

УДК 358 : 007.35

О.М. Жарик

Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

## АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО ВИБОРУ ПОКАЗНИКІВ ТА КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРИКРИТТЯ ВАЖЛИВИХ ДЕРЖАВНИХ ОБ'ЄКТІВ

Проведений порівняльний аналіз різних підходів щодо вибору показників та критеріїв оцінки якості прикриття важливих державних об'єктів.

**Ключові слова:** показник, критерій, оцінка, якість, прикриття, важливі державні об'єкти, протиповітряна оборона.

### Вступ

**Аналіз публікацій та постановка проблеми.** Подальше дослідження питання вибору показників та критеріїв оцінки якості прикриття важливих державних об'єктів (ВДО) засвідчує необхідність переходу до нових підходів. За новим підходом, викладеним в статтях [1 – 5], пропонується в якості основного показника оцінки ефективності прикриття ВДО прийняти імовірність збереження ВДО, яку розраховувати через розрахунок імовірності знищення не менше заданого числа цілей. Цей підхід використовує пороговий критерій при прийнятті рішення щодо прикриття (не прикриття) ВДО з кожного напрямку. В якості порога задається потрібна імовірність збереження ВДО.

Попередній підхід був представлений в статті [6] і, як показали подальші дослідження, містить деякі помилки та неточності.

**Метою статті є** порівняння двох існуючих підходів, розгляд і обґрунтування хибності деяких положень попереднього підходу щодо вибору показників та критеріїв оцінки якості прикриття ВДО, який базується на використанні математичного сподівання (МСП) числа знищених цілей (в першу чергу, при виконанні завдань з протиповітряної оборони (ППО) і прикритті ВДО від терористичних актів з використанням літальних апаратів в умовах мирного часу).

### Основна частина

#### 1. Аналіз коректності розрахунку імовірності збереження ВДО через МСП

Наступна цитата [6] є найбільш некоректною та помилковою: “В свою чергу, ймовірність ураження ВДО розраховується виходячи із виразу [3 – 5]:

$$P_{\text{ур об}} = 1 - M_{\text{ЗПН}} / N_{\text{ЗПН}}, \quad (2)$$

де  $M_{\text{ЗПН}}$  – математичне сподівання числа знищених ЗПН частинами (підрозділами) ЗРВ та ВА під час прикриття ВДО;  $N_{\text{ЗПН}}$  – полігонний наряд ЗПН для ураження ВДО”.

Посилання під номером 3 в зазначеній цитаті відповідає відомій роботі В.Ф. Неупокоева [7], але ні ця

робота, ні робота [8] не містять згаданої формули. Крім того, помилковість наведеної вище формули можна доказати наступним чином. В [7, 8] В.Ф. Неупокоев при оцінці ефективності стрільби по групі цілей використовує функцію біноміального розподілу. В найпростішому випадку – рівної імовірності поразки цілі за одну стрільбу, імовірність знищення не менше  $N_{\text{ц}}$  розраховується згідно виразу:

$$P(N_{\text{ц}}) = \sum_{i=N_{\text{ц}}}^{N_{\text{ст}}} C_{N_{\text{ст}}}^i \cdot p^i \cdot (1-p)^{N_{\text{ст}}-i}, \quad (1)$$

де  $C_{N_{\text{ст}}}^i = \frac{N_{\text{ст}}!}{i! \cdot (N_{\text{ст}} - i)!}$  – біноміальні коефіцієнти;  $p$  – імовірність поразки цілі за одну стрільбу,  $N_{\text{ст}}$  – кількість стрільб.

Аналогічний підхід використовується також для оцінки бойової ефективності винищувачів в [9].

Для біноміального розподілу МСП числа знищених ЗПН розраховується як:

$$M_{\text{ЗПН}} = N_{\text{ст}} \cdot p. \quad (2)$$

Тільки в тому випадку, якщо  $M_{\text{ЗПН}}$  розраховано за виразом (2) можливо використовувати формулу:

$$p = M_{\text{ЗПН}} / N_{\text{ст}}. \quad (3)$$

Однак з хибної формули (2) [6] слідує, що імовірність знищення ЗПН визначається за формулою:

$$P(N_{\text{ЗПН}}) = M_{\text{ЗПН}} / N_{\text{ЗПН}}. \quad (4)$$

Ця помилка виникла в наслідок того, що автори [6], використовуючи [10] не врахували наступне застереження: “Якщо вважати, що математичне сподівання кількості знищених засобів повітряного противника можна виразити як добуток вихідної кількості засобів повітряного нападу на середньостатистичну імовірність ( $P_{\text{з сер}}$ ) знищення окремого ЗПН при відбитті удару повітряного противника, тоді за фізичним змістом показник ефективності відбиття масованого удару ЗПН можна трактувати як цю імовірність”. А коли це можливе? Тільки якщо кількість стрільб строго дорівнює кількості цілей ( $N_{\text{ст}} = N_{\text{ЗПН}}$ ). Крім того щоб імовірність знищення всіх ЗПН дорівнювала імовірності знищення однієї цілі за одну стрільбу  $P(N_{\text{ЗПН}}) = p$  необхідно щоб

$N_{st} = N_{ЗПН} = 1$ . Тобто вираз (2) [6], у зазначеному контексті, є помилковим крім одного, не маючого практичного значення, випадку.

## 2. Аналіз коректності розрахунку імовірності через кількість ураження цілей, яка отримана під час імітаційного моделювання

Розглянемо коректність та точність визначення імовірності у випадку якщо у виразах (3) та (4) використовується не  $M_{ЗПН}$ , яка розрахована за виразом (2), а  $M_{ЗПН}^*$ , яка отримана при імітаційному моделюванні. Звичайно, для величини, яка отримана в наслідок імітаційного моделювання, термін МСП прийнятний тільки при безкінечному числі стрільб. В реальних умовах більш прийнятний термін вибірково середнє, яке є оцінкою МСП, на що вказує зірочка в записі  $M_{ЗПН}^*$ . Нажаль, ця неточність присутня в статті [2]. Однак там вона не призводить до інших помилок, хибних рішень та висновків.

Е.С. Вентцель в [11] попереджувала: “Очевидно, что вероятности таких событий, как “попадание в цель при выстреле”, “выход из строя радиолампы в течении одного часа работы” или “пробивание брони осколком снаряда”, также не могут быть вычислены по формуле (2.2.1), так как соответствующие опыты к схеме случаев не сводятся”.

Вираз (2.2.1) має вигляд  $P(A) = m/n$ , де  $P(A)$  – імовірність події  $A$ ,  $n$  – загальна кількість випадків,  $m$  – кількість випадків, в яких відбулась подія  $A$ .

Для таких подій, як “попадання в ціль при вистрілі” замість імовірності вводять поняття частоти події  $A$  [11] (в деяких джерелах, наприклад [12], частності події) в даній серії опитів, яка визначається як відношення числа опитів, в яких подія  $A$  відбулася, до загального числа опитів в даній серії  $\omega = m/n$ . Від серії до серії частота подій випадковим образом змінюється. Таким чином, частота подій є випадковою оцінкою  $\omega = P^*(A)$  невідповідної величини імовірності  $P(A)$ . Отримавши таку оцінку ми можемо казати лише про те, що істинне значення імовірності  $P(A)$  знаходиться в межах інтервалу, який має довіру із заданою нами імовірністю, наприклад 99%, а з імовірністю 1% (100% – 99%) перебуває за межами цього інтервалу. Інтервали, що мають довіру 90%, 95%, 99% для біноміального розподілу розраховані і наведені в додатках [12]. Пояснимо це на прикладах.

Приклад №1: об'єкт атакований 48 літаками, імітаційне моделювання показало ураження 35 з них. В цьому випадку ми маємо частоту 0,729, інтервал, що має довіру 99% – 0,535 < p < 0,875.

Приклад №2: об'єкт атакований 12 літаками, імітаційне моделювання показало ураження 9 з них. В цьому випадку ми маємо частоту 0,750, інтервал, що має довіру 99% – 0,345 < p < 0,970.

Приклад №3: об'єкт атакований 4 літаками, імітаційне моделювання показало ураження 3 з них. В цьому випадку ми маємо частоту 0,750, інтервал, що має довіру 99% – 0,111 < p < 0,999.

Як ми бачимо з прикладів, при малих нарядах літаків на ураження об'єкта оцінка імовірності через частоту події є достатньо грубою. Тому новий підхід [1-5], оснований на використанні розрахункових формул (1) або (5) є більш переконливим та точним.

Деякі автори, наприклад [10], намагаючись зменшити інтервал, що має довіру 99%, пропонують оцінювати так звану “середньостатистичну імовірність ( $P_{з\text{сер}}$ ) знищення окремого ЗПН” за весь удар. Дійсно, якщо в ударі приймають участь, наприклад 400 ЗПН, а знищено 200 з них то інтервал, що має довіру 99% буде мати наступні значення: 0,435 < p < 0,565. Однак при такому підході виникають інші проблеми, які потребують вирішення.

