

УДК 519.711

ВОДЧИЦЬ О.Г., начальник кафедри військової підготовки Національного авіаційного університету, кандидат технічних наук, доцент

СЕМЕНЕНКО О.М., начальник відділу економічного аналізу заходів будівництва та розвитку збройних сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

МАНІШИН О.В., старший науковий співробітник

НЕЧІТКА ІГРОВА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ СТАНЦІЯМ АКТИВНИХ ПЕРЕШКОД ПРОТИВНИКА В ПОВІТРЯНОМУ БОЮ

У статті запропоновано один з варіантів математичної моделі оцінювання ефективності радіоелектронної протидії станціям активних перешкод індивідуального захисту противника в умовах створення перешкод на основі використання ігрової моделі з нечіткими оцінками ситуацій повітряного бою

Ключові слова: бортовий радіолокаційний прицільний комплекс, станція активних перешкод індивідуального захисту, контррадіоелектронна протидія, математична модель опису ситуації, рішення отриманої нечіткої матричної гри

Повітряні Сили є одним з найважливіших видів будь-яких ЗС, під час ведення сучасних бойових дій. Нині неможливо уявити літак, будь то винищувач чи бомбардувальник, без засобів радіоелектронного подавлення (РЕП). Літак, не обладнаний цими засобами, в сучасних умовах розвитку засобів виявлення та ураження має дуже низьку ймовірність виживання при подоланні сучасної системи ППО [1...5].

Сучасний бортовий радіолокаційний прицільний комплекс (РЛПК) є основою ефективного виконання завдання літаком-винищувачем. Станції активних перешкод індивідуального захисту (САП ІЗ) призначені для зниження ефективності РЛПК противника під час повітряного бою. Останнім часом спостерігається значне збільшення ефективності бортових засобів радіоелектронного подавлення, а саме, станцій активних перешкод індивідуального захисту (САП ІЗ). Застосування пасивних засобів захисту від окремих видів перешкод не дозволяє сьогодні на достатньому рівні захистити РЛПК від перешкод противника під час повітряного бою, що негативно впливає на показники ефективності виконання поставлених завдань літаком-винищувачем. Тому останнім часом спостерігається тенденція переходу від підвищення перешкодозахищеності РЛПК шляхом застосування пасивних пристроїв захисту до активної радіоелектронної протидії (РЕПр) самим засобам радіоелектронного подавлення наприклад, САП ІЗ – контррадіоелектронна

протиція (КРЕПр) [1...8]. Розроблення нових способів протиції бортовим САП ІЗ викликає необхідність пошуку математичної моделі опису ситуації, яка складається під час повітряного бою та дозволяє оцінити ефективність функціонування РЛПК як в умовах перешкод, так і при одночасному веденні активної радіоелектронної протиції САП ІЗ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій з цього напрямку свідчить, що переважна більшість математичних моделей, які описують процеси взаємодії засобів РЕП та радіолокації, призначені для оцінювання ефективності функціонування бортових радіолокаційних станцій (БРЛС) в умовах перешкод. Окремими випадками є моделі, які дозволяють оцінювати ефективність застосування тих чи інших пасивних засобів захисту бортової радіолокаційної станції від окремих видів перешкод [1...11].

Перехід від пасивного захисту від перешкод, які вже потрапили на вхід приймача, до активної протиції власне станціям активних перешкод противника під час повітряного бою, для того щоб перешкода, яка приходить на вхід приймача, була якомога менш ефективною, вимагає удосконалення математичної моделі оцінювання ефективності БРЛС із урахуванням нових особливостей її функціонування. Тобто в новій моделі повинні знайти своє відображення й нові процеси щодо одночасної контррадіоелектронної протиції САП ІЗ в умовах ведення повітряного бою.

Одним з головних показників ефективності застосування будь-яких пристроїв захисту від перешкод є ймовірність супроводження цілі бортовою радіолокаційною станцією (БРЛС) управління зброєю [1...3, 12].

