

УДК 519.711

О.М. Семененко¹, к.т.н., с.н.с.**О.Г. Водчиць², к.т.н., доц.****О.Ю. Коркін³****О.С. Паюк²**¹Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна²Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна³Військова академія (м. Одеса), Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБҐРУНТУВАННЯ РІШЕННЯ ЩОДО РОЗВІДКИ РЕЗУЛЬТАТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННО-ВОГНЕВОГО УДАРУ ПО ОБ'ЄКТАМ ПРОТИВНИКА

В статті пропонується математична модель обґрунтування рішень щодо доцільності або недоцільності проведення розвідки результатів нанесення радіоелектронно-вогневого удару по об'єктах противника на основі використання ігрової математичної моделі.

Ключові слова: радіоелектронно-вогневий удар, ігрова математична модель, ударні літаки, розвідка

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями

Радіоелектронно-вогневий удар (РЕВУ), є сьогодні перспективною формою застосування зброї. Під поняттям РЕВУ розуміється нанесення по противнику комбінованих електромагнітно-імпульсних (ЕМІ) та вогневих ударів з метою виведення з ладу радіоелектронних засобів (РЕЗ) противника систем протиповітряної оборони (ППО), радіоелектронної розвідки (РЕР) та радіоелектронної боротьби (РЕБ) [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 зброю 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 радіоелектронно-вогневі удари (РЕВУ) здійснюються 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, РЕР та РЕБ [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 сьогодні 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, порівняно 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 їхні 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 неефективних РЕВУ ударні літаки, які після РЕВУ виконують завдання з вогневого знищення цілей противника, можуть понести значні втрати, що призведе до невиконання поставлених завдань [2, 4, 6]. Тому після проведення РЕВУ необхідно прийняти та обґрунтувати рішення щодо доцільності або недоцільності проведення розвідки результатів нанесення радіоелектронного-вогневого удару по об'єктам противника з метою подальшого застосування бойових літаків для виконання завдань щодо подальшого ураження об'єктів противника. Новизна РЕВУ та недостатність інформації щодо ефективності їх впливу на радіоелектронні системи противника формують необхідність розроблення математичної моделі, яка дозволяла б обґрунтовувати рішення щодо доцільності або недоцільності розвідки результатів РЕВУ щодо об'єктів противника на початку операції. Це і зумовлює актуальність теми, яка розглядається в цій статті.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз останніх досліджень, публікацій та стану питання показує, що сьогодні прийняття рішення на проведення розвідки результатів застосування РЕВУ здійснюється відповідальною особою, яка відповідає за ведення бойових дій, за принципом тривіального вибору рішення особою на інтуїтивній основі [1, 2].

Мета статті

Головною метою статті є розроблення математичної моделі обґрунтування рішень щодо доцільності або недоцільності проведення розвідки результатів застосування радіоелектронного-вогневого удару по об'єктах противника.

Як приклад розглянемо ситуацію, коли перед особою, що приймає рішення, постає завдання обрати: застосувати бойові літаки після проведення розвідки РЕВУ чи не проводити розвідку РЕВУ, а відразу дозволити застосування бойових літаків в наступній фазі операції.

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 оцінна матриця a_{ij} має розмір (2×2) :

$$\begin{matrix} & \Pi_1 & \Pi_2 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \end{matrix} \quad (1)$$

де: x_1 – рішення на застосування літаків без проведення розвідки РЕВУ; x_2 – рішення на застосування бойових літаків після проведення розвідки РЕВУ; Π_1 – стан радіоелектронної обстановки (РЕО), який відповідає ефективно проведеному першому РЕВУ; Π_2 – стан РЕО, який відповідає неефективному першому РЕВУ.

При стані РЕО Π_2 , рішення на застосування ударних літаків для виконання бойових завдань щодо знищення стратегічних об'єктів противника може призвести до їх значних втрат. При стані Π_1 , рішення на проведення розвідки РЕВУ – недоцільне, 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 оцінної матриці відповідають таким умовам: $a_{11} > a_{22}; a_{11} > a_{12}; a_{11} > a_{21}; a_{12} < a_{22}; a_{21} < a_{22}; a_{21} > a_{12}$.

