

УДК 629.7.05(083)

О.Б. Леонт'єв<sup>1</sup>, Д.В. Рамшов<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Державний науково-випробувальний центр ЗС України, Феодосія

## ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ ВНЕСКІВ ОСНОВНИХ ГРУП ВЛАСТИВОСТЕЙ В УЗАГАЛЬНЕНИЙ ПОКАЗНИК ЯКОСТІ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСУ

Показано, що ціла низка практично важливих завдань потребує наявності моделей, що пов'язують загальний показник якості зенітного ракетного комплексу та його тактико – технічні характеристики. Обґрунтоване обрання факторного простору для побудови кваліметричної моделі коефіцієнту бойового потенціалу зенітного ракетного комплексу. Визначені вагові внески основних груп властивостей в узагальнений показник якості зенітного ракетного комплексу методом експертної оцінки. Визначені подальші напрямки роботи по побудові математичної залежності коефіцієнту бойового потенціалу зенітного ракетного комплексу від його визначаючих тактико-технічних характеристик.

**Ключові слова:** узагальнений показник бойової ефективності, коефіцієнт бойового потенціалу, бойовий потенціал, зенітний ракетний комплекс, метод експертної оцінки, факторний аналіз, факторний простір, математична модель, тактико – технічні характеристики.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Особливе місце при розв'язуванні задач синтезу перспективних систем озброєння та військової техніки займає оцінка ефекту (потенційних можливостей) від застосування цих систем за призначенням. Потенційні можливості зенітних ракетних комплексів звичайно характеризуються одним або декількома показниками, чисельне значення яких визначає ступінь задоволення вимог до ефективності бойових дій, тобто потенційної ефективності угруповань військ. До основних показників ефективності бойового застосування частин та підрозділів зенітних ракетних військ (ЗРВ) та які затвердженні відповідними бойовими статутами, входять [1]:

математичне очікування кількості знищених цілей в конкретних умовах обстановки;

співвідношення сил сторін за напрямками й рубежами;

збиток, якого запобігли об'єкти, що прикриваються.

Зрозуміло, що конкретні значення названих показників суттєво залежать від властивостей озброєння та військової техніки (ОВТ), якими оснащені частини та підрозділи зенітних ракетних військ. Частковими показниками потенційної ефективності бойового застосування частин та підрозділів ЗРВ є узагальнені показники якості ЗРК, вірне оцінювання яких дозволить вірно оцінювати бойові можливості організаційно-штатних формувань.

Аналіз існуючих методичних підходів до оцінювання узагальнених показників якості зразків зенітно-ракетних комплексів (ЗРК), а саме: експериментальних методів, методів математичного моделювання та аналітичних методів, вказує на існування ряду чинників, що обмежують практичне ви-

користання наявних методів. Так застосування експериментальних методів передбачає великі матеріальні витрати та залежність результатів від обраного сценарію бойових дій. Методи математичного моделювання операцій передбачають великі ресурсні витрати моделюючих засобів та необхідність урахування великої кількості зовнішніх факторів.

Аналітичні методи оцінювання ефективності ведення бойових дій зенітно-ракетних частин та підрозділів, які поширено використовуються для прийняття обґрунтованих рішень на ведення бойових дій не враховують зв'язок між рівнем корисного ефекту від застосування визначеного ЗРК у складі зенітно-ракетної бригади (зрбр) та його тактико-технічними характеристиками, що описують якість зразка за призначенням. До того ж, аналітичними методами не завжди вдається врахувати вплив багатьох чинників, що безпосередньо впливають на бойові дії. Це стримує використання даних методів для розв'язування задач синтезу технічного обриса перспективних зенітних ракетних комплексів та тих, що модернізуються.

Враховуючи викладене в останній час велика увага приділяється розвитку кваліметричних методів оцінювання показників якості, які базуються на використанні інтегральних співвідношень між показниками якості зразка озброєння (визначаючими тактико-технічними характеристиками) та результатом його застосування при безпомилкових діях сторін. Один з найпоширеніших методів такого підходу є потенційнопайовий метод (метод бойових потенціалів) та його модифікації. Позитивним у такому підході є його відносна простота та придатність до аналізу залежності результату застосування зразків ОВТ від їх визначаючих тактико-технічних характеристик (ТТХ), а також можливість отримання практичних рекомендацій щодо вимог до значень цих ТТХ, задоволення яких забез-

печує досягнення бажаного результату [5]. В той же час, практично відсутні відомі кваліметричні моделі, що пов'язують узагальнений показник потенційної ефективності (коефіцієнт бойового потенціалу) зенітного ракетного комплексу з його визначаючими ТТХ.