## 3. Аналіз коректності використання “середньостатистичної імовірності ( $P_{з\text{сер}}$ ) знищення окремого ЗПН в ударі” для оцінки ефективності прикриття кожного окремого об'єкта

До цього ми розглядали гіпотетичні умови коли використовується тільки один тип вогневого засобу та по кожній цілі проводилась лише одна стрільба. В більш наближених до практики умовах імовірність ураження цілі різними видами озброєння винищувача або різними типами ЗРК є різною і дорівнює  $p_j$ , де  $j$  – тип озброєння або тип ЗРК. Тоді, для випадку прикриття 1-го об'єкту  $K_1$  типами ЗРК імовірність ураження не менш  $N_{ц1}$  цілей дорівнює:

$$P_1(N_{ц1}) = \sum_{i1=0}^{N_{st1,1}} \dots \sum_{iK=0}^{N_{stK,1}} A_1 \cdot P_1(i1) \cdot P_2(i2) \cdot \dots \cdot P_{K_1}(iK_1), \quad (5)$$

$$\text{де } A_1 = \begin{cases} 1, & \text{якщо } N_{ц1} \leq i1 + i2 + \dots + iK_1, \\ 0, & \text{якщо } N_{ц1} > i1 + i2 + \dots + iK_1 \end{cases}$$

$$P_j(i) = C_{N_{stj}}^i \cdot p_j^i \cdot (1 - p_j)^{N_{stj} - i},$$

$N_{stj,1}$  – кількість стрільб  $j$ -м типом озброєння (або типом ЗРК),  $j = \overline{1, K}$ .

МСП кількості знищених ЗПН за результатами удару по всіх об'єктах в цьому випадку можливо розрахувати згідно виразу:

$$M_{ЗПН} = \sum_{l=1}^{K_1} \sum_{j=1}^{\overline{1, K}} p_j \cdot N_{stj,1}. \quad (6)$$

Як бачимо МСП є інтегральним показником з якого неможливо зворотно отримати  $p_j$  та  $N_{stj,1}$ .

За результатами імітаційного моделювання деякі автори пропонують нам отримати випадкову оцінку  $M_{ЗПН}^*$ , потім оцінити так звану “середньостатистичну імовірність ( $P_{з\text{сер}}^*$ ) знищення окремого

ЗПН” за весь удар як  $P_{3\text{сер}}^* = M_{\text{ЗПН}}^* / N_{\text{ЗПН}}$ , де  $N_{\text{ЗПН}} = \sum_1 N_{\text{цл}}$ . Імовірність знищення  $N_{\text{цл}}$  цілей, що атакують 1-й об’єкт вони пропонують розраховувати за виразом  $P_1(N_{\text{цл}}) = P_{3\text{сер}}^* N_{\text{цл}}$ . Вочевидь при такому підході прикриття об’єктів, які мають сильну ППО, буде знижуватися, а тих, які мають слабку ППО – завишатися. Тобто ми будемо отримувати не точні оцінки ефективності прикриття окремих об’єктів, що є неприпустимим.

**4. Аналіз можливості використання МСП в якості критеріального порогового рівня**

В якості основи для порівняння підходів [1 – 5] та [6] доцільно обрати імовірність збереження ВДО, оскільки це вона характеризує якість досягнення основної цілі функціонування системи ППО ВДО. Якщо в підходах [1 – 5] ця імовірність задається в якості порогу для всіх напрямків атаки противником об’єкта, то в підході, який ґрунтується на МСП [6], вона в явному вигляді не визначена. Тому постає необхідним дослідження питання на яку імовірність збереження ВДО ми можемо розраховувати при підході [6].

Обидва наведені вище підходи ґрунтуються на припущенні, що випадкова величина числа знищених цілей має біноміальний розподіл. Завдяки цьому в [6] МСП визначається як добуток числа стрільб на імовірність ураження цілі в одній стрільбі.

Таким чином, використовуючи функцію розподілу імовірності для біноміального розподілу, визначаємо імовірність того, що число збитих цілей не перевищить свого МСП, що в цьому випадку [6] має за умову збереження об’єкта.

На рис. 1, а показано сімейство залежності імовірності цієї події від числа стрільб (числа випробувань) для різних (0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7) ймовірностей ураження цілі в одній стрільбі.

