

УДК 621.372.(043.2)

Семак К.С., Халанич Т.І.<sup>1</sup>, Добровольська Н.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний авіаційний університет, Київ,<sup>2</sup>Київський Національний економічний університет ім. В.Гетьмана, Київ

## РАДІОЕЛЕКТРОННИЙ ВРАЖАЮЧИЙ УДАР – ПЕРСПЕКТИВНА ФОРМА ЗАСТОСУВАННЯ ЗБРОЇ. РОЗВІДКА РЕЗУЛЬТАТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ВРАЖАЮЧОГО УДАРУ

*В статті розкрито особливості проведення радіоелектронного вражаючого удару та запропонований методичний підхід щодо прийняття рішення на доцільність проведення розвідки результатів радіоелектронного вражаючого удару на основі ігрової математичної моделі.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями.** Радіоелектронний вражаючий удар (РЕВУ), сьогодні розглядається як перспективна форма застосування зброї. Під поняттям РЕВУ розуміється нанесення по противнику комбінованих електромагнітно-імпульсних (ЕМІ) та вогневих ударів з метою виводу із ладу радіоелектронних засобів (РЕЗ) противника [1, 2, 4]. Такі удари характеризуються потужними короткочасними діями за окремим напрямком або по одному об'єкту шляхом застосування потужних електромагнітних імпульсів електромагнітно-імпульсної зброї (ЕМІЗ) та одночасними вогневими ударами, які призводять як до тимчасового виведення з ладу елементів системи управління військами та зброєю так і до їх функціонального ураження. В сучасних умовах розвитку засобів ЕМІЗ нанесення таких ударів можливо одним і тим же боєприпасом, який містить у собі як бойову частину так і джерела потужного ЕМІ випромінювання [4, 5].

Характерними рисами зброї, яка використовується при РЕВУ є [1, 2]: швидкість досягання цілей; універсальність (ЕМІЗ діє на різні радіоелектронні прилади, комп'ютери та інші елементи); низька вартість ЕМІЗ надає доступність мати конструкторську документацію та здатність виробляти цю зброєю різним країнам; дія ЕМІЗ може призводити як до тимчасового виведення з ладу елементів системи управління противника, так і до її повного функціонального ураження.

В більшості випадків, радіоелектронні вражаючі удари (РЕВУ) проводяться безпосередньо перед початком бойових дій, але не виключається можливість їх нанесення і під час їх ведення. РЕВУ направлені на ураження вузлів управління, зв'язку, елементів систем

ППО [2, 4]. Досвід воєнних конфліктів останніх десятиріч свідчить про те, що на передній план у початковій фазі ведення бойових дій виходить авіація, яка наносить повітряні удари високоточною зброєю, що має у своєму складі радіоелектронне обладнання, тому РЕВУ повинні стати основою протиповітряних операцій на майбутнє. Ці удари повинні наноситися по аеродромах з метою виведення з ладу систем комунікації, контролю за повітряною обстановкою, радіонавігації та бортової електроніки.

На сьогоднішній день вартість бортової електроніки сучасного літака дуже велика, кількість запасного бортового радіоелектронного обладнання на аеродромах обмежена, тому РЕВУ роблять літаки непридатними до експлуатації протягом значного часу. Також РЕВУ унеможливають роботу ЗРК, РЛС, які працюють в активному режимі, а також роботу апаратури надводних кораблів. Вони є ефективною альтернативою в порівнянні з масованими ударами антикорабельними ракетами [5, 6].

Особливістю застосування РЕВУ, сьогодні, є складність точно спрогнозувати його ефективність. РЛС або засоби зв'язку можуть випромінювати сигнали, навіть, коли їх приймачі виведені з ладу. З іншого боку, противник може виключати, передавачі при загрозі РЕВУ. Відсутність випромінювання ще не означає, що РЕВУ проведено ефективно, тобто зараз неможливо отримати інформацію про ступінь ефективності його нанесення. При проведенні не ефективних РЕВУ ударні літаки, які після РЕВУ виконують завдання по вогневому знищенню цілей, можуть понести значні втрати, що призведе до невиконання поставлених завдань [2, 4, 6]. Тому після проведення РЕВУ необхідно прийняти рішення на застосування бойових

літаків відразу без проведення розвідки результатів РЕВУ чи після її проведення. Також можливе рішення на застосування бойових літаків після здійснення ще одного РЕВУ або без нього. Внаслідок цього виникає необхідність в відпрацюванні методичного підходу щодо прийняття рішень на проведення відповідних заходів після РЕВУ. Це і зумовлює актуальність теми, яка розглядається в цій статті.

