

МАТЕМАТИЧНЕ ФОРМУЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ТАКТИКО-ВОГНЕВИХ ПІДРОЗДІЛІВ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ПОЛКУ

Надане обґрунтування показника ефективності взаємодії тактико-вогневих підрозділів, що за фізичним змістом являє собою відношення ймовірності виконання бойового завдання взаємодіючими підрозділами до значення цієї ймовірності при відсутності взаємодії.

показник ефективності, тактико-вогневі підрозділи

Вступ

Постановка проблеми. Згідно з принципом емерджентності дві системи, об'єднуючись в одну надсистему, при організованій взаємодії, можуть одержати більший результат у порівнянні з тим, якщо вони діють незалежно. Витрати на організацію взаємодії значно менші у порівнянні з витратами на удосконалення системи управління чи інтенсивне нарощування сил та засобів [1]. Цих аргументів достатньо для розуміння значущості як розвитку загальної теорії взаємодії, так і розвитку теоретичних засад взаємодії угруповань військ (сил).

Важливими елементами розвитку теорії і розробки методів оцінки ефективності взаємодії угруповань військ (сил), процесів їх підготовки та здійснення є вибір показника ефективності взаємодії та аналіз придатності методів моделювання для визначення раціонального способу взаємодії між зенітними ракетними підрозділами з'єднання (частини) під час ведення бойових дій.

Метою статті є визначення та обґрунтування показника ефективності взаємодії тактико-вогневих підрозділів зенітного ракетного полку (зрп).

Аналіз публікацій. Оцінка ефективності взаємодії потрібна для порівняння різних способів організації і здійснення взаємодії зенітних ракетних підрозділів.

У теперішній час у теорії складних систем сформувалися два напрями щодо вибору показників ефективності: функціональний (під ефективністю системи розуміється кількісно виражений позитивний внесок у діяльність надсистеми) і фізичний (виходить із можливості введення фізично-вимірювального показника ефективності) [2].

Функціональні показники ефективності системи вогню знайшли найбільше застосування в математичному моделюванні протиповітряного бою (математичне сподівання кількості знищених за удар цілей, ймовірність пропуску цілі, пропускна здатність системи вогню та ін.).

Для оцінки ефективності взаємодії можуть використовуватися різні показники. Як показник ефективності варіанта взаємодії можна прийняти відносну величину реалізації сумарних бойових можливостей частин (підрозділів), що здійснюють цю взаємодію [3]. Величина цього показника може бути оцінена шляхом моделювання бойових дій або за даними військових навчань. Однак, окрім того, що цей підхід є досить складним у реалізації, такий показник не відповідає бойовому завданню з'єднання (частини), яке виконує завдання з прикриття об'єкта, тобто недопущення прориву засобів повітряного нападу (ЗПН) противника за межу рубежу виконання ним свого бойового завдання.

Оскільки мета взаємодії залежить від характеру бойового завдання зенітного ракетного підрозділу при некорпоративній взаємодії і від характеру спільного бойового завдання при корпоративній взаємодії [1], то, очевидно, і показник ефективності взаємодії повинен характеризувати ступінь виконання бойового завдання як кожним суб'єктом взаємодії, так і спільного виконання бойового завдання з'єднанням (частиною).

Однак абсолютне значення цього показника не характеризує внеску взаємодії у загальний результат бою. Окрім того, взаємодія може мати як позитивний, так і негативний ефект.

Тому як показник ефективності взаємодії доцільно прийняти величину, яка показує в скільки разів загальний результат, що досягається взаємодіючими зенітними ракетними підрозділами, вище або нижче суми результатів, що досягаються цими підрозділами при відсутності взаємодії між ними. Значення показника повинно бути більше одиниці, що свідчить про позитивний ефект взаємодії. Якщо це значення менше одиниці, то це свідчить, що результат взаємодії негативний (тобто шкідливий). Інваріантним цьому показнику є відношення приросту ефективності, що досягається за рахунок взаємодії, відносно до значення ефективності в умовах, коли взаємодія відсутня.

Визначення та формулювання показника ефективності взаємодії

Заходи з організації взаємодії тактико-вогневих підрозділів зенітного ракетного полку організуються і здійснюються за видами взаємодії.

Види взаємодії [1] класифікуються за такими ознаками:

- 1) за характером: директивна, ініціативна;
- 2) за метою: корпоративна, некорпоративна;
- 3) за координованістю: координована, некоординована;
- 4) за варіантністю: одноваріантна, багатоваріантна;
- 5) за сферою взаємодії: інформаційна, бойова (структурна, вогнева), ресурсна.