**Аналіз літератури.** Для рішення задачі оцінювання узагальненого показника бойової ефективності ударних авіаційних комплексів (УАК) та оцінки бойових можливостей військ в операціях (бойових діях) в роботах [5, 6] використовується метод бойових потенціалів. Отримано оцінки внесків складових компонент угруповання та окремих груп властивостей УАК в загальний бойовий потенціал угруповання та авіаційного комплексу відповідно. В [5, 6, 8] розглянуті методичні підходи до порівняльної оцінки властивостей зразків бойової авіаційної техніки за методом бойових потенціалів, побудовані математичні моделі коефіцієнта бойового потенціалу тактичного літака, який виконує ударні задачі.

В роботах [6, 7] було доведено, що подання бойового потенціалу різнорідного збройного угруповання у векторному вигляді при відповідній декомпозиції результатів бойового функціонування систем ОВТ різних видів ЗС і родів військ дозволяє здійснювати порівняння таких систем в межах виконання окремо взятих бойових завдань операції. При цьому властивості кожного з конкретних типів ОВТ будуть описуватися не одним, а декількома значеннями коефіцієнтів бойового потенціалу з обранням, в загальному випадку, декількох еталонних засобів. Поширюючи названі підходи на угруповання ЗРВ, доцільно було би отримати оцінку та математичні моделі коефіцієнтів бойового потенціалу ЗРК при виконанні бойових завдань, що пов'язані із ураженням повітряних цілей [8]. Побудова такого роду моделей на першому етапі передбачає утворення відповідного «дерева властивостей» об'єкта досліджень, що визначить факторний простір, на якому слід будувати кваліметричні моделі.

**Метою статті** є обґрунтування вибору факторного простору для побудови математичної моделі залежності коефіцієнта бойового потенціалу ЗРК від його визначаючих ТТХ та проведення експертного оцінювання вагового вкладу кожної з визначених груп показників властивостей ЗРК в узагальнений показник його якості.

## Основний матеріал

Під коефіцієнтом бойового потенціалу ( $K_{БП}$ ) у вирішенні конкретного бойового завдання розуміють співвідношення потрібних бойових нарядів сил, яких оснащено сукупністю деяких ЗРК еталонного типу  $N_{ет}$  до сукупності ЗРК  $N_{оц}$ , що оцінюються:

$$K_{БП} = \frac{N_{ет}}{N_{оц}} \quad (1)$$

при умові, що оснащене сукупністю ЗРК еталонного типу організаційно-штатне формування при бойовому застосуванні досягне такого ж самого резуль-

тату (ефекту), що і у випадку, якщо його оснастити сукупністю ЗРК типу, який оцінюється.

Для обрання конкретного виду факторного підпростору для побудови математичної моделі  $K_{БП}$  ЗРК доцільно здійснити аналіз залежності узагальненого показника бойової ефективності ЗРК від його визначаючих ТТХ. В якості показника ефективності бойового застосування оберемо математичне сподівання кількості знищених ЗПН, яке згідно з бойовим статутом, є основним показником для розрахунку ефективності бойових дій ЗРВ[2,3]. Аналізуючи математичне сподівання кількості знищених ЗПН, як узагальнений показник бойової ефективності ЗРК, та її залежність від визначаючих ТТХ ЗРК можливо виділити наступні групи властивостей ЗРК, як показано на рис.1.

