

УДК 629.7.014 : 623.556.6

**КОЦУРЕНКО Ю.В.**, провідний науковий співробітник, кандидат військових наук, доцент, старший науковий співробітник

**ІГНАТЬЄВ М.М.**, старший науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України

## **ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТАКТИЧНИХ ЛІТАКІВ ПО ПОВІТРЯНИМ ЦІЛЯМ**

*Розглядається підхід до побудови математичної моделі оцінки ефективності бойового застосування тактичних літаків по повітряним цілям, призначеної для вибору раціонального варіанта модернізації комплексу авіаційного озброєння, за допомогою методу динаміки середніх*

*Ключові слова: тактичний винищувач, модернізація, груповий повітряний бій, авіаційні засоби ураження, керовані ракети, математична модель, динаміка середніх, ефективність*

При модернізації тактичних літаків актуальним і, водночас, досить складним завданням є визначення раціонального складу авіаційного озброєння, що призначене для ураження повітряних цілей.

Актуальність питання обумовлена необхідністю підвищення бойової ефективності літака у ході модернізації, а складність – значною невизначеністю у багатьох факторах під час ведення повітряного бою.

На даний час є беззаперечною уява про те, що якісне вирішення задачі обґрунтування раціональних варіантів модернізації військової авіаційної техніки може бути досягнуто головним чином шляхом математичного моделювання бойового застосування обраних зразків літальних апаратів.

За своїм змістом найбільш поширеною математичною моделлю, що застосовується в інтересах вибору раціональних варіантів модернізації військових ЛА, є модель оцінки ефективності їх бойового застосування [1,2].

Ймовірність ураження винищувачем повітряної цілі при виконанні її перехоплення можна визначити за такою узагальненою формулою [3]:

$$W_{VP} = W_H W_{AT} W, \quad (1)$$

де  $W_H$  – ймовірність наземного наведення винищувача в область, з якої екіпаж винищувача виявить ціль;  $W_{AT}$  – ймовірність виходу винищувача в область можливих атак (стрільби);  $W$  – умовна ймовірність ураження повітряної цілі, тобто ймовірність того, що після пуску ракет (стрільби із гармат) бойовий заряд влучить у область ураження цілі.

Насправді умови повітряного бою більш складні і кількість факторів, що впливають на ефективність бойового застосування АЗУ є більшою. Тому ймовірність ураження будь-якої групи повітряної цілі одним пострілом (залпом) з урахуванням фактичних умов буде мати такий вираз:

$$W_{\Phi} = W_{РЕБ\ БРЛС} W_{РЕБ\ ПН} Q_{НС} W_{Н} W_{a} [1 - (1 - p_{р} p_{зг} p_{п} W_{РЕБ\ Р} W_1)^{n_p}], \quad (2)$$

де  $W_{РЕБ\ БРЛС}$  – ймовірність подолання протидії засобів РЕБ противника БРЛС винищувача;  $W_{РЕБ\ ПН}$  – ймовірність подолання протидії засобів РЕБ противника радіоканалом з пункту наведення винищувальної авіації;  $Q_{НС}$  – ймовірність подолання протидії наземних засобів ППО противника;  $p_{р}$  – ймовірність безвідмовної роботи системи управління ракети;  $p_{зг}$  – ймовірність захоплення цілі ГСН ракети;  $p_{п}$  – ймовірність безвідмовної роботи прицільної системи (БРЛС) винищувача;  $W_{РЕБ\ Р}$  – ймовірність подолання протидії засобів РЕБ противника ГСН ракети;  $W_1$  – умовна ймовірність ураження повітряної цілі однією ракетою;  $n_p$  – кількість ракет у залпі.

Усі перелічені часткові показники ефективності застосування керованих ракет класу "повітря-повітря", за виключенням  $W_1, n_p$ , для свого визначення потребують використання часткових математичних моделей, яким властива невизначеність у багатьох факторах. До них належать такі:

бойових склад повітряного противника, його тактичне шикування та рівні підготовки льотних екіпажів;

діапазон висот і швидкостей ведення повітряного бою;

ракурси на початку бою і на момент застосування зброї;

фактичні дальності стрільби;

кількість атак у ході бою;

ефективність радіоелектронної протидії з боку противника тощо.

Крім того, на практиці, повітряний бій здебільше буває груповим, тобто у ньому приймає участь по меншій мірі з однієї сторони, як правило, більше ніж один літак.

Все це вимушує застосовувати замість складних математичних моделей спрощені методи, які дозволяють усунути невизначеності, що мають місце у багатьох факторах. Так, у статтях [4], [5] і [6] запропоновано використовувати спрощені імітаційні моделі повітряного бою, у яких розглядається протиборство двох винищувачів. Разом із тим досвід бойових дій у локальних війнах і збройних конфліктах останніх десятиліть свідчить, що переважна кількість повітряних боїв були груповими.