Кожний вид взаємодії включає певні заходи. Такими заходами, наприклад, можуть бути:

- 1) для інформаційної взаємодії: встановлення зв'язку між зенітними ракетними дивізіонами (*зрдн*) і з радіолокаційною ротою (*рлр*); організація управління (координації); визначення порядку забезпечення розвідувальними даними зенітних ракетних дивізіонів у випадку виходу з ладу їх РЛС;

визначення даних, які дивізіон повинен видавати сусіднім зрдн й одержувати від них;

визначення порядку передачі координат виявленої цілі на інші зрдн;

визначення даних, які дивізіон повинен видавати рлр й одержувати від неї;

- 2) для структурної взаємодії: розробка і реалізація плану перебудови бойового порядку;

розробка і реалізація плану відновлення зрдн методом перекомплектації озброєння;

- 3) для вогневої взаємодії: призначення відповідальних секторів (смуг) для кожного *зрдн* і встановлення порядку знищення цілей у відповідальних секторах (смугах) і на їх стижах;

встановлення порядку вибору літаків зі складу групової цілі;

визначення рубежів і порядку групового пошуку цілей радіолокатором підсвічування та наведення (РПН) (багатоканальною станцією наведення ракет (БСНР), самохідною вогневою установкою (СВУ));

організація взаємного вогневого прикриття бойових порядків дивізіонів;

визначення порядку знищення групових цілей і цілей у своєму відповідальному секторі (смугі) і у відповідальному секторі (смугі) сусіднього *зрдн*;

- 4) для ресурсної взаємодії: розробка і реалізація плану перерозподілу запасів зенітних керованих ракет (ЗКР); організація обміну особовим складом.

Кожен із зазначених видів взаємодії може бути реалізовано одним із цілком певної множини альтернативних варіантів його реалізації:

$B_1 = \{B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1d_1}\}$ – варіанти організації інформаційної взаємодії;

$B_2 = \{B_{21}, B_{22}, \dots, B_{2d_2}\}$ – варіанти плану структурної взаємодії;

$B_3 = \{B_{31}, B_{32}, \dots, B_{3d_3}\}$ – варіанти організації вогневої взаємодії;

$B_4 = \{B_{41}, B_{42}, \dots, B_{4d_4}\}$ – варіанти організації ресурсної взаємодії,

де v_{ij} – варіант організації інформаційної ($i=1$), структурної ($i=2$), вогневої ($i=3$) та ресурсної ($i=4$) взаємодії; d_i – кількість варіантів взаємодії.

Спосіб взаємодії може бути представлено сукупністю варіантів

$$C = \{v_{1i_1}, v_{2i_2}, v_{3i_3}, v_{4i_4}\}, \quad (1)$$

де $v_{1i_1} \in B_1$; $v_{2i_2} \in B_2$; $v_{3i_3} \in B_3$; $v_{4i_4} \in B_4$.

На рис. 1 для ілюстрації у вигляді графа показана множина можливих способів взаємодії для випадку, коли у кожному із чотирьох видів взаємодії реалізується один із трьох можливих варіантів її організації.

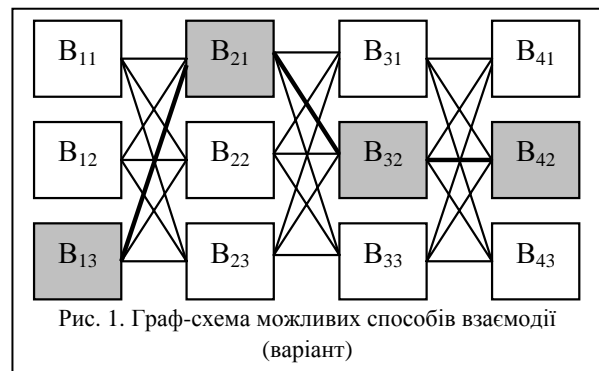


Рис. 1. Граф-схема можливих способів взаємодії (варіант)

Один із можливих способів взаємодії, а саме: $C = \{v_{13}, v_{21}, v_{32}, v_{42}\}$, показано на рис. жирними лініями.

Таким чином, спосіб взаємодії зенітних ракетних дивізіонів – це сполучення варіантів організації інформаційної, структурної, вогневої та ресурсної взаємодії.

Нехай після удару першого ешелону ЗПН противника (групи подавлення ППО) командний пункт *зрп* знищено. У складі *зрп* залишились боєздатними m *зрдн*. Кожний *зрдн* має q_i справних цільових каналів, R_i зенітних керованих ракет (ЗКР). Очікується удар другого (ударного) ешелону у складі N ЗПН із кутовою щільністю нальоту $N(\beta) = N\varphi(\beta)$ сам/град.,

$$\text{де } \int_0^{360} \varphi(\beta) d\beta = 1, \quad \varphi(\beta) \geq 0.$$

Визначені варіанти організації різних видів взаємодії V_1, V_2, V_3, V_4 .

