

УДК 355:9

С.І. Бурковський, М.О. Стахєєв, О.М. Місюра, Ю.І. Опалєв, Д.А. Півнєв

Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, Харків

## ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ ВЗАЄМОДІЇ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК ТА ВИНИЩУВАЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

*Запропоновано новий єдиний показник який враховує одночасно вогневі і просторові можливості частин зенітних ракетних військ та винищувальної авіації угруповання протиповітряної оборони замість окремих показників вогневих та просторових можливостей, які не давали повної уяви щодо можливості по одночасному прикриттю та ураженню засобів повітряного нападу при обороні об'єкту.*

*просторові можливості, єдиний показник, синергія, ефективність*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Питання організації взаємодії між зенітними ракетними військами (ЗРВ) та винищувальною авіацією (ВА) у військах Повітряних Сил, а також оцінки ефективності цієї взаємодії на сьогоднішній день так і залишились до кінці не вирішеними.

Досвід локальних конфліктів кінця ХХ початку ХХІ століть свідчить, що багато літаків та вертольотів було збито своїми ж наземними зенітними ракетними та артилерійськими підрозділами або літаками були уражені свої наземні засоби протиповітряної оборони (ППО).

Так, у жовтні 1973 року наземні засоби ППО арабів збили 83 своїх літаків і вертольотів.

24 березня 2003 року американський тактичний винищувач F-16 відхилився від встановленого маршруту і пілот по бортовому індикатору встановив момент захоплення свого літака наземною радіолокаційною станцією. Приймавши її за іракську негайно здійснив пуск ракети. Одночасно зенітний ракетний комплекс (ЗРК) в автоматичному режимі теж пустив ракету. В результаті були знищені і літак, і ЗРК "Петріот".

Тому питання оцінки ефективності взаємодії ЗРВ та ВА не втратило актуальності на сьогоднішній день.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз публікацій [1 – 3] та інших показує, що в них відсутній єдиний підхід до оцінки бойових можливостей ЗРВ та ВА, а також кількісний показник ефективності взаємодії зазначених родів військ. Розподілення оцінки бойових можливостей на окремі вогневі та просторові показники не дає повної уяви реалізації можливостей щодо прикриття важливих об'єктів.

**Формулювання мети статті.** Обґрунтування вибору показників ефективності для оцінки взаємодії зенітних ракетних військ та винищувальної авіації.

### Виклад основного матеріалу

Проведення оцінки ефективності взаємодії ЗРВ та ВА викликає необхідність обґрунтованого вибору відповідних критеріїв та показників.

*Обґрунтування вибору критеріїв та показників*

ЗРВ та ВА функціонально об'єднані в систему повітряної оборони. При цьому ефективність їхньої взаємодії характеризується як ефективністю взаємодії елементів системи синергетичним ефектом.

Під синергією, синергетичним ефектом (від грецької *synergis* – разом діючий) прийнято розуміти зростання ефективності діяльності в результаті інтеграції, злиття окремих частин в єдину систему за рахунок так званого системного ефекту (емерджентності).

Для оцінки ефективності необхідно вибрати показник ефективності. Показник ефективності повинен відповідати задачі яка вирішується, бути чутливим до змін вхідних даних, мати явну економічну (тактичну) суть, бути вирахованим.

Мета протиповітряної оборони – збереження об'єктів, що обороняються. Тому у якості узагальнюючого показника ефективності використовується співвідношення відвернутого збитку до витрат на ППО.

Оскільки організація взаємодії ЗРВ та ВА, як правило, не потребує додаткових витрат або ці витрати досить незначні у співвідношенні з загальними затратами на побудову системи ППО, то для оцінки синергетичного ефекту достатньо оцінити приріст вартості відвернутого збитку або деякої лінійної функції від нього.

Як відомо, відвернутий збиток прямо пропорційний імовірності збереження об'єкту, що обороняється.

Таким чином, у якості показника взаємодії ЗРВ та ВА (синергетичного ефекту ППО) доцільно використовувати прибуток імовірності збереження об'єкту, що обороняється системою ППО у порів-

нянні з імовірністю збереження об'єкту при неузгоджених діях ЗРВ та ВА.