Стосовно таких боїв у статті [7] запропоновано використовувати метод динаміки середніх, який має справу не з ймовірностями станів, а з середніми кількостями сторін. При цьому в основі методу лежать такі припущення [8,9]:

а) кожний можливий стан системи у будь-який момент часу визначається не фактичним числом одиниць, а його середнім значенням;

б) перехід кожної одиниці системи з одного стану в інший відбувається під впливом відповідних пуассонівських потоків подій.

З метою визначення раціонального варіанта модернізації системи озброєння тактичного винищувача для дії по повітряним цілям із використанням методу динаміки середніх доцільно розглянути другу із основних моделей двостороннього групового повітряного бою, а саме: модель бою при відсутності інформації про результати стрільби [8].

При описі цієї моделі припущення полягають у такому:

1. Кожний літак будь-якої сторони здійснює пуассоновський потік пострілів.
2. Вогонь кожної сторони розподіляється статистично рівномірно по всім літакам противника, тобто середнє число пострілів (залпів), які здійснені по літаку за інтервал часу, для усіх літаків одне й те ж; кожний успішний постріл (залп) може уразити не більше одного літака противника.
3. Інформація про ураження цілей не надходить і перерозподілу вогню не робиться.

При використанні даної моделі долі чисельності сторін  $\gamma_1, \gamma_2$ , на момент часу закінчення повітряного бою  $t_{ПБ}$  від початкового складу, виходячи з рівнянь Дінера, будуть дорівнювати [9]:

$$\gamma_1 = \frac{u_2 - u_1}{u_2 e^{(u_2 - u_1)t_{ПБ}} - u_1}, \quad \gamma_2 = \frac{u_1 - u_2}{u_1 e^{(u_1 - u_2)t_{ПБ}} - u_2}, \quad (3)$$

де  $u_1 = \Lambda_1 N_1 / N_2$ ;  $u_2 = \Lambda_2 N_2 / N_1$ ;  $t_{ПБ}$  – час ведення повітряного бою, хв.;  $\Lambda_1, \Lambda_2$  – щільності пуассоновського потоку успішних пострілів протиборчих літаків;

$$\Lambda_1 = \lambda_1 p_1; \quad \Lambda_2 = \lambda_2 p_2, \quad (4)$$

де  $\lambda_1, \lambda_2$  – швидкості стрільби протиборчих літаків в пострілах за хв.;  $p_1, p_2$  – ймовірності ураження літака, що піддано обстрілу з угруповання противника однією стрільбою (залпом).

Головна особливість використання співвідношення (3) для визначення результатів групового повітряного бою полягає у способах визначення швидкості стрільби протиборчих літаків  $\lambda_1, \lambda_2$  і ймовірності ураження літака з протилежного угруповання однією стрільбою (залпом)  $p_1, p_2$ .

Для цього звернемося до можливих варіантів сучасного повітряного групового бою.

Досвід локальних війн останніх десятиліть показує, що груповий повітряний бій відбувається переважно у двох основних варіантах: бій на середніх дистанціях і ближній бій [10].

У бою на середніх дистанціях найвигіднішим напрямком атаки вважається зустрічне (з передньої півсфери), при якому досягається максимальна дальність пуску ракет внаслідок великих швидкостей зближення. При цьому характерною рисою такого повітряного бою є те, що він починається і закінчується до рубежу

встановлення зорового контакту з противником, що виключає енергійне маневрування для виходу в задню півсферу.

Для отримання співвідношення швидкості стрільби літаків-випилювачів  $\lambda$  необхідно такий варіант групового повітряного бою формалізувати більш конкретно. З цією метою потрібно прийняти певну схему стрільби. Наприклад, стрільба випилювачами кожної групи ведеться послідовними залпами, причому перший залп ракет здійснюється з максимальної дальності, наступні – одразу після попередніх стрільб без контролю їх результатів. У цьому випадку швидкість стрільби випилювачів може бути визначена за формулою:

$$\lambda_{1(2)} = \frac{n_{СТР1(2)} (V_1 + V_2)}{60(D_{Н1(2)} - D_{К1(2)})}, \quad (5)$$

де  $\lambda_{1(2)}$  – швидкості стрільби випилювачів сторін, пострілів за хв.;  $n_{СТР1(2)}$  – кількість стрільб (залпів), що виконуються кожним випилювачем відповідної сторони у ході повітряного бою;  $V_1, V_2$  – швидкості випилювачів сторін, км/год.;  $D_{Н1(2)}, D_{К1(2)}$  – початкові і кінцеві дальності першого і останнього пуску (залпу) ракет випилювачів сторін у ході повітряного бою.

