

УДК 355

В.В. Шулежко

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## ПОКАЗНИКИ ТА КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНО-АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ПРИКРИТТЯ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ВРАХУВАННІ ВТРАТ СТОРІН

*У статті надається вибір показників та критерію ефективності функціонування системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів при врахуванні втрат сторін для обґрунтування раціонального варіанту структури системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття.*

**Ключові слова:** показник, критерій, ефективність, система зенітного ракетно-артилерійського прикриття.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Для прикриття об'єктів, до яких слід відносити важливі об'єкти держави та угруповання військ (сил), в угрупованні зенітних ракетних військ (ЗРВ) створюється система зенітного ракетно-артилерійського прикриття (ЗРАП) об'єктів. Вона представляє собою організовану й узгоджену за єдиним замислом і планом протиповітряної оборони сукупність взаємодіючих і одночасно функціонуючих систем зенітного ракетного вогню, розвідки, управління, забезпечення бойових дій зенітних ракетних підрозділів (частин), які розгорнуті у бойовий порядок для виконання бойового завдання [1].

Реалізація властивостей системи ЗРАП об'єктів залежить від варіанту побудови її структури, під якою мається на увазі визначена командиром одна з можливих, за даних умов обстановки, комбінація взаємного розташування на місцевості її основних елементів та взаємозв'язків між ними [2]. Задача полягає в тому, щоб науково обґрунтувати раціональний варіант структури системи ЗРАП об'єктів в умовах поведінкової невизначеності застосування засобів повітряного нападу (ЗПН). При порівнянні варіантів структури системи ЗРАП об'єктів виникає задача кількісного вимірювання абсолютного, або хоча б відносного, значення ефективності функціонування системи ЗРАП об'єктів. Що потребує вибору відповідних показників і критерію для обґрунтування раціонального варіанту структури системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів в умовах поведінкової невизначеності застосування ЗПН при врахуванні втрат сторін.

**Аналіз літератури.** Проведений аналіз літератури показав, що в [1] наведені узагальнені показники, які характеризують ефективність дій угруповання протиповітряної оборони (ППО) у цілому, і часткові (детальні), що характеризують ефективність дій окремих його елементів. Такий підхід дає можливість здійснювати поетапне визначення потрібних параметрів системи ППО, починаючи з пошуку ра-

ціональних значень узагальнених параметрів і закінчуючи деталізацією окремих елементів оперативного шиккування військ (сил) ППО згідно із заданим критерієм ефективності протиповітряної оборони. В [2] наведено теоретичні основи синтезу адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ, які охоплюють показники та критерії ефективності бойових дій та бойових можливостей зенітних ракетних військ (зенітної артилерії), моделі, методики й алгоритми (засоби) формування даних для прийняття рішень та синтезу адаптивних структур систем зенітного ракетного (зенітного артилерійського) вогню, розвідки й управління, забезпечення бойових дій пристосовано до змін умов обстановки та стану військ. Але в наведеній літературі не приділяється увага вибору показників та критерію ефективності функціонування системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів для визначення раціонального варіанту структури цієї системи з врахуванням втрат сторін.

**Мета статті.** Дана стаття присвячена вибору показників та критерію ефективності функціонування системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів для визначення раціонального варіанту структури цієї системи, які дозволять знайти взаємозв'язок між можливими втратами своїх військ та об'єктів, що прикриваються, і втратами ЗПН, які вони несуть завдяки обґрунтованому вибору розміщення елементів структури системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів.

### Основна частина

Система ЗРАП об'єктів у відповідності до [3] складає зміст організаційно-технічної системи. Під організаційно-технічною системою розуміється сукупність елементів та зв'язків між ними. В залежності від призначення системи зв'язки між елементами можуть бути сталими або такими що змінюються за часом. Зміна зв'язків між елементами визначається впливом зовнішніх умов або командами управління від підсистеми, яка ці команди виробляє. Будь яка

система з часом змінює зв'язки між своїми елементами тому що змінюються зовнішні умови впливу, в такому розумінні висловлюють думку, що система функціонує в часі.

Наведені вище поняття свідчать про те, що є підстави стверджувати що система ЗРАП об'єктів функціонує в часі. Всяка організаційно-технічна система, в тому числі система ЗРАП об'єктів, розробляється і створюється для виконання визначених бойових завдань. Той результат функціонування системи, який закладається при її створенні відповідає її цільовим призначенням. Результат функціонування системи при її реальному застосуванні завжди не співпадає з тим результатом, який передбачався при її створенні. Так як на результат функціонування системи при її застосуванні впливають випадкові фактори природи, то його називають можливим, а результат, який передбачається при її створенні передбачуваним результатом.