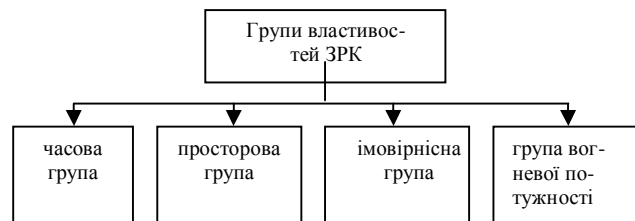


Рис. 1. Групи властивостей ЗРК

Визначаючі показники вказаних груп властивостей ЗРК будуть складатися:

**часова група:**  $T_{ц}$  – цикл стрільби;  $T_{роз}$  – час розгортання засобів ЗРК;  $T_{кфс}$  – час проведення контролю функціонування ЗРК;  $T_{згорт}$  – час згортання засобів ЗРК;

**просторова група:**  $D_{д}$  – дальня границя зони поразки;  $D_{б}$  – ближня границя зони поразки;  $D_{в}$  – верхня границя зони поразки;  $D_{н}$  – нижня границя зони поразки;

**імовірнісна група:**  $P_1$  – ймовірність знищення цілі однією ракетою;  $K_g$  – коефіцієнт готовності наземної апаратури ЗРК;  $K_{гзур}$  – коефіцієнт готовності обладнання ЗУР;

**група вогневої потужності:**  $Q$  – боекомплект ЗРК;  $N$  – кількість ракет в черзі;  $K$  – кількість цільових каналів ЗРК;  $J$  – інтервал між пусками ЗРК.

Властивості системи зенітно-ракетного прикриття відображаються згідно бойового статуту ЗРВ: просторовими, часовими, імовірнісними та вогневими показниками, які характеризують відповідність продуктивності системи прикриття очікуваній інтенсивності виникнення завдань і вимогам до бойових можливостей та ефективності бойових дій, що вказує на правильність обрання груп властивостей ЗРК для побудови математичної моделі КБП.

Таким чином для побудови математичної моделі КБП ЗРК визначені основні групи властивостей, які характеризують узагальнений показник ефективності ЗРК. В межах кожної групи визначена сукупність ТТХ, що описує дану групу.

Для отримання значень вагових внесків основ-

них груп властивостей в узагальнений показник якості ЗРК скористуємося методами експертного оцінювання.

На цей час відомо багато методів експертного оцінювання. Обрання того або іншого методу, якого доцільно застосувати для розв'язування конкретної задачі, залежить від якості та кількості наявної інформації для обробки. Коли об'єм інформації не великий експериментально встановлено, що більшу трудність для експерта представляє побудова ранжирування на основі одночасного врахування декількох різних ознак, по яких оцінюються об'єкти. В цих випадках експерти вирішують задачу попарного порівняння.

В методі попарних порівнянь [9] кожен з  $j$  експертів проводить  $S_N^2$  порівнянь, порівнюючи кожен об'єкт з кожним. Результатом порівняння є матриця розміру  $n \times n$ , де  $n$  – кількість об'єктів, в якій елементи приймають значення одиниці або нуля. Елемент матриці результатів парних порівнянь дорівнює одиниці ( $A_{ij} = 1$ ) тоді та й тільки тоді, коли за думкою  $j$ -го експерта  $i$ -й об'єкт краще  $j$ -го. В протилежному випадку  $A_{ij} = 0$ ,  $A_{ii} = 0$  – по визначенню. Таким чином матриця  $A$  є матрицею відношення пріоритетів.

Далі розраховують матрицю:

$$D = \sum_{j=1}^N A^j / N,$$

де  $N$  – кількість експертів;  $A^j$  – ранжирування, яке надано  $j$ -м експертом.

Виходячи з визначених  $p_{ij}$  та таблиць нормального розподілу розраховують  $Z_{ij}$ :

$$p_{ij} = \int_{-\infty}^{z_{ij}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-t^2/2) dt, \quad (2)$$

після чого визначають суму оцінок та середнє:

$$Z_i = \sum_{j=1}^n Z_{ij}; \quad Z_i^- = Z_i / n,$$

$Z_i^-$  приймають за оцінку об'єкту  $A_i$ , що відшуковується.

Наступним кроком розраховують показники відносної важливості об'єкта:

$$P_i^* = P_i^- / \sum_{j=1}^n P_j^-,$$

де  $P_i^- = G(Z_i^-)$  згідно (2).

Даний метод передбачає перевірку на узгодженість оцінок, для цього розраховують:

$$p_{ij}^- = G(Z_i^- - Z_j^-), \text{ та } \Delta_{ij} = p_{ij}^- - p_{ij}.$$

Визначають середнє відхилення:

$$q = \sum_{i,j=1, i < j}^n |\Delta_{ij}| / n * (n-1).$$

При відносно малих значеннях  $q$  отримані оцінки експертів вважають не суперечливими.