**Аналіз останніх досліджень, публікацій та стану питання** показує, що прийняття рішення на проведення відповідних заходів після РЕВУ здійснювалися за принципом тривіального вибору рішення особою, яка відповідає за ведення бойових дій на інтуїтивній основі [1,2].

**Головною метою статті є** запропонувати методичний підхід щодо прийняття рішення після нанесення РЕВУ.

Візьмемо ситуацію, коли перед особою, що приймає рішення постає завдання обрати: застосувати бойові літаки після проведення розвідки РЕВУ чи без неї.

Математичну модель цієї задачі прийняття рішення можна представити у вигляді ігрової моделі, де у якості другого гравця виступає радіоелектронна обстановка (“гра з природою”) [3], а оціночна матриця  $a_{ij}$  має розмір  $(2 \times 2)$ :

$$\begin{matrix} & \Pi_1 & \Pi_2 \\ \left| a_{ij} \right| = & x_1 & a_{11} & a_{12} \\ & x_2 & a_{21} & a_{22} \end{matrix}, \quad (1)$$

де:  $x_1$  - рішення на застосування літаків без проведення розвідки РЕВУ;  $x_2$  - рішення на застосування бойових літаків після проведення розвідки РЕВУ;  $\Pi_1$  - стан радіоелектронної обстановки (РЕО), який відповідає ефективно проведеному першому РЕВУ;  $\Pi_2$  - стан РЕО, який відповідає неефективному першому РЕВУ.

При стані РЕО  $\Pi_2$ , рішення на застосування ударних літаків для виконання бойових завдань щодо знищення стратегічних об’єктів противника може призвести до їх значних втрат. При стані  $\Pi_1$ , рішення на проведення розвідки РЕВУ – недоцільно, бо при цьому витрачаються значні ресурси та знижується ефективність операції, яка буде проводитися з втратою часу. На основі такого лише якісного аналізу можна математично записати, що елементи оціночної матриці відповідають наступним умовам:

$$\begin{aligned} a_{11} &> a_{22}; a_{11} > a_{12}; a_{11} > a_{21}; \\ a_{12} &< a_{22}; a_{21} < a_{22}; a_{21} > a_{12}. \end{aligned}$$

За таких співвідношень елементів  $a_{ij}$  домінуючого рішення гри не має. Тому, коли особі, яка приймає рішення, відомі ймовірності  $q_1 = P(\Pi_1)$ ;  $q_2 = P(\Pi_2)$ , станів РЕО, то рішення можна приймати на основі критерію Байєса [2]:

$$x_{opt}^B = \left\{ x_k \in X \cap \bar{a}_k = \max \sum_{j=1} a_{ij} \right\}, \quad (2)$$

де:  $X$  - множина існуючих рішень;  $\bar{a}_k$  - середній результат (математичне очікування)  $k$  - рішень.

Коли розвідка достовірно визначає стан середовища, її доцільно проводити при виконанні умови:

$$\min_i \sum_{j=1} r_{ij} \cdot q_j > K, \quad (3)$$

$$\text{де: } r_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}. \quad (4)$$

де:  $r_{ij}$  - величина ризику прийняття невірної  $i$  - ого рішення при стані РЕО  $\Pi_j$ ;  $K$  - вартість розвідки.

Для випадку, коли розвідка визначає стан середовища недостовірно, а лише призводить до одного із  $L$  несумісних результатів  $B_i, i = \overline{1, L}$  (наприклад,  $B_1$  - безпілотні розвідувальні літаки збиті;  $B_2$  - безпілотні розвідувальні літаки були тільки опромінені РЛС ЗРК та інші), тоді кожний із результатів дає лише ймовірності дані відносно стану РЕО  $\Pi_j$ .