Для зручності розрахунків доцільно перейти від відносного показника до абсолютного, тобто ефективність взаємодії ЗРВ та ВА максимальна в системі ППО, яка має максимальну ефективність (максимальний рівень відвернутого збитку).

Рівень відвернутого збитку залежить від здатності військ ППО завдати ураження повітряному противникові і, в першу чергу вразити найбільш важливі (тактично значимі) цілі до рубежів виконання ними своїх задач. Тому ефективність ППО у кожному кутовому напрямку від об'єкту оборони правомірно визначати і відносно величиною математичного очікування числа (МОЧ) уражених засобів повітряного нападу (ЗПН) противника до рубежів виконання ними своїх задач з урахуванням важливості цілей:

$$E_{\text{б.д.}}(\beta, H) = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\text{ц}}} M_j(\beta, H) C_j}{\sum_{j=1}^{N_{\text{ц}}} N_j C_j}, \quad (1)$$

де  $N_{\text{ц}}$  – кількість цілей, що входять у зону вогню зенітних засобів;  $M_j$  – МОЧ уражених ЗПН зі складу  $j$ -ї цілі;  $C_j$ ,  $N_j$  – тактична важливість і кількість ЗПН, що входять до складу  $j$ -ї цілі;  $\beta$  – кутовий напрямок від об'єкту оборони;  $H$  – висота ЗПН.

Тактична важливість ЗПН залежить головним чином від характеру задач, що розв'язуються ними в ударі, можливого ступеню впливу їх засобів ураження по об'єкту, що обороняється і елементам бойового порядку військ ППО, впливу даної цілі на виконання бойової задачі нарядом ЗПН у цілому. Найбільш важливими цілями, є літаки ударних груп, груп вогневого подавлення засобів ППО, літаки розвідки і керування, радіоелектронної боротьби. У складі ударних груп до найбільш важливих ЗПН відносять носії найбільшого потенціалу засобів ураження об'єктів.

У загальній постановці відносна важливість ЗПН:

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^{\ell} \frac{C_j^i}{C_{\text{max}}^i} q_i}{\left( \sum_{i=1}^{\ell} \frac{C_j^i}{C_{\text{max}}^i} q_i \right)_{j_{\text{min}}}} K_{tj}, \quad (2)$$

де  $i$  – загальна кількість ознак, по яких оцінюють важливість ЗПН;

$C_j^i$  – значення показника  $i$ -ої ознаки;

$q_i$  – вага  $i$ -ої ознаки;

$C_{\text{max}}^i$  – максимально можливе  $\left( \sum_{i=1}^{\ell} q_i = 1 \right)$  значення  $i$ -ої ознаки для найбільш важливого типу

ЗПН;

$K_{tj}$  – коефіцієнт, що враховує інші фактори тактичної значимості  $j$ -ї цілі в ударі. Тут

$$C_j^i = \frac{Q_j^i}{Q_{\text{роз}}}, \quad (3)$$

де  $Q_j^i$  – загальна кількість (можливості) засобів даної ознаки ЗПН;  $Q_{\text{роз}}$  – розрахункове одиничне значення даного засобу.

У випадках коли відносна важливість цілей однакова або практично не може бути визначена при відображенні удару противника,

$$E_{\text{б.д.}}(\beta, H) = \frac{M_{\text{ур}}(\beta, H)}{N_{\text{ц}}}, \quad (4)$$

де  $M_{\text{ур}}$  – МОЧ уражених ЗПН.

Ефективність ППО об'єкта визначається співвідношенням сил протиборчих сторін (співвідношенням їх бойових можливостей) і ефективністю бойового застосування цих сил з погляду реалізації їх бойових можливостей. При заданих складі угруповання ППО і варіанті побудови ППО її ефективність значною мірою залежить від кількісних і якісних характеристик ЗПН, особливостей побудови удару і способів дій повітряного противника. Пріоритет у виборі варіанта удару по об'єкту, що обороняється, належить повітряному противникові. Тому апріорна оцінка ефективності ППО об'єкта враховує всі можливі варіанти дій противника.

Єдиним методом апріорної оцінки ефективності ППО об'єкта є метод моделювання бойових дій угруповання ППО у часі і просторі. Використання ЕОМ дозволяє більш ефективно вирішувати задачі оптимізації рішень при підготовці і веденні бойових дій.