В ході оцінювання відносної важливості виділених основних груп показників ЗРК в якості експертів були задіяні десять фахівців ДНВЦ ЗС України. Експертам було запропоновано здійснити ранжирування визначених груп властивостей в порядку їх важливості. Результати оцінювання наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати експертного оцінювання

Експерти	Групи властивостей			
	Часова(Ч)	Просторова(П)	Ймовірнісна(Й)	Вогн. потужності(В)
1	3	2	1	4
2	1	2	3	4
3	3	1	2	4
4	1	2	3	4
5	3	1	2	4
6	3	1	2	4
7	3	2	4	1
8	3	4	1	2
9	2	4	1	3
10	2	1	3	4
Сума рангів	24	20	22	34
Середній ранг	2,4	2,0	2,2	3,4

За результатами ранжирування експертами було сформовано матрицю  $A$ , загальним розміром  $4 \times 4$ , в якій вказано число випадків, коли один параметр важливіший за інший. Отримана матриця представлена у табличному вигляді (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця пріоритетів

	Ч	П	Й	В
Ч	–	4	4	8
П	6	–	7	7
Й	6	3	–	9
В	2	3	1	–

Результати обробки отриманих в ході експертного опитування оцінок зведено в табл. 3 – 5.

Таблиця 3

Результати математичної обробки експертних даних

$Z_i$	$Z_i^-$	$P_i^-$	$P_i^*$
0.33493	0.08373	0.53336	0.2647
1.30216	0.35554	0.62761	0.3115
1.01048	0.25262	0.59972	0.2977
-2.64757	-0.66189	0.25403	0.1261

Таблиця 4

Результати математичної обробки експертних даних

	Ч	П	Й	В
Ч	0	-0.25334	-0.25334	0.84161
П	0.25334	0	0.52441	0.52441
Й	0.25334	-0.52441	0	1.28155
В	0.84161	-0.52441	-1.28155	0

Таблиця 5  
Результати математичної обробки експертних даних

$Z_i^- - Z_j^-$	$P_{ij}^-$ розрахункове	$P_{ij}$ вихідне	Відхилення
$Z_1^- - Z_2^- = -0.24181$	0.40447	0.400	0.0047
$Z_1^- - Z_3^- = -0.16889$	0.43297	0.400	0.032295
$Z_1^- - Z_4^- = 0.74562$	0.77205	0.800	-0.02795
$Z_2^- - Z_3^- = 0.07292$	0.52906	0.700	-0.17094
$Z_2^- - Z_4^- = 0.98743$	0.83828	0.700	0.13828
$Z_3^- - Z_4^- = 0.91451$	0.81977	0.900	-0.08023

Середнє відхилення у даному випадку експертного опитування склало  $0,45482/6 = 0,0758$ . Найбільш по абсолютній величині розходження між  $P_{ij}^-$  та  $P_{ij}$  становить 0,17094, що свідчить про узгодженість проведеного експертами ранжирування.

Відносну важливість внеску кожної з груп властивостей у бойовий потенціал ЗРК можливо записати у наступному вигляді:

$$K_{\text{бп}}^* = P_i^* \cdot K_{\text{бп}},$$

де  $P_i^*$  – ваговий внесок  $i$ -ї групи властивостей в загальний  $K_{\text{бп}}$ .

Отримана на основі проведеної процедури експертного оцінювання залежність  $K_{\text{бп}}$  від груп властивостей ЗРК з урахуванням визначених внесків цих груп має вигляд:

$$K_{\text{бп}} =$$

$$0.1261P_{\text{в}} + 0.2977P_{\text{п}} + 0.2647P_{\text{ч}} + 0.3115P_{\text{п}},$$

де  $P_{\text{в}}$ ,  $P_{\text{п}}$ ,  $P_{\text{ч}}$ ,  $P_{\text{п}}$  – внески відповідних груп властивостей ЗРК у загальний КБП.

Видно, що найвагоміший вплив на значення коефіцієнту бойового потенціалу ЗРК оказують показники вогневої та просторової груп властивостей.