Процес протистояння в повітряному бою БРЛС управління зброєю та САП ІЗ можна представити у вигляді антагоністичної матричної гри [12...14], де чистими стратегіями сторони A (САП ІЗ), яка здійснює радіоелектронне подавлення (РЕП), є: A_1 – створення першого виду перешкод; A_2 – створення другого виду перешкод [2]. Чистими стратегіями сторони \hat{A} (БРЛС) є розроблені способи протиції САП ІЗ [6, 7], де: B_1 – перший спосіб протиції; B_2 – другий спосіб протиції. Оцінки b_{ij} ситуацій (A_i, B_j) матричної гри (1) будуть нечіткими [12...14], через відсутність інформації про ведення КРЕПр, про ТТХ САП ІЗ противника, невідомі умови ведення повітряного бою, відсутність практичних оцінок перешкодозахищеності БРЛС під час ведення КРЕПр на певних етапах бою:

$$|b_{ij}| = \begin{matrix} A_i/B_j & \hat{A}_1 & \hat{A}_2 \\ \hat{A}_1 & b_{11} & b_{12} \\ \hat{A}_2 & b_{21} & b_{22} \end{matrix}, \quad (1)$$

де $b_{ij}, i = \overline{1,2}, j = \overline{1,2}$ – нечіткі величини, які являють собою ймовірності супроводження цілі системою автосупроводження за напрямком (АСН) БРЛС управління зброєю в умовах створення перешкод різних видів та за одночасного ведення КРЕПр, які є показниками ефективності ведення протиції запропонованими способами. Дані нечіткі числа будемо задавати трапецеїдальними функціями приналежності $(b_{ij}/\mu(b_{ij})) = [b_1; b_2; b_3; b_4]$ (рис.1.), де числа b_1 і b_4 – визначають носій нечіткого числа, а b_2 і b_3 – його ядро [12...14].

Для даної конфліктної ситуації, яка описується нечіткою матричною грою (1), методом експертного опитування отримані такі оцінки можливих ситуацій: $b_{11} \approx [0,7; 0,85; 0,9; 0,95]$, $b_{12} \approx [0,05; 0,1; 0,15; 0,2]$, $b_{21} \approx [0,15; 0,2; 0,3; 0,4]$, $b_{22} \approx [0,6; 0,65; 0,7; 0,8]$.

Рішення отриманої нечіткої матричної гри алгебраїчним методом [12], може бути неможливим, тому що до знаменника виразів, які визначають змішані стратегії сторін, може потрапити нечітке число, яке утримує в своєму носії нечіткий нуль. Ця математична операція ділення на нечітке число, яке утримує в своєму носії нечіткий нуль, невизначена, тому для рішення даної задачі пропонується використовувати ітераційний метод Брауна-Робінсон [13]. У цьому випадку над нечіткими числами будуть виконуватися тільки операції додавання і порівняння.

Кожний із способів КРЕПр буде використовуватися тільки на певних етапах польоту для запобігання негативному впливу на тактико-технічні характеристики