Математично модель бойових дій угруповання ППО з урахуванням обмежень на деякі вхідні параметри може бути представлена у вигляді системи:

$$\begin{aligned} W &= W(\alpha_i, \beta_j, x_k); \\ q(\alpha_i, \beta_j) &> 0; \quad i = 1 \dots n; \\ j &= 1 \dots m; \quad k = 1 \dots s, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $W$  – критерій ефективності бойових дій або цільова функція;

$\alpha_i$  – параметри, значення яких командир і штаб змінити не можуть (наприклад, тактико-технічні характеристики озброєння, кількість ЗПН в ударі, побудова удару та т.д.);

$\beta_j$  – параметри керування, тобто параметри, значення яких можна змінювати (наприклад, варіант оборони і ведення бою, ефективність керування, рівень підготовки розрахунків і ін.);

$x_k$  – випадкові параметри, значення яких для кожного випадку передбачити не можна (наприклад, подія враження цілі при стрільбі і т.д.). Вони, як правило, задаються законами розподілу;

$q(\alpha_i, \beta_j)$  – умови обмеження на параметри  $\alpha_i$  та  $\beta_j$ , що завжди будуть мати місце (наприклад, на кількість засобів і т.д.).

Складовими частинами математичної моделі бойових дій, що обчислюються на ЕОМ, при використанні відносної величини МОЧ вражених ЗПН, як показника ефективності, можуть бути алгоритми розрахунку рубежу виконання задачі кожного ЗПН противника, рішення задачі цілерозподілу з урахуванням тактичної значимості цілей, моделювання впливу зенітних засобів та засобів ВА по ЗПН, а також можливого удару противника по об'єкту та елементах бойового порядку ППО, оцінки живучості угруповання ППО, визначення очікуваних результатів бойових дій і ефективності оборони.

Віддалення рубежу виконання задачі залежить від типу, висоти, швидкості польоту ЗПН, а також засобів ураження, які ними застосовувались. При рішенні задачі цілерозподілу враховуються тактична значимість цілей, параметри їх руху, підлітний час, готовність сил та ін.

Результат вогневого впливу по цілі оцінюється розіграшем випадкового числа  $p$ , звичайно розподіленого за нормальним законом в інтервалі від 0 до 1. Ціль вважається ураженою, якщо  $p \leq P_{ij}$  ( $P_{ij}$  – імовірність поразки цілі за одну стрільбу). При неураженні цілі розглядають можливість її повторного обстрілу. Результат удару противника по зенітних засобах також є випадковим і оцінюється подібним чином.

Живучість угруповання ППО є функцією багатьох факторів (маскування, інженерного обладнання, взаємного прикриття та ін.).

Вихідна інформація, яка використовується при моделюванні бойових дій, поділяється на постійну і змінну. До постійної інформації відносяться дані про можливості зенітних і радіолокаційних засобів, засобів ВА, їх часові нормативи бойової роботи, до змінної інформації – дані про варіант дій противника, про угруповання своїх сил, про об'єкти удару ЗПН, про рельєф місцевості і район бойових дій та ін.

При моделюванні використовують метод статистичних випробувань. Тому при одноразовому розіграші моделі отриманий результат є випадковим. Середнє значення показника ефективності визначають на підставі статистичної обробки даних, отриманих при багаторазовому рішенні задачі по обраному варіанту удару противника.

Максимізація ефективності шляхом перебору варіантів побудови системи протиповітряної оборони і всіх варіантів взаємодії ЗРВ та ВА може продовжуватися нескінченно, якщо не визначені критерії достатньої ефективності.

Ці критерії доцільно формувати на підставі принципів побудови протиповітряної оборони.

Як відомо ППО об'єкту повинна бути круговою, всевисотною та рівномірною.

ППО слід рахувати круговою, якщо з будь-якого кутового напрямку відносно об'єкту оборони дальність від об'єкту до дальньої межі зони знищення ЗПН противника ЗРВ або ВА більш ніж дальність до рубежу виконання задачі (РВЗ) ЗПН противника. Якщо ця умова виконується тільки у визначених секторах, то їх сумарний розмір визначає у якій мірі вдалося реалізувати принцип кругової оборони.