Під ефективністю функціонування системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів необхідно розуміти відповідність можливого результату функціонування системи ЗРАП об'єктів до результату який передбачається [3].

Під показником ефективності функціонування системи слід розуміти чисельну міру відповідності можливого результату функціонування системи до результату який передбачається.

Процес прикриття важливих об'єктів держави, угруповання військ (сил) при проведенні наземної оборонної операції оперативного угруповання військ за прийнятим розумінням [3] є операцією. В загальному сенсі під операцією розуміють систему цілеспрямованих дій для досягнення єдиної цілі. В поняття операції включають:

- оперуючу сторону, яка володіє засобами враження та планує їх застосування за найбільш доцільними стратегіями для досягнення цілі операції;
- другу сторону в операції, до складу якої входять об'єкти поразення;
- можливість враховувати наявність третьої сторони.

При такому розумінні мета операції співпадає з результатом функціонування системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів, яка вимірюється в тих же одиницях що і результат функціонування системи. Тому тлумачення ефективності функціонування системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів за своїм змістом співпадає з тлумаченням ефективності операції.

Всякий показник ефективності функціонування системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів (показник ефективності операції) відбиває мету операції, а також повинен відповідати наступним вимогам [3]: змістовності; інтерпретируемості; вимірності; відповідності системі переваг особи, яка приймає рішення.

Для опису відповідності можливого (реального) результату операції результату, який передбачається, вводять [3] числову функцію відповідності результатів операції:

$$\rho = \rho[Y(u), Y^{(np)}], \quad (1)$$

де  $Y^{(np)}$  – результат операції, який передбачається;  $Y(u)$  – можливий результат при плануванні діяти у відповідності до стратегії  $u \in U$ , де  $U$  – множина стратегій.

Таку числову функцію прийнято називати функцією відповідності можливого результату і результату який передбачається. При розгляді прикриття об'єктів результат операції  $Y(u)$  є величиною випадковою. Тоді функція відповідності (1), як не випадкова функція випадкового аргументу  $Y(u)$  та не випадкового аргументу  $Y^{(np)}$  є також випадкова величина. Таке розуміння функції випадковості дозволяє в якості показника ефективності операції прийняти математичне сподівання випадкової величини функції відповідності, тобто

$$W(u) = M[\rho(Y(u), Y^{(np)})].$$

Тоді, якщо мета операції описується випадковою подією  $A$ , яка настає коли має місце можливий результат операції, і подія  $A$  не настає коли можливий результат операції не досягається, маємо

$$\rho[Y(u), Y^{(np)}] = \begin{cases} 1, & \text{якщо подія } A \text{ сталася;} \\ 0, & \text{якщо подія } A \text{ не сталася.} \end{cases} \quad (2)$$

Так як (2) є дискретна випадкова величина, яка приймає два своїх можливих значення, то будемо мати що

$$W(u) = M[\rho(Y(u), Y^{(np)})] = P_u(A),$$

де  $P_u(A)$  – імовірність події  $A$  при визначенні стратегії  $u \in U$ , тобто імовірність події яка полягає в тому що в операції досягнуто її можливий результат.

Тоді маємо, що показник ефективності операції визначається імовірністю випадкової події, яка полягає в тому що випадковий результат досягнуто при  $u \in U$ .

Якщо в якості події  $A$  розглянути відношення між реальним результатом операції і результатом який необхідний, а саме

$$A = \{Y(u) \geq Y^{(np)}\},$$

де  $Y(u)$  – випадкова величина результату операції;

$Y^{(np)}$  – детермінована величина результату операції який необхідний.

Тоді маємо

$$\rho[Y(u), Y^{(np)}] = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Y(u) \geq Y^{(np)}; \\ 0, & \text{якщо } Y(u) < Y^{(np)}. \end{cases}$$

а показник ефективності має визначення

$$W(u) = M[\rho(Y(u), Y^{(np)})] = P(Y(u) \geq Y^{(np)}). \quad (3)$$

Такий показник прийнятого тлумачити як імовірнісна гарантія виконання поставлених завдань. Причому умова  $Y(u) \geq Y^{(np)}$  визначає що всі можливі значення випадкової величини  $Y(u)$  перевищують  $Y^{(np)}$ , а умова  $Y(u) < Y^{(np)}$  означає що хоча б одно можливе значення випадкової величини не перевищує  $Y^{(np)}$ . В тому разі коли випадкова подія  $A$  буде відповідати умові що можливий результат операції належить деякому інтервалу результату операції який необхідний, тобто якщо

$$A = \{Y_1^{(np)} \leq Y(u) \leq Y_2^{(np)}\},$$

де  $Y_1^{(np)}, Y_2^{(np)}$  – відповідно ліва та права межі інтервалу результату операції який необхідний.