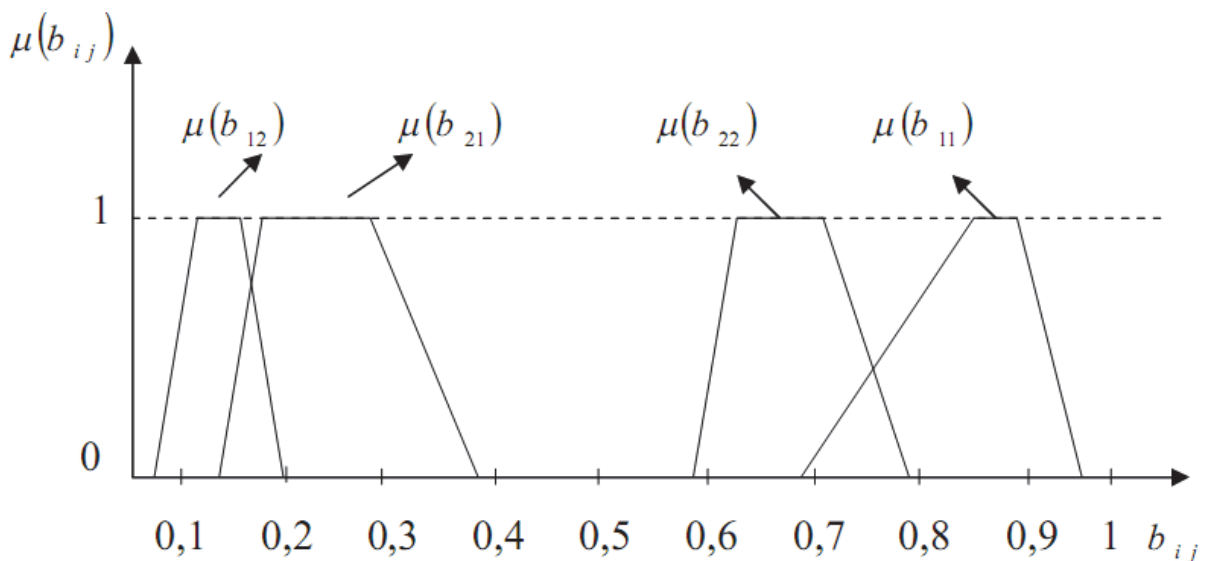


Рис.1. Функції приналежності нечітких оцінок b_{ij}

БРЛС управління зброєю під час бою. Ці етапи визначаються дальністю розрахованого можливого застосування способу. На деякому етапі польоту рішення на застосування першого чи другого способу КРЕПр будуть визначати розраховані змішані стратегії їх використання. Також слід відмітити, що вони будуть визначатися у вигляді чітких чисел.

В наслідок визначення елементів платіжної матриці вигравів сторони \hat{A} , яка веде КРЕПр, отримуємо таку нечітку матричну гру:

$$\hat{A} = |b_{ij}| = \left| \begin{array}{cc} \{0,7; 0,85; 0,9; 0,95\} & \{0,05; 0,1; 0,15; 0,2\} \\ \{0,15; 0,2; 0,3; 0,4\} & \{0,6; 0,65; 0,7; 0,8\} \end{array} \right|. \quad (2)$$

Здійснюючи рішення за приблизним (ітераційним) методом Брауна-Робінсон потрібно розігравати експеримент, у якому гравці \hat{A} та \hat{A} по чергово один проти другого будуть використовувати свої чисті стратегії та кожний з них буде покладатися на те, що майбутнє буде схожим на минуле. Для визначення змішаних стратегій використання запропонованих способів КРЕПр на етапі неможливого одночасного їх створення вирішимо дану нечітку матричну гру (2).

Гру починаємо з вільно вибраної стратегії сторони A , наприклад A_1 - створення першого виду перешкоди. Замість того, щоб обчислювати кожний раз середній вигравш можна користуватися сумарним за кожний хід вигравшем. По закінченню вибраної кількості ітерацій експерименту треба буде визначити частоту використання тої чи іншої стратегії. В нашому випадку число ітерацій обрано $k = 10$.

Треба зазначити, що чим більше обирається число ітерацій експерименту, тим точніший результат. Рішення нечіткої матричної гри методом Брауна-Робінсон показало, що за ці десять кроків сторона A однаково кількість разів використовувала як першу свою чисту стратегію – A_1 (створення першого виду перешкоди), так і другу A_2 (створення другого виду перешкоди). У відповідь, сторона B використала свою першу стратегію B_1 (перший спосіб КРЕПр САП ІЗ) менше ніж другу B_2 (другий спосіб КРЕПр САП ІЗ). Наближені оцінки оптимальних змішаних стратегій використання перешкод та запропонованих способів КРЕП дорівнюють:

$$S_A \approx \left| \frac{5}{10}; \frac{5}{10} \right|, \quad p_1 = \frac{m_i^*}{n_{\Sigma}} = 0,5; \quad p_2 = \frac{m_i^*}{n_{\Sigma}} = 0,5,$$

$$S_B \approx \left| \frac{3}{10}; \frac{7}{10} \right|, \quad q_1 = \frac{n_i^*}{n_{\Sigma}} = 0,3; \quad q_2 = \frac{n_i^*}{n_{\Sigma}} = 0,7.$$