Коли відомі умовні ймовірності  $P(B_i/\Pi_j), i = \overline{1, L}; j = \overline{1, 2}$ , тоді можна показати, що доцільність розвідки визначається нерівністю:

$$\sum_i \max \bar{a}_{an.ik} \cdot P(B_k) - \max_i \sum_{j=1} a_{ij} \cdot q_j > K, \quad (5)$$

де ймовірності результатів визначаються за формулами повної ймовірності:

$$P(B_k) = \sum_{j=1} P(B_L/\Pi_j), k = \overline{1, L}, \quad (6)$$

а апостеріорні середні результати за формулою:

$$\bar{a}_{an, ik} = \sum_{j=1}^L a_{ij} \cdot P(\Pi_j / B_k), k = \bar{1}, L. \quad (7)$$

Наведемо ілюстративний приклад використання запропонованого методичного підходу щодо прийняття рішення на розвідку результатів РЕВУ. Нехай розвідка може призвести до двох результатів:  $B_1$  - безпілотні розвідувальні літаки збиті під час проведення розвідки після РЕВУ;  $B_2$  - безпілотні розвідувальні літаки не збиті і виявили випромінювання РЛС ЗРК. Вихідні данні наступні, платіжна матриця має вигляд:

$$|a_{ij}| = \begin{matrix} & \Pi_1 & \Pi_2 \\ x_1 & 10 & 1 \\ x_2 & 2 & 5 \end{matrix},$$

та відомі апіорні ймовірності виникнення станів РЕО  $\Pi_{ij}$  після проведення РЕВУ по противнику:

$$q_1 = P(\Pi_1) = 0,8; q_2 = P(\Pi_2) = 0,2; K = 0,5.$$

Умовні ймовірності  $P(B_i / \Pi_j)$  наведені в наступній таблиці:

$B_i / \Pi_j$	$\Pi_1$	$\Pi_2$
$B_1$	0,1	0,7
$B_2$	0,9	0,3

Потрібно визначити необхідність проведення розвідки після РЕВУ.

Рішення. Відповідно виразу (4) визначаємо матрицю ризиків:

$$|r_{ij}| = \begin{vmatrix} 0 & 4 \\ 8 & 0 \end{vmatrix}.$$

При достовірних результатах розвідки, її доцільність визначається умовою (3). Для нашого приклада отримуємо:

$$\min_i \left( \sum_{j=1}^L r_{ij} \cdot q_j \right) = \min_i \left( \begin{matrix} 0 \cdot 0,8 + 4 \cdot 0,2 = 0,8 \\ 8 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,2 = 6,4 \end{matrix} \right) = 0,8 > 0,5$$

З отриманих результатів підрахунків прикладу, який розглядається достовірну розвідку проводити доцільно.

Для випадку, коли розвідка визначає стан середовища недостовірно, доцільність її проведення визначається умовою (5).

Математичні очікування рішень:

$$\begin{aligned} \bar{a}_1 &= \sum a_{1j} \cdot q_j = 10 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,2 = 8,2; \bar{a}_2 = \\ &= \sum a_{2j} \cdot q_j = 2 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0,2 = 2,6. \end{aligned}$$

$$\max_i \bar{a}_i = 8,2, \text{ відповідно критерію Байеса,}$$

означає, що потрібно приймати рішення  $x_1$ .

Ймовірності результатів розвідки відповідно (6) дорівнюють:

$$\begin{aligned} P(B_1) &= \sum_j P(B_1 / \Pi_j) \cdot P(\Pi_j) = 0,1 \cdot 0,8 + 0,7 \cdot 0,2 = 0,22; \\ P(B_2) &= \sum_j P(B_2 / \Pi_j) \cdot P(\Pi_j) = 0,9 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,2 = 0,78. \end{aligned}$$

За формулою перевірки гіпотез визначаємо апостеріорні ймовірності стану РЕО:

$$P(\Pi_1 / B_1) = \frac{P(B_1 / \Pi_1) \cdot P(\Pi_1)}{\sum_j P(B_1 / \Pi_j) \cdot P(\Pi_j)} = \frac{0,1 \cdot 0,8}{0,22} = \frac{8}{22};$$

$$P(\Pi_2 / B_1) = \frac{P(B_1 / \Pi_2) \cdot P(\Pi_2)}{\sum_j P(B_1 / \Pi_j) \cdot P(\Pi_j)} = \frac{0,7 \cdot 0,2}{0,22} = \frac{14}{22};$$

$$P(\Pi_1 / B_2) = \frac{0,9 \cdot 0,8}{0,78} = \frac{72}{78}; \quad P(\Pi_2 / B_2) = \frac{0,3 \cdot 0,2}{0,78} = \frac{6}{78}.$$