То будемо мати

$$W(u) = P_u(A) = P(Y_1^{(np)} \leq Y(u) \leq Y_2^{(np)}) = F_u(Y_2^{(np)}) - F_u(Y_1^{(np)}),$$

де  $F_u(Y_2^{(np)}), F_u(Y_1^{(np)})$  – значення функції розподілу випадкової величини  $Y(u)$  при  $Y(u) = Y_2^{(np)}$  та  $Y(u) = Y_1^{(np)}$  при стратегії застосування засобів поразення  $u \in U$ .

Якщо мета операції носить кількісний характер, то в якості показника ефективності операції може бути прийнятий результат  $Y_\alpha$ , отриманий з заданою імовірністю  $\alpha$ , тобто

$$\alpha = P(Y(u) \geq Y_\alpha).$$

Очевидно,  $\alpha = 1 - F(Y_\alpha)$ , де  $F(Y)$  – функція розподілу реального результату операції,  $Y_\alpha$  – квантіль. При цьому  $Y_\alpha = F^{-1}(1 - \alpha)$  є величина не випадкова. Таким чином, показник ефективності

$$W(u) = Y_\alpha$$

називається імовірнісно-гарантованим результатом операції.

Отже розглянуті найбільш вживані показники результату операції. Під операцією, в даному випадку, розуміється протидія сторін: угруповання ЗРВ та угруповання ЗПН. В результаті протидії, сторони будуть нести втрати. Втрати в угрупованні ЗРВ будуть визначатись кількістю вражених об'єктів прикриття ( $X_{оп}^{(bp)}$ ) і кількістю вражених елементів (цілей) в угрупованні ЗРВ ( $X_{зрв}^{(bp)}$ ). Втрати в угрупованні ЗПН будуть визначатись кількістю вражених ЗПН ( $Y_{зпн}^{(bp)}$ ). Дані величини є випадковими і не відповідають відомим законам їх розподілу, будуть розраховуватись по показникам математичних сподівань числа вражених об'єктів сторін. При відсутності законів розподілу визначених вище випадкових величин одним із способів визначення результату операції є статистичне моделювання. Таким чином, показниками ефективності функціонування системи ЗРАП об'єктів можливо визначити статистичну оцінку математичного сподівання числа вражених об'єктів сторін

$$(M[X_{зрв}^{(bp)}], M[X_{оп}^{(bp)}], M[Y_{зпн}^{(bp)}]).$$

У відповідності до [3] під критерієм ефективності функціонування системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів (операції) розуміють правило, за яким приймається чи відхиляється та чи інша альтернатива. Всякий критерій вводиться на основі принципу раціональної поведінки. З точки зору концептуальної поведінки відпрацювання рішень критерії розподіляють: критерії придатності; критерії оптимізації. Відповідно концепції придатності раціональною стратегією  $u \in U$  вважається та при якій вибраний показник ефективності приймає значення не менше заданого, тобто

$$W(u) \geq W^{(np)}.$$

При такому підході рівень  $W^{(np)}$  ділить всю множину допустимих стратегій  $U$  на дві підмножини:  $U_1$  – множина допустимих стратегій, та  $U \setminus U_1$  – множина недопустимих стратегій.

Всі стратегії  $u \in U_1$  є рівноцінними, тому концепція придатності приводить до негнучкої та нецілеспрямованої системи прийняття рішень.

До критеріїв придатності відносять: критерій прийнятного результату; критерій допустимої гарантії; критерій допустимого гарантованого результату.

Для критерію прийнятного результату в умовах визначеності в якості показника ефективності може бути вибрано результат операції  $Y(u)$ , мета якої носить кількісний характер. В цьому випадку  $\rho(Y(u), Y^{(np)}) = Y(u)$ . Критерій прийнятного результату рекомендує вибирати стратегію  $u$  із множини допустимих, що задовольняє умові:

$$u^*: Y(u) \geq Y^{(np)}.$$

Критерій допустимої гарантії, що відповідає умові  $u^*: P(Y(u) \geq Y^{(np)}) \geq P^{(np)}$ , тобто імовірність події, яка відповідає тому що можливий результат операції перевищує результат операції що необхідний, перевищує заданий рівень імовірності цієї події.

Критерій допустимого гарантованого результату, що відповідає умові

$$u^*: Y_\alpha(u) \geq Y^{(np)}.$$

Концепція оптимізації визначає ті стратегії як раціональні, для яких

$$W(u^*) = \max_{u \in U} W(u),$$

де  $u^*$  – раціональна стратегія, яка визначена за критерієм оптимізації.

До критеріїв оптимізації відносять: критерій найбільшого середнього результату; критерій найбільшої імовірнісної гарантії результату; критерій найбільшого гарантованого результату.