Приблизна ціна гри визначається як середнє арифметичне між нижньою оцінкою гри α , яка дорівнює мінімально накопиченому вигравшу, в нашому випадку – $\alpha_{\Sigma_{\min}} = \{3,8; 4,3; 4,8; 5,6\}$ сторони A , та верхньою оцінкою гри β , яка дорівнює максимальному сумарному програшу $\beta_{\Sigma_{\max}} = \{3,75; 4,25; 6,5; 7,15\}$ сторони B , поділеному на k (число ітерацій):

$$v_A = \frac{\alpha + \beta}{2} \approx \frac{\alpha_{\Sigma_{\min}} + \beta_{\Sigma_{\max}}}{2 \cdot k} = \frac{\{3,8; 4,3; 4,8; 5,6\} + \{3,75; 4,25; 6,5; 7,15\}}{2 \cdot 10} \approx \{0,38; 0,44; 0,57; 0,63\}.$$

Отримана ціна гри свідчить про те, що навіть у разі використання способів КРЕПр у змішаних стратегіях оцінка ефективності ведення протидії станціям активних перешкод противника в умовах створення нею перешкод різних видів, значно збільшилася.

Під час вирішення даної задачі методом Брауна-Робінсон здійснювалося порівняння нечітких чисел на основі розрахунку індексу ранжирування H_3 :

$$H_A = \frac{\alpha_{\zeta A}}{\max(\alpha_{\zeta A}, \alpha_{\zeta A})}; \quad H_A = \frac{\alpha_A}{\max(\alpha_{\zeta A}, \alpha_{\zeta A})}, \quad (3)$$

де: α_{ζ} - величина α - зрізу (у нашому випадку α - зріз брався на рівні $\mu(b_{ij}) = 0,5$), та який він визначається за формулою $\alpha_{\zeta} = \frac{\alpha_+ + \alpha_-}{2}$, де $\alpha_+ = \sup B_{\alpha}$; $\alpha_- = \inf B_{\alpha}$ та B_{α} - множина нечіткого числа на α - рівні. Таким чином, якщо $I_A \langle I_A \text{ то } B \rangle A$.

Реалізацію вибору змішаної стратегії КРЕП на борту пропонується здійснити з використанням датчика випадкових чисел (ДВЧ), який виділяє рівномірно розподілені числа від 0 до 1, і компаратора, в який закладено величину p , що визначає частоту використання стороною B своєї чистої стратегії B_1 . Якщо число,

яке видає ДВЧ, буде більше за p , то реалізується стратегія B_2 , а якщо менше – то B_1 (рис.2.).

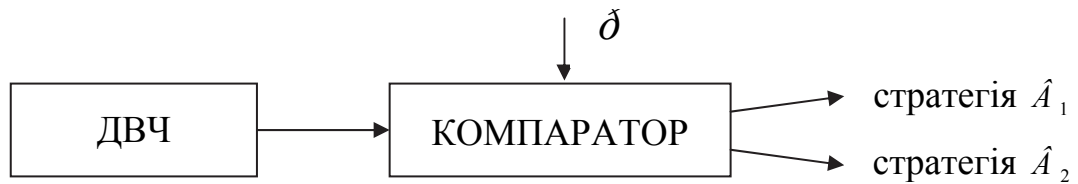


Рис.2. Пристрій реалізації змішаних стратегій ведення КРЕПр

Запропонований випадковий спосіб вибору способів КРЕПр на етапі неможливого їх одночасного створення значно ускладнить процес вибору необхідної перешкоди противнику.