Залежності, наведені на рис. 1, а, добре суміщаються з відомим для біноміального розподілу фактом, що МСП співпадає з однією з медіан. Таким чином, вказана імовірність при безкінечному числі випробувань буде наближуватися до 0,5. Однак дискретність біноміального розподілу приведе до того, що МСП, яка часто не є цілим числом, попадає між цілочисленими дискретами, що викликає відхилення в більшій або в меншій бік від рівня 0,5. Ці відхилення стають тим більшими, чим менше число стрільб (число випробувань). На рис. 1, б наведені більш детально залежності, приведені на рис. 1, а на інтервалі від 2 до 12 стрільб (випробувань).

Як правило неможливо створити абсолютно симетричне угруповання ППО, яке було б здатне з усіх напрямків на малих висотах забезпечити однакову кількість стрільб. У зв’язку з цим у відповідності до рис. 1, б імовірність збереження об’єкта з різних напрямків буде різною.

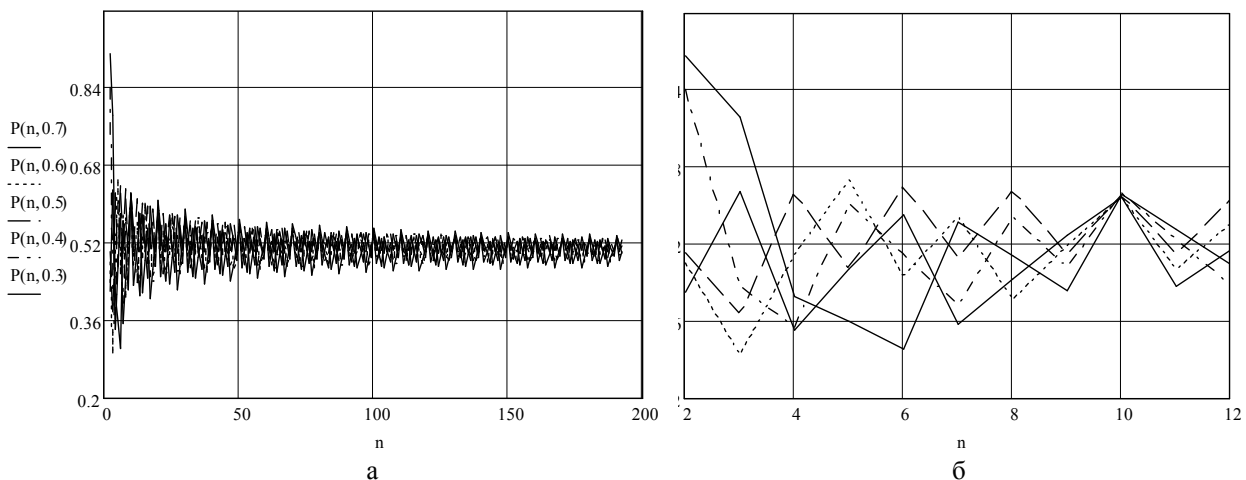


Рис. 1. Залежність імовірності того, що випадкова величина числа знищених цілей не перевищить свого математичного сподівання (а) та її деталізація (б)

**5. Уточнення понять показника та критерію оцінки якості прикриття ВДО**

Критерій (гр. kriterion - ознака для судження) – ознака, підстава, правило прийняття рішення щодо оцінки чого-небудь на відповідність пред’явленим вимогам (мірі). У нашому випадку при оцінці системи ППО ми маємо два судження (дві оцінки, два рішення): система ППО прикриває об’єкт або система ППО не прикриває об’єкт.

У нашому випадку критерієм є та ознака, то правило, за яким ми визнаємо істинним перше або

друге судження (оцінку). Тип критерію пороговий, тому й правило, ознака – порогові. Воно формулюється за принципом: якщо показник перевищує пороговий рівень, то істинним вважаємо перше судження, а в іншому випадку – друге.

Показник – узагальнена характеристика будь-якого об’єкта, процесу або його результату, поняття або їх властивостей, зазвичай, виражена в чисельній формі. У нашому випадку метою створення системи ППО є прикриття (збереження) об’єктів. Характеристикою процесу або результату прикриття є імовір-

ність отримання потрібного результату (імовірність збереження об'єктів). Обчислюючи цю імовірність для існуючої системи ППО та заданого наряду ЗПН противника ми отримуємо її числове значення для кожного азимута.

На підставі числового значення показника і вибраного критерію приймаємо істинним одне з суджень щодо прикриття об'єкту.