За критерієм найбільшого середнього результату

$$u^*: \max_{u \in U} M[Y(u)],$$

тобто доцільною стратегією вважається та, яка забезпечує максимальне значення математичного сподівання випадкової величини можливого результату

операції; За критерієм найбільшої імовірнісної гарантії результату

$$u^* : \max_{u \in U} P(Y(u) \geq Y^{(np)}),$$

тобто доцільною стратегією вважається та, на якій забезпечується максимальне значення імовірності події, яка полягає в тому, що можливий результат операції при застосуванні  $u \in U$  перевищує результат який необхідний  $Y^{(np)}$ .

За критерій найбільшого гарантованого результату при випадковому характері результату  $Y(u)$  операції гарантованим результатом називають рівень  $Y_\alpha(u)$ , не нижче якого буде отриманий результат з заданою імовірністю  $\alpha$ , тобто

$$\alpha = P(Y(u) \geq Y_\alpha(u)).$$

Отже оптимальну стратегію вибирають із умови

$$u^* : \max_{u \in U} Y_\alpha(u).$$

Найважливішим положенням якого слід притримуватись при виборі критерію ефективності операції, являється узгодження мети операції і критерію ефективності. Метою операції, в даному випадку протидії угруповання ЗРВ та угруповання ЗПН є:

- знищення максимальної кількості засобів повітряного нападу противника;
- забезпечення мінімальних втрат озброєння і військової техніки;
- збереження максимальної кількості елементів структури системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів;
- забезпечення мінімальних втрат об'єктів прикриття.

Отже, виходячи з мети операції, визначених показників ефективності операції і необхідності врахування втрат сторін можливо визначити критерій для обґрунтування структури системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів:

$$v^* : \max_{v \in V} (M[X_{зрв}^{(sp)}] + M[X_{оп}^{(sp)}]) - M[Y_{зпн}^{(sp)}],$$

де  $M[X_{зрв}^{(sp)}]$  – статистична оцінка математичного сподівання числа поражених елементів структури системи ЗРАП;

$M[X_{оп}^{(sp)}]$  – статистична оцінка математичного сподівання числа поражених об'єктів прикриття;

$M[Y_{зпн}^{(sp)}]$  – статистична оцінка математичного сподівання числа поражених засобів повітряного нападу;

$V$  – множина варіантів побудови структури системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів.

## Висновки

Таким чином, для обґрунтування раціонального варіанту структури системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів в умовах поведінкової невизначеності застосування ЗПН при врахуванні втрат сторін в якості показників ефективності операції вибрано статистичну оцінку математичного сподівання числа поражених об'єктів сторін, а критерієм – максимальне значення різниці між сумарним значенням статистичної оцінки математичного сподівання числа поражених елементів структури системи ЗРАП і об'єктів прикриття та статистичною оцінкою математичного сподівання числа поражених ЗПН.

## Список літератури

1. *Моделирование боевых действий войск (сил) противотанковой обороны та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку: монографія / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко. – Х.: ХВУ, 2004. – 300 с.*
2. *Синтез адаптивних структур систем зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка їх ефективності (теорія, практика, тенденції розвитку): моногр. / А.Я. Торопчін, І.О. Кириченко, М.О. Єрмошин та ін. – Х.: ХУПС, 2006. – 348 с.*
3. *Надёжность и эффективность техники. Справочник в 10т. / [под ред. Ф.В. Уткина, Ю.В. Крючкова]. – М.: Машиностроение, 1988. – Т. 3: Эффективность технических систем. – 1988. – 320 с.*

Надійшла до редколегії 11.02.2015

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

## ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНО-АртиЛЕРИЙСКОГО ПРИКРЫТИЯ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ СТОРОН

В.В. Шулежко

*В статье приводится выбор показателей та критерия эффективности функционирования системы зенитного ракетно-артиллерийского прикрытия объектов с учётом потерь сторон для обоснования рационального варианта структуры системы зенитного ракетно-артиллерийского прикрытия.*

**Ключевые слова:** показатель, критерий, эффективность, система зенитного ракетно-артиллерийского прикрытия.

## INDICATORS AND CRITERION OF EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF SYSTEM OF ANTI-AIRCRAFT ROCKET-ARTILLERY COVER OF OBJECTS WITH THE ACCOUNT OF LOSSES OF THE PARTIES

V.V. Shulezhko

*In article to be resulted the choice of indicators that of criterion of efficiency of functioning of system of the antiaircraft is rocket-artillery covers of objects with the account of losses of the parties for a substantiation of a rational variant of structure of system of the antiaircraft is rocket-artillery covers.*

**Keywords:** index, criterion, efficiency, system of the antiaircraft it is rocket-artillery covers.