Уведемо параметр

$$x_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{якщо варіант } v_{ki} \text{ вибрано для форму-} \\ & \text{вання способу взаємодії;} \\ 0, & \text{у протилежному випадку.} \end{cases}$$

Із параметрів x_{ki} , $k = 1, 2, 3, 4$; $i = 1, 2, \dots, d_k$ сформуємо вектори $X_k = \{x_{k1}, x_{k2}, x_{k3}, \dots, x_{kd_k}\}$, $k = 1, 2, 3, 4$ та об'єднаємо їх у матрицю

$$X = (X_1, X_2, X_3, X_4).$$

Параметр x_{ki} повинен задовольняти умови:

$$\sum_i x_{ki} = 1, x_{ki} = \{0;1\}; i = 1, 2, \dots, d_k, k = 1, 2, 3, 4. \quad (2)$$

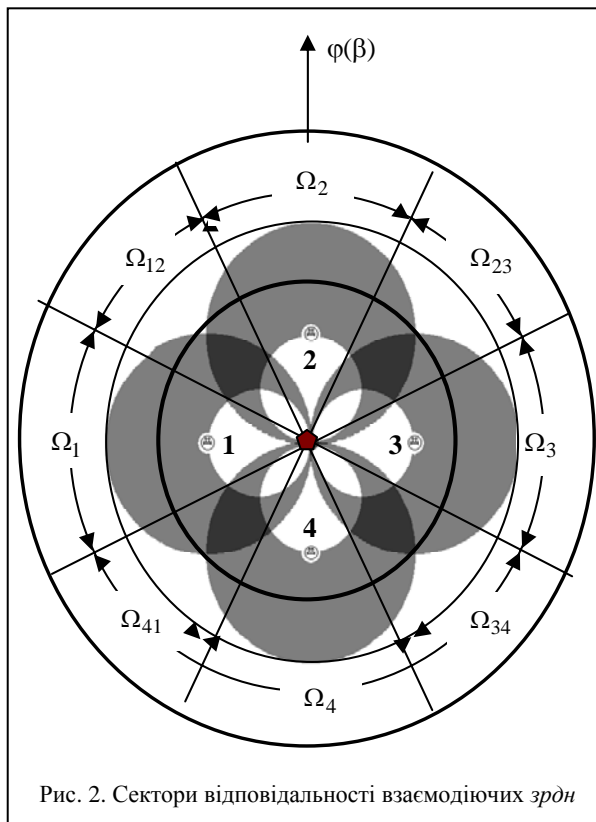


Рис. 2. Сектори відповідальності взаємодіючих зрдн

Тепер представимо спосіб взаємодії у такому вигляді:

$$\left\{ \begin{aligned} V_1(X_1) &= \sum_{i=1}^{d_1} x_{1i} V_{1i}, V_2(X_2) = \sum_{i=1}^{d_2} x_{2i} V_{2i}; \\ V_3(X_3) &= \sum_{i=1}^{d_3} x_{3i} V_{3i}, V_4(X_4) = \sum_{i=1}^{d_4} x_{4i} V_{4i} \end{aligned} \right\} = (3)$$

$$= C(X_1, X_2, X_3, X_4) = C(X).$$

Тоді ймовірність поразення цілі (невиконання бойового завдання противником) може бути представлена такою формулою:

$$P(\beta, \Pi, X) = E \sum_{k=1}^{S(\beta, \Pi, X)} (1-E)^{k-1} \prod_{q=1}^k (1 - V_q(\beta, \Pi, X)), \quad (4)$$

де E – ймовірність поразення цілі, в умовах, коли вона не залежить від дальності до цілі;

X – матриця, що визначає спосіб взаємодії;

$\Pi = (\beta, D_d, V_{\text{ц}}, T_p, P, V_p, S, E_q, f(L))$ – вектор вихідних параметрів процесу та способу взаємодії:

β – азимут курсу цілі;

D_d – дальність до дальньої межі зони поразення зрдн;

$V_{\text{ц}}$ – середня швидкість польоту цілі;

T_p – робітний час бойової обслуги зрдн;

P – курсовий параметр цілі відносно зрдн;

V_p – середня швидкість польоту ЗКР;

S – максимально можлива кількість послідовних стрільб по цілі;

E_q – ймовірність поразення цілі при q -му обстрілі.

$f(L)$ – щільність розподілу дальності до рубежу виконання завдання ціллю.