Повітряну оборону слід рахувати всевисотною, якщо у всьому діапазоні висот забезпечується знищення ЗПН противника до досягнення ним РВЗ.

Повітряну оборону слід рахувати рівномірною, якщо у всіх кутових напрямках відносно об'єкту оборони МОЧ знищених цілей приблизно однакове.

Повністю реалізувати зазначені принципи достатньо складно, тому ступінь їх реалізації слід характеризувати секторами та діапазонами висот, де вони виконуються.

Таким чином, кожний варіант побудови системи протиповітряної оборони повинен характеризуватися для кожної із заданого ряду висот ( $H=50, 100, 200, 500, 1000, 5000, 10000$  м) таблицею імовірних показників знищення цілі для кожного кутового напрямку відносно об'єкту.

Для графічного відображення використовують графіки та діаграми.

За звичай крок по азимуту вибирають  $1^\circ$ .

В якості імовірного показника в ЗРВ прийняте МОЧ знищених цілей, а у ВА число знищених цілей з гарантованою імовірністю  $P_r$  (наприклад  $P_r = 0,8$ ).

Для того, щоб оцінити угруповання ППО у цілому доцільно визначити єдиний показник або отримати вираз для перерахунку одного показника в інший.

В якості узагальненого показника доцільно обрати МОЧ знищених цілей. Для зручності розрахунку є сенс зберегти специфіку в порядку його обчислення для ЗРВ і для ВА.

Для ЗРВ МОЧ знищених цілей на висоті  $H$ , на азимуті  $\beta$  відносно об'єкту визначається виразом

$$M[\beta, H, V_{\text{ц}}, D_{\text{РТВ}}(\beta)] = \sum_{i=1}^{N_{\text{ЗРК}}} K_{\text{реал},i} \cdot N_{\text{стр},i}(\beta, H, V_{\text{ц}}, D_{\text{РТВ}}) \cdot P_i, \quad (6)$$

де  $N_{\text{ЗРК}}$  – кількість ЗРК в угрупованні;

$K_{\text{реал},i}$  – коефіцієнт реалізації вогневих можливостей  $i$ -м ЗРК;

$V_{\text{ц}}$  – швидкість цілі;

$D_{\text{РТВ}}(\beta)$  – дальність виявлення радіотехнічними військами;

$P_i$  – імовірність ураження цілі за одну стрільбу  $i$ -м ЗРК;

$N_{\text{стр},i}(\beta, H, V_{\text{ц}}, D_{\text{РТВ}})$  – кількість стрільб  $i$ -го ЗРК для даної висоти.

$$K_{\text{реал.}i} = K_{\text{уч}i} \cdot K_{\text{БГ}i} \cdot K_{\text{ЕУ}i} \cdot K_{\text{З}i},$$

де  $K_{\text{уч}i}$  – коефіцієнт, який характеризує можливий ступінь участі  $i$ -го ЗРК у відбитті нальоту ЗПН;

$K_{\text{БГ}i}$  – коефіцієнт бойової готовності  $i$ -го ЗРК;

$K_{\text{ЕУ}i}$  – коефіцієнт ефективності управління АСУ  $i$ -м ЗРК;

$K_{\text{З}i}$  – коефіцієнт, що враховує зменшення кількості стрільб  $i$ -го ЗРК в умовах завад.

$$P_i = 1 - (1 - P_{\text{п ЗРК}})^{N_p}, \quad (7)$$

де  $P_{\text{п ЗРК}}$  – імовірність ураження цілі однією ЗРК;

$N_p$  – кількість ЗРК у черзі однієї стрільби.