Таким чином експертно-аналітична процедура надала можливість визначити ваговий внесок кожної із груп властивостей з заданим рівнем точності.

## Висновки

В ході проведення досліджень визначено основні групи властивостей ЗРК, які доцільно обрати для побудови математичної моделі коефіцієнту бо-

йового потенціалу, а також ваговий внесок кожної з основних груп показників властивостей ЗРК в названий узагальнений показник.

Подальшим напрямком роботи по створенню математичної моделі залежності коефіцієнта бойового потенціалу ЗРК від його визначаючих ТТХ є обробка статистичного матеріалу в межах кожної з визначених груп властивостей.

## Список літератури

1. Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її ефективності: монографія / А.Я. Торочін, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, М.П. Долина. – Х.: ХУ ПС, 2006. – 243 с.
2. Василенко Н.Я. Зенитные ракетные комплексы / Н.Я. Василенко, А.Л. Гуринович. – Мн.: ООО "Попури", 2002. – 80 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 310 с.
4. 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.А. Єрмошин, Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко. – Х.: ХВУ, 2004. – 260 с.
5. Современный метод боевых потенциалов в прикладных задачах планирования развития та застосування тактичної авіації: монографія / О.Б. Семон, О.Б. Леонтьев, Б.І. Котов та ін. – К.: НУОУ, 2009. – 160 с.
6. Леонтьев О.Б. Результаты расчета коэффициентов боевого потенциала винищувачів при вирішенні завдань відбиття масованого авіаційного удару / О.Б. Леонтьев, О.М. Косогов, О.Г. Скляр // Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України. – 2000. – Вип. 3 (12). – С. 63-70.
7. Система ПВО сухопутных войск и оценка ее эффективности. – К.: ВА ПВО СВ им. Васильевского, 1988. – 120 с.
8. Леонтьев О.Б. Результаты оценки боевых потенциалов винищувальних авіаційних комплексів та основних типів озброєння ЗРВ у єдиній шкалі вимірювання / О.Б. Леонтьев, С.С. Зварич. – Х.: ХУ ПС, 2009. – 4 с.
9. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решения / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, В.Б. Соколов. – М.: Наука, 1982. – 180 с.

Надійшла до редколегії 18.07.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Калкманов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСОВОГО ВКЛАДА ОСНОВНЫХ ГРУПП СВОЙСТВ В ОБОБЩЕННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА

А.Б. Леонтьев, Д.В. Рамшов

Показано, что целый ряд практически важных задач требует наличия моделей, связывающих обобщенный показатель качества зенитного ракетного комплекса и его тактико-технические характеристики. Обоснован выбор факторного пространства для построения кваліметрической модели коэффициента боевого потенциала зенитного ракетного комплекса. Определены весовой вклад основных групп свойств в обобщенный показатель качества зенитного ракетного комплекса методом экспертного оценивания. Определены дальнейшие направления работы по созданию математической зависимости коэффициента боевого потенциала зенитного ракетного комплекса от его определяющих тактико-технических характеристик.

**Ключевые слова:** обобщенный показатель качества, коэффициент боевого потенциала, боевой потенциал, зенитный ракетный комплекс, метод экспертного оценивания, факторное пространство, математическая модель, кваліметрическая модель, тактико-технические характеристики.

**DETERMINATION OF GRAVIMETRIC PAYMENTS OF BASIC GROUPS OF PROPERTIES IS  
IN THE GENERALIZED INDEX OF QUALITY OF ANTI-AIRCRAFT COMPLEX**

O.B. Leontev, D.V. Ramshov

*It is shown that quite a few practically requires important tasks presences of models, relating the generalized index of quality of anti-aircraft complex and him tactics-technical descriptions. The choice of factor space is reasonable for the construction of model of coefficient of battle potential of anti-aircraft rocket complex. The gravimetric contribution of basic groups of properties is certain to the generalized index of quality of anti-aircraft rocket complex by the method of expert evaluation. Further work assignments are certain on creation of mathematical dependence of coefficient of battle potential of anti-aircraft rocket complex from his qualificatory tactics-technical descriptions.*

**Keywords:** *the generalized index of quality, coefficient of battle potential, battle potential, zenithal rocket complex, method of expert evaluation, factor space, mathematical model, cvalimetrics model, tactics-technical descriptions.*