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]:

$$x_{opt}^B = \left\{ x_k \in X \cap \bar{a}_k = \max_{j=1} \sum a_{ij} \right\}, \tag{2}$$

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:

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

де

$$r_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij}. \tag{4}$$

де r_{ij} – величина ризику прийняття невірної i -ого рішення при стані РЕО Π_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 Π_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:

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

де ймовірності результатів визначаються за формулами повної ймовірності:

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

а апостеріорні середні результати за формулою:

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

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, які не збиті та виявили випромінювання РЛС ЗРК. Вихідні дані наступні, платіжна матриця має вигляд:

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

та відомі апіорні ймовірності виникнення станів РЕО Π_{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/Π_j	Π_1	Π_2
B_1	0,1	0,7
B_2	0,9	0,3

Потрібно визначити необхідність проведення розвідки після РЕВУ.

Рішення. Відповідно до 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 прикладу отримуємо:

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

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

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

Математичні очікування рішень:

$$\overline{a_1} = \sum a_{1j} \cdot q_j = 10 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,2 = 8,2;$$

$$\overline{a_2} = \sum a_{2j} \cdot q_j = 2 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0,2 = 2,6.$$

$\max_i \overline{a_i} = 8,2$, відповідно до критерію Байєса, означає, що потрібно приймати рішення X_1 .

Ймовірності результатів розвідки відповідно (6) дорівнюють:

$$P(B_1) = \sum_j P(B_1/\Pi_j) \cdot P(\Pi_j) = 0,1 \cdot 0,8 + 0,7 \cdot 0,2 = 0,22;$$

$$P(B_2) = \sum_j P(B_2/\Pi_j) \cdot P(\Pi_j) = 0,9 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,2 = 0,78.$$

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_j 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 $\frac{134}{22}$.

Середні апостеріорні результати для кожного рішення X_j 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 середній апостеріорний результат дорівнює $\frac{726}{78}$.

Доцільність проведення недостовірної розвідки визначається умовою (5):

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

В наслідок отриманих результатів можна зробити висновок, що недостовірну розвідку проводити недоцільно.

Наприкінці зазначимо, що ступінь виконання умов (3) і (5), характеризує стабільність рішень, які приймаються до зміни вихідних даних.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Головним результатом цієї статті є те, що в ній запропоновано математичну ігрову модель обґрунтування рішень щодо доцільності або недоцільності проведення розвідки результатів нанесення радіоелектронного-вогневого удару по об'єктах противника, яка дозволяє обґрунтовувати рішення в умовах невизначеності вихідної інформації. Отримані практичні розрахунки на основі

використання запропонованої математичної моделі підтверджують працездатність цієї моделі в завданнях такого типу.

Запропонована модель може застосовуватися і під час обґрунтування рішення на доцільність проведення розвідки результатів застосування інших видів зброї, особливо 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 той самий.

Список використаних джерел

1. Копп К. Электронная бомба – оружие электронного массового поражения [Текст]: пер. с англ. / К. Копп – 2001. – 111 с.
2. Симонов В. Электромагнитный импульс – новое оружие [Текст] / В. Симонов. – Вестник ПВО. – М., 1985. – № 3. – С. 81–84.
3. Василевич Л. Ф. Математические методы принятия решений [Текст] / Л.Ф. Василевич – Монография. – К. : Наша справа, 2004. – 52 с.
4. Оружие будущего: импульсное вооружение. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.livadnyy.com/forum/index.php?topic=24.0>.
5. Электромагнитная бомба. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.poromech.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>.

Рецензент: Р.В. Колчін, к.т.н., Військова академія (м. Одеса)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВЕДКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННО-ОГНЕВОГО УДАРА ПО ОБЪЕКТАМ ПРОТИВНИКА

О.М. Семененко, А.Г. Водчиц, А.Ю. Коркин, А.С. Паюк

В статье предлагается математическая модель обоснования решений о целесообразности или нецелесообразности проведения разведки результатов нанесения радиоэлектронного – огневого удара по объектам противника на основе использования игровой математической модели.

Ключевые слова : радиоэлектронный огневой удар, игровая математическая модель, ударные самолеты, разведка.

MATHEMATICAL MODEL BASIS OF THE DECISION OF EXPLORATION RADIOELECTRONIC – FIRE STRIKES ON ENEMY OBJECTS

O. Semenenko, O. Vodchuc, O. Korokin, O. Payuk

In the article the mathematical model inform decisions regarding the advisability or otherwise of exploration results of the application of electronic and burn effort on enemy installations on the basis of a mathematical model of the game.

Keywords: Radio-electronic fire strike, mathematical model, attack aircraft, reconnaissance.