Для кожного напрямку польоту ЗПН β визначимо зрдн, для яких ймовірність поразення цілі (4) задовольняє умови $P(\beta, \Pi, X) > P_{\text{min}}$ і сформуємо функції

$$y_i(\beta) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } P(\beta, \Pi, X) > P_{\text{min}}; \\ 0, & \text{у протилежному випадку,} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Сформуємо вектор-функцію

$$Y(\beta) = (y_1(\beta), y_2(\beta), \dots, y_m(\beta)).$$

Кожному зрдн призначимо сектор відповідальності за таким правилом:

$$\Omega_i = \{\beta : y_i(\beta) = 1\} \in \Omega = \{0;360^\circ\}.$$

У загальному випадку сектори відповідальності сусідніх зрдн перекриваються і, таким чином, сектор відповідальності i -го зрдн складається із сектора Ω_{0i} , у котрому зрдн знищує повітряні цілі самостійно, і сектора вогневої взаємодії

$$\Omega_{bi} = \bigcup_{j=1, j \neq i}^m (\Omega_i \cap \Omega_j), \quad j = 1, 2, \dots, m, \text{ у котрому взає-}$$

модіючі зрдн знищують противника спільно (рис. 2).

Для кожного такого сектора відповідальності визначимо очікувану кількість ЗПН N_i, N_{ij} :

$$N_{0i} = N \int_{\Omega_{0i}} \varphi(\beta) d\beta, \quad N_{bi} = N \int_{\Omega_{bi}} \varphi(\beta) d\beta, \quad i=1, 2, \dots, m; \quad j=1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Уведемо функціонали, що визначають:

$E_i\{C(X), \Omega_i(Y), N_i(Y), R_i(X)\} = E_i(X, Y), \quad i = \overline{1, m}$ – ймовірність виконання бойового завдання i -м дивізіоном у залежності від визначеного сектора відповідальності $\Omega_i(Y) = \Omega_{0i}(Y) \cup \Omega_{bi}(Y)$, кількості цілей у ньому $N_i(Y)$ та кількості готових до застосування зенітних керованих ракет $R_i(X)$ при реалізації способу взаємодії $C(X)$, де m – кількість суб'єктів взаємодії (кількість взаємодіючих зрдн).

При відсутності взаємодії цей показник має таке значення:

$$E_{0i}(\Omega_{0i}, N_{0i}, R_{0i}) = E_{0i}, i = 1, 2, \dots, m,$$

де Ω_{0i} – відповідальний сектор *зрдн*, що було визначено для умов централізованого чи частково децентралізованого управління; N_{0i} – кількість цілей, що очікуються у секторі Ω_{0i} ; R_{0i} – кількість ЗКР, що залишилися в *зрдн* після відбиття удару першого ешелону (ешелону подавлення ППО).

Загальна ефективність бойових дій з урахуванням реалізованого способу взаємодії має сенс імовірності виконання зенітним ракетним полком бойового завдання і визначається добутком даних показників:

$$E(X, Y) = \prod_{i=1}^m E_i(X, Y), \quad (6)$$

де X – матриця параметрів, що визначає спосіб взаємодії, Y – вектор-функція, що визначає розподіл секторів взаємодії *зрдн*.

При відсутності взаємодії цей показник має значення:

$$E_0 = \prod_{i=1}^m E_{0i}.$$

Показником ефективності взаємодії є відношення приросту значення ймовірності виконання бойового завдання за рахунок організації та здійснення певного способу взаємодії *зрдн* до значення, яке має цей показник при умові, що взаємодія відсутня, тобто підрозділи діють самостійно:

$$W(X, Y) = \frac{E(X, Y) - E_0}{E_0}. \quad (7)$$

Висновки

Таким чином, здійснено визначення та надане обґрунтування показника ефективності взаємодії тактико-вогневих підрозділів *зрп*, що за фізичним смислом являє собою відношення приросту ймовірності виконання бойової задачі взаємодіючими *зрдн* до значення цієї ймовірності при відсутності взаємодії.

У подальших дослідженнях автор планує конструктивно наповнити цей показник, що дасть можливість його використання для вибору раціональних способів взаємодії *зрдн* при втраті управління з командного пункту *зрп*.

Список літератури

1. Кириченко І.О., Аллеров Ю.В., Тробюк В.І., Урсакій Ю.Ф. Аксиоматичні основи теорії взаємодії службово-бойових систем // *Честь і закон*. – Х.: Військ. ін-т ВВ МВС України, 2006. – № 1. – С. 9-17.
2. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Конфликтная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.
3. Неупокоев Ф.К. Противовоздушный бой // М.: Воениздат, 1989. – С. 152-153.

Надійшла до редколегії 21.07.2006

Рецензент: д-р військ. наук, проф. Г.А. Дробаха, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.