Середні апостеріорні результати для кожного рішення  $x_i$  та результату  $B_1$  дорівнюють:

$$\bar{a}_{an11} = \sum_j a_{1j} \cdot P(\Pi_j / B_1) = 10 \cdot \frac{8}{22} + 1 \cdot \frac{14}{22} = \frac{94}{22};$$

$$\bar{a}_{an21} = \sum_j a_{2j} \cdot P(\Pi_j / B_1) = 8 \cdot \frac{8}{22} + 5 \cdot \frac{14}{22} = \frac{134}{22}.$$

Таким чином, якщо б результатом проведення розвідки був би результат  $B_1$ , то оптимальним рішенням було б  $x_2$ , при якому середній апостеріорний результат максимальний і дорівнює  $134/22$ . Середні апостеріорні результати для кожного рішення  $x_i$  та результату розвідки  $B_2$  дорівнюють:

$$\bar{a}_{an12} = \sum_j a_{1j} \cdot P(\Pi_j / B_2) = 10 \cdot \frac{72}{78} + 1 \cdot \frac{6}{78} = \frac{726}{78};$$

$$\bar{a}_{an22} = \sum_j a_{2j} \cdot P(\Pi_j / B_2) = 2 \cdot \frac{72}{78} + 5 \cdot \frac{6}{78} = \frac{172}{78}.$$

Таким чином, якщо б результатом розвідки був би результат  $B_2$ , то оптимальним рішенням було б  $x_1$ , при якому середні апостеріорні

результат дорівнює  $726/78$ .

Доцільність проведення недостовірної розвідки визначається умовою (5):

$$\begin{aligned} & \sum_k \max_i \bar{a}_{ik} \cdot P(B_k) - \max_i \sum_j a_{ij} \cdot q_j = \\ & = \frac{134}{22} \cdot 0,22 + \frac{726}{78} - \max_i \left\{ \begin{matrix} 8,2 \\ 2,6 \end{matrix} \right\} = \\ & = 8,6 - 8,2 = 0,4 < 0,5. \end{aligned}$$

В наслідок отриманих результатів можна зробити висновок, що недостовірну розвідку проводити недоцільно. Наприкінці відмітимо, що ступінь виконання умов (3) і (5), характеризує стабільність рішень, які приймаються до зміни вихідних даних.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Головним результатом даної статті є те, що в ній запропоновано методичний підхід щодо прийняття рішення на проведення розвідки результатів РЕВУ на основі використання математичної ігрової моделі, яка є найбільш доцільною для вирішування наведеного у статті питання. Отримані результати розрахунків на основі використання запропонованої математичної моделі дозволяє обґрунтувати доцільність вибору рішення щодо проведення розвідки результатів РЕВУ.

Запропонований у статті підхід може застосовуватися і під час обґрунтування рішення

на доцільність проведення розвідки результатів застосування інших видів зброї, коли можливі більше двох станів обстановки та більше альтернатив можливих рішень. Тобто ігрова матриця повинна буде мати більший розмір, але методичний підхід щодо отримання необхідного результату залишиться таким самим.

#### Список літератури

1. Копп, К. Электронная бомба – оружие электронного массового поражения [Текст]: пер. с англ., 2001. – 111 с.
2. Симонов, В. Электромагнитный импульс – новое оружие [Текст] // Вестник ПВО. – М., 1985. – № 3. – С. 81–84.
3. Василевич, Л. Ф. Математические методы принятия решений [Текст] : Монография. – К.: Наша справа, 2004. – 52 с.
4. Оружие будущего: импульсное вооружение. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.livadnyy.com/forum/index.php>.
5. Электромагнитная бомба. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.popmech.ru/article/2531-uboyniy-reyting/>.
6. Пекин создает электромагнитное оружие. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: ("The Washington Times", США). <http://www.inosmi.ru/foreast/20110724/172375391.html>.