірність  $P_0$  визначити як:

$$P_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{0_i}. \quad (6)$$

В загальному випадку характер залежності суми квадратів відхилень значень імовірностей ряду (1) від значень імовірностей ряду (5) в залежності від кількості стрільб  $N_{стр}$  та  $\Delta P = \max_{i \in \{1, 2, \dots, m\}} P_{0_i} - \min_{i \in \{1, 2, \dots, m\}} P_{0_i}$  зображено на рис. 3. Тобто з рис. 3 видно, що при подальшому збільшенні кількості стрільб  $N_{стр} > 15$  сума квадратів відхилень ряду (1) від ряду (5) змінюється слабо, але навіть при малих значеннях  $N_{стр} \leq 5$  і зменшенні  $\Delta P$  виникає різке зменшення зазначеної суми, що обумовлює використання

спрощеного розрахунку в умовах малої різниці імовірності  $P_{0_i}$ .

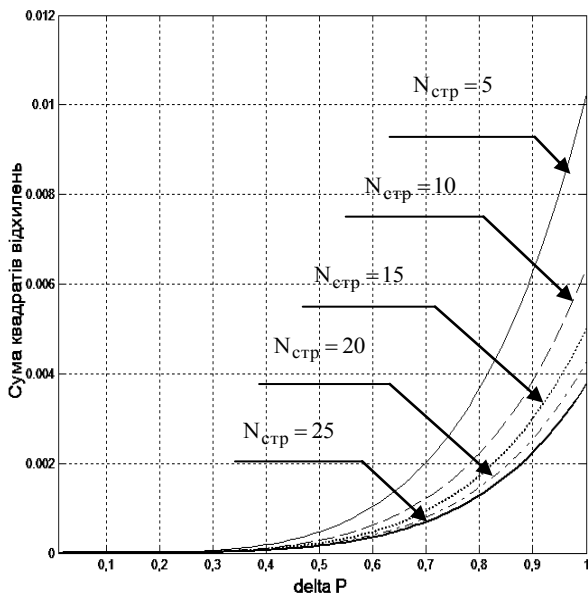


Рис.3. Характер залежності суми квадратів відхилень ряду (1) та ряду (5)

Імовірність  $P_{0_i}$  для і-го зрдн (зрбатр) визначається наступним чином:

$$P_{0_i} = K_{бг_i} \cdot K_{упр_i} \cdot K_{м_i} \cdot P_{n_i}, \quad (7)$$

де  $K_{бг_i}$  – коефіцієнт бойової готовності і-го зрдн (зрбатр);

$K_{упр_i}$  – коефіцієнт ефективності системи управління і-го зрдн (зрбатр);

$K_{м_i}$  – коефіцієнт впливу маневру цілей для і-го зрдн (зрбатр);

$P_{n_i}$  – імовірність знищення цілі і-м зрдн (зрбатр) за одну стрільбу, що визначається наступним чином:

$$P_{n_i} = 1 - (1 - P_{i_i})^{n_i}, \quad (8)$$

де  $P_{i_i}$  – імовірність знищення цілі і-им зрдн (зрбатр) при стрільбі однією ракетою;

$n_i$  – кількість ракет у черзі і-го зрдн (зрбатр).

### Висновок

Таким чином, у даній статті був обґрунтований показник ефективності зенітного ракетного прикриття ВДО угрупованням змішаного і не змішаного складу, яким є імовірність знищення усіх ЗПН противника до РВЗ за повітряний удар.

Наведені алгоритми основних операцій, що застосовуються при обчисленні запропонованого показника та здійснена оцінка точності спрощеного розрахунку ефективності зенітного ракетного прикриття ВДО для угрупованням змішаного складу.

### Список літератури

1. Городнов В.П. Моделирование боевых действий войск (сил) противовоздушной обороны та інформаційне забезпечення процесів управління ними: моногр. / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Ермошин, Є.Б. Смирнов, В.І. Ткаченко. – Х.: ХВУ, 2004. – 409 с.
2. Городнов В.П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО / В.П. Городнов. – Х.: ВИРТА ПВО, 1987. – 397 с.
3. Ермошин М.О., Оцінка ефективності бойових дій зенітних ракетних військ: навч. посіб. / М.О. Ермошин, Г.А. Дробаха. – Х.: ХВУ, 2004. – 642 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: моногр. / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.

Надійшла до редколегії 2.11.2012

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

### ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ПРИКРЫТИЯ ВАЖНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

С.В. Новиченко, С.В. Нечитайло, В.Г. Ердяков, В.П. Косенко, А.А. Савельев

В статье предложено в качестве показателя эффективности зенитного ракетного прикрития важных государственных объектов использовать вероятность уничтожения всех средств воздушного нападения противника до рубежа выполнения ими задач. Предложен упрощенный метод расчета указанного показателя для группировки зенитных ракетных войск смешанного состава, который значительно уменьшает вычислительные затраты.

**Ключевые слова:** артиллерия, локальная война (вооруженный конфликт), огневое поражение противника.

### THE GROUND OF IMPORTANT STATE OBJECTS AIR DEFENSE EFFICIENCY FACTOR

S.V. Novichenko, S.V. Nechitaylo, V.G. Yerdycov, V.P. Kosenko, A.A. Savelev

In the article the all air attack means destruction probability is proposed to use as the efficiency factor of the important state objects air defense. The simplified calculation method of mentioned above efficiency factor for anti-aircraft rocket forces alignment is proposed. This method is considerably decreased of computational burden.

**Keywords:** artillery, a local war (armed conflict), fire damage to the enemy.