Нажаль в [6] ці поняття дещо переплутані, тому зазначена робота містить не зовсім коректний вираз: "Критерій є кількісним, а його величина суттєво залежить від способів, засобів і умов застосування сил та засобів прикриття ВДО. Тобто він чутливий по відношенню до параметрів, які впливають на якість прикриття ВДО".

## Висновки

Таким чином в статті обґрунтована необхідність переходу до нових підходів з оцінки ефективності прикриття ВДО [1 – 5].

Використання оцінки, яка ґрунтується на МСП, для розрахунку імовірності збереження об'єктів, на думку автора, є не досить коректним, тому що при малих нарядах ЗПН на ураження об'єктів, необхідно враховувати досить широкий довірчий інтервал оцінок імовірності.

Критерій, який ґрунтується на МСП в якості порогового рівня [6], на думку автора, можливо використовувати лише в умовах великих угруповань та широкомасштабних бойових дій, коли число стрільб на кожному напрямі більше 100 і імовірність збереження об'єктів, що дорівнює 0,5 задовольняє командувача (командира).

## Список літератури

1. Жарик О.М. Вибір показника і критерію оцінки якості прикриття об'єктів Євро-2012 від терористичних актів з використанням літальних апаратів / О.М. Жарик // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2012. – № 2(8). – С. 29-32.
2. Жарик О.М. Показники і критерії оцінки ефективності прикриття важливих державних об'єктів і угруповань військ (сил) / О.М. Жарик // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2012. – № 3(9). – С. 18-26.

3. Оцінка імовірнісних показників можливостей по прикриттю визначених об'єктів винищувальною авіацією в програмному комплексі моделювання бойових дій "Віраж – РД" / С.П. Лещенко, С.І. Бурковський, О.І. Бобикіна, О.М. Жарик // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба*. – 2011. – Випуск №3 (29). – С. 19-24.

4. Оцінювання показників бойових можливостей по прикриттю визначених об'єктів угрупованням зенітних ракетних військ за допомогою програмного комплексу оперативно-тактичних розрахунків і імітаційного моделювання розіграшу бойових дій "Віраж – РД" / С.П. Лещенко, М.П. Батурицький, С.І. Бурковський, Л.В. Польшина, О.М. Жарик // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба*. – 2012. – Випуск №2 (31). – С. 4-10.

5. Жарик О.М. Методика оцінки прикриття важливих державних об'єктів від терористичних актів з використанням літальних апаратів / О.М. Жарик // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба*. – 2012. – Випуск №3 (32). – С. 166-177.

6. Підходи до вибору критеріїв оцінювання якості прикриття важливих державних об'єктів / С.І. Онищенко, О.М. Жарик, В.В. Коваль, Д.В. Дяченко // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2011. – № 1(5). – С. 4-7.

7. Неупокоев Ф.К. Противовоздушный бой / Ф.К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1989. – 435 с.

8. Неупокоев В.Ф. Стрельба зенітними ракетами / Ф.К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1991. – 343 с.

9. Дуров В.Р. Боевое применение и боевая эффективность истребителей-перехватчиков / В.Р. Дуров. – М.: Воениздат, 1972. – 250 с.

10. Моделювання бойових дій військ (сил) проти повітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку). Монографія / Городнов В.П., Дробаха Г.А., Ермошин М.О., Смірнов Є.Б., Ткаченко В.І. – Х.: ХВУ, 2004. – 410 с.

11. Венцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 7-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.

12. Дунин-Барковский В.И., Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике. – М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы., 1955. – 557 с.

Надійшла до редколегії 11.04.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.П. Лещенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ВЫБОРУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРИКРЫТИЯ ВАЖНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

А.Н. Жарик

*Проведен сравнительный анализ разных подходов к выбору показателей и критериев оценки качества прикрития важных государственных объектов.*

**Ключевые слова:** показатель, критерий, оценка, качество, прикрытие, важные государственные объекты, противовоздушная оборона.

## ANALYSIS OF THE GOING IS CONDUCTED NEAR THE CHOICE OF INDEXES AND CRITERIA OF ESTIMATION OF QUALITY OF PROTECTION OF IMPORTANT STATE OBJECTS

O.M. Zharik

*The comparative analysis of the different going is conducted near the choice of indexes and criteria of estimation of quality of protection of important state objects.*

**Keywords:** index, criterion, estimation, quality, protection, important state objects, air defense.