Для ВА МОЧ знищених цілей визначається виразом

$$M[\beta, H, V_{\text{ц}}, D_{\text{РТВ}}(\beta)] = \sum_{i=1}^{N_{\text{вин.}}(\beta, H, V_{\text{ц}}, D_{\text{РТВ}})} K_{\text{реал.}i} \cdot P_i, \quad (8)$$

де  $N_{\text{вин}}[\beta, H, V_{\text{ц}}, D_{\text{РТВ}}]$  – кількість винищувачів, які за часом готовності, базування та оснащення встигають перехопити ціль на висоті  $H$  зі швидкістю  $V_{\text{ц}}$  при умові виявлення її на  $D_{\text{РТВ}}$  за азимутом  $\beta$  відносно об'єкту;

$K_{\text{реал.}i}$  – коефіцієнт реалізації бойових можливостей  $i$ -го винищувача;

$P_i$  – імовірність знищення цілі  $i$ -м винищувачем;

$$K_{\text{реал.}i} = K_{\text{нав}i} \cdot K_{\text{БГ}i} \cdot K_{\text{пп}i}, \quad (9)$$

де  $K_{\text{нав}i}$  – коефіцієнт наведення  $i$ -го винищувача, який дорівнює імовірності наведення цього винищувача;

$K_{\text{БГ}i}$  – коефіцієнт бойової готовності  $i$ -го винищувача, який чисельно дорівнює імовірності безвідмовної роботи бортового комплексу та озброєння;

$K_{\text{пп}i}$  – коефіцієнт підготовки пілота  $i$ -го винищувача, тобто відсоток готовності до виконання перехоплення і стрільби ракетами та з гармати.

$$P_i = 1 - (1 - P_{\text{Р-27}})^{N_{\text{Р-27}i}} \times (1 - P_{\text{Р-73}})^{N_{\text{Р-73}i}} \cdot (1 - P_{\text{черг}})^{N_{\text{черг}i}}, \quad (10)$$

де  $P_{\text{Р-27}}$  – імовірність ураження цілі ракетою Р-27;

$N_{\text{Р-27}i}$  – кількість ракет Р-27, що випущені по цілі  $i$ -м винищувачем;

$P_{\text{Р-73}}$  – імовірність ураження цілі ракетою Р-73;

$N_{\text{Р-73}i}$  – кількість ракет Р-73, що випущені по цілі  $i$ -м винищувачем;

$P_{\text{черг}}$  – імовірність ураження цілі однією чергою з гармати на протязі 1 с (30 снарядів);

$N_{\text{черг}i}$  – кількість черг з гармати, що випущені  $i$ -м винищувачем по цілі.

Особливістю розрахунків для ВА є те, що протидія цілі (постановка завад та маневр з перевантаженням) враховуються в імовірності  $P_{\text{Р-27}}$ ,  $P_{\text{Р-73}}$ ,  $P_{\text{черг}}$ .

Для кожного засобу ураження є відповідна таблиця імовірностей.

Зазначений підхід дозволяє отримати загальне МОЧ знищених цілей для угруповання протиповітряної оборони, що прикриває об'єкт.

Діаграми перетину МОЧ, що отримані на заданих висотах і швидкостях цілей можуть бути використані командиром в процесі бойової роботи для прийняття рішення.

Після виявлення нальоту ЗПН з напрямку  $\beta$  відносно об'єкту, що прикривається, та визначення його складу по цим діаграмам командир може миттєво визначити, хто ефективніше відіб'є цей наліт ВА чи ЗРВ, впораються вони поодиночці чи необхідні їх сумісні дії.

## Висновок

У наведеній статті запропонований новий єдиний показник який враховує одночасно вогневі і просторові можливості частин ЗРВ та ВА угруповання ППО замість окремих показників вогневих та просторових можливостей, і не давали повної уяви щодо можливості по одночасному прикриттю та ураженню ЗПН при обороні об'єкту.

Єдиний показник бойових можливостей угруповання ППО дозволяє більш об'єктивно оцінювати ефективність взаємодії ЗРВ та ВА і приймати рішення на підвищення цієї ефективності.

## Список літератури

1. Єрмошин М.О., Федаї В.М. *Боротьба в повітрі*. – Х.: ХВУ, 2004. – 382 с.
2. Горючін А.Я., Романенко І.О., Даник Ю.Г., Пащенко Р.Е. та ін. *Довідник з протиповітряної оборони*. – К.: МО України, Х.: ХВУ, 2003. – 368 с.
3. Неупокоев Ф.К. *Противовоздушный бой*. – М.: Воениздат, 1989. – 262 с.

Надійшла до редколегії 22.03.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.М. Шостко, Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, Харків.