Висновки. На основі пропонуємої моделі визначені оптимальні змішані стратегії сторін під час ведення КРЕПр новими способами протидії та розрахована ціна гри на етапі використання запропонованих способів протидії в змішаних стратегіях, яку можна вважати оцінкою ефективності ведення КРЕПр. Пропонуєма модель, на наш погляд, є більш адекватною для описування процесу ведення РЕП та КРЕПр супротивниками в умовах нестачі інформації про ТГХ станцій перешкод противника, умови ведення повітряного бою тощо. Також ця модель може використовуватися і в разі збільшення чистих стратегій сторін (розробки нових перешкод та способів КРЕПр). Запропонований новий, більш ефективний спосіб вибору змішаних стратегій на борту літака.

Темою подальших досліджень є застосування запропонованої математичної моделі для опису ситуації повітряного бою групи літаків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Леонов А.И. Моноимпульсная радиолокация [Текст] / А.И. Леонов, К.И. Фомичёв // – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 312с.
2. Василевич Л.Ф. Радиоэлектронное подавление [Текст] – К.: КВВАИУ, 1989. – 243с.
3. Справочник по методам радиоэлектронного подавления и помехозащиты систем с радиолокационным управлением. Том 2. Глава 5. Энциклопедия способов помехозащиты и методов их применения. Часть 1, 2, 3 [Текст] / Пер. с англ. Мурыгова В.Д. // Под ред. Лядкина Ю.С. – М.: ВВИА им. Жуковского, 1987. – 620с.
4. Семененко О.М. Основні принципи контррадіоелектронної протидії сучасним бортовим станціям активних перешкод індивідуального захисту літака [Текст] / О.М. Семененко, І.В. Чекед, С.А. Чупахін // Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України. – 2011. – №2(56). – С. 178–188.
5. Василевич Л.Ф. Контррадіоелектронне подавлення як складова частина РЕБ. [Текст] / Л.Ф. Василевич, О.М. Семененко// Збірник наукових праць №5. – К.: НЦ ВПС України, 2002. – С. 48-50.
6. Семененко О.М. Щодо інтегрування бортового радіоелектронного обладнання літаків-винищувачів Збройних Сил України в єдиний комплекс [Текст] /О.М.

- Семененко, Ю.Б. Добровольський // Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України №1(55). – К.: ЦНДІ ЗС України, 2002 . – С. 48-50.
7. Семененко О.М. Щодо перспективного напрямку розвитку індивідуальних засобів радіоелектронної боротьби для літаків-винищувачів Збройних Сил України [Текст] / О.М. Семененко, І.В. Чекед, С.А. Чупахін // ЗНП ЦНДІ ЗС України. – 2011. – №2(56). – С. 178–188.
 8. Семененко О.М. Щодо визначення послідовності комплексного застосування способів контррадіоелектронної протидії станціям активних завад противника та оцінка ефективності її ведення [Текст] / О.М. Семененко // ЗНП ЦНДІ ЗС України. – 2006. – №2(36). – С. 109–116.
 9. Василевич Л.Ф. Спосіб контррадіоелектронного подавлення станції активних завад, яка працює в режимі випромінювання поляризаційної завади [Текст] /Л.Ф. Василевич, О.М. Семененко // Труды Академії. – 2004. – № 50. – С. 163–167.
 10. Семененко О.М. Спосіб контррадіоелектронної протидії літаковій станції активних перешкод противника шляхом порушення її функціонування [Текст] / О.М. Семененко, І.В. Чекед, Ю.Б. Добровольський, І.Ю. Коваленко // ЗНП ЦНДІ ЗС України. – 2011. – №4(58). – С. 224–236.
 11. Радиолокационный прицельный комплекс РЛПК-29 самолёта МиГ-29. [Текст] Изд. РВВАИУ им. Я. Алксниса, 1990
 12. Василевич Л.Ф. Теория игр [Текст] – К.: Наша справа, 2000. – 147с.
 13. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближённых решений. – М.: Мир, 1976. – 165с.
 14. Василевич Л.Ф. Математическая статистика. Теория риска. // Спец. выпуск Киевской бизнесшколы. Вып. 21(ч.№1). – К.: Наша справа, 2002. –72с.

Надійшла до редакції 15.10.2015