З урахуванням досвіду локальних війн можна припустити, що у повітряному бою на зустрічних курсах сучасні літаки-випилювачі можуть виконати не більше трьох послідовних стрільб (залпів). Це, також, витікає з нескладних розрахунків, при прийнятті до уваги, що типове озброєння випилювачів включає авіаційні керовані ракети (КР) середньої (СД) і малої дальності (МД) або ближньої дії (БД) з максимальною дальністю стрільби 35...50, 15...20 і 5...10 км відповідно [10].

Ймовірність ураження випилювачем за допомогою одного пострілу (залпу) з урахуванням фактичних умов можна визначити за формулою (2). Усі перелічені часткові показники ефективності застосування керованих ракет класу "повітря-повітря", за виключенням  $W_1, n_p$ , можна визначити з використанням часткових математичних моделей або експертних оцінок.

Середні значення умовної ймовірності ураження повітряної цілі типу "тактичний випилювач" однією ракетою складають [7]: КР СД – 0,7; КР МД – 0,6; КР БД – 0,5.

Оскільки варіант бойової зарядки літака-випилювача може включати різні типи ракет, то в розрахунках необхідно використовувати осереднені значення ймовірності ураження повітряних цілей однією стрільбою (залпом). Їх можна визначити за формулою

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{n_{СТР}} W_{\Phi i}}{n_{СТР}}. \quad (6)$$

Час ведення повітряного бою, що використовується в формулі (3), можна визначити із співвідношення:

$$t_{ПБ} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{60(D_{H1} - D_{K1})}{V_1 + V_2} \\ \frac{60(D_{H2} - D_{K2})}{V_1 + V_2} \end{array} \right\}. \quad (7)$$

Співвідношення (7) має такий вигляд виходячи із припущення, що літаки-випишувачі угруповання, яке виконало передбачену кількість стрільб першим, негайно виходять з бою.

Розглянутий метод застосовується, як правило, для однорідних (хоча і таких, що відрізняються одна від другої) угруповань винищувачів сторін. Це дає змогу порівнювати бойові можливості груп, що складаються із вихідних літаків, з групами, які сформовані з модернізованих літаків.

Розглянемо приклад. Визначити результати групового повітряного бою на зустрічних курсах двох протидорчих груп винищувачів у складі  $N_1 = 8$  и  $N_2 = 8$  літаків одного типу на швидкості 1000 км/год. Перша група має варіант бойової зарядки 2×УР СД + 4×УР БД, друга група з модернізованими літаками – 2×УР СД + 4×УР МД. Літаки обох груп ведуть стрільбу залпами по дві ракети: першої групи – 2×УР СД, 2×УР БД, 2×УР БД з відстаней 40, 8, 4 км відповідно; другої групи – 2×УР СД, 2×УР МД, 2×УР МД з відстаней 40, 20, 10 км відповідно. Для обох груп літаків часткові показники ефективності становлять:  $W_{РЕББРЛС} = 0,8$ ;  $W_{РЕБПН} = 0,8$ ;  $Q_{НС} = 0,95$ ;  $W_H = 0,75$ ;  $W_a = 0,9$ ;  $p_P = 0,97$ ;  $p_{зг} = 0,9$ ;  $p_{П} = 0,97$ ;  $W_{РЕБР} = 0,8$ ;  $W_1$  – УР СД – 0,7; УР МД – 0,6; УР БД – 0,5.

Рішення:

1. Визначаємо швидкості стрільби винищувачів протидорчих сторін за формулою (5) та отримаємо:  $\lambda_1 = 2,78$  в/хв,  $\lambda_2 = 3,33$  в/хв.

2. Визначимо фактичні ймовірності ураження повітряних цілей винищувачами сторін при стрільби ракетами залпами за формулою (2) та отримаємо:  $W_{\Phi1СД} = 0,297$ ,  $W_{\Phi1БД} = 0,231$ ,  $W_{\Phi2СД} = 0,297$ ,  $W_{\Phi2МД} = 0,266$ .

3. Визначимо середні ймовірності ураження винищувачами сторін протидорчих літаків за одну стрільбу (залп) за формулою (6) та отримаємо:  $p_1 = 0,253$ ,  $p_2 = 0,276$ .

4. Визначимо щільності пуассонівських потоків успішних пострілів протидорчих винищувачів за формулою (4) та отримаємо:  $\Lambda_1 = 0,703$ ,  $\Lambda_2 = 0,919$ .

5. Визначимо час ведення повітряного бою за формулою (7) та отримаємо:  $t_{ПБ} = 0,9$  хв.

6. Визначимо відносні кількості вцілілих винищувачів сторін за формулою (3) та отримаємо:  $u_1 = 0,703$ ,  $u_2 = 0,919$ ,  $\gamma_1 = 0,523$ ,  $\gamma_2 = 0,634$ .

7. Визначимо кількість збитих літаків у повітряному бою у кожній з протидорчих груп  $m_{зБ1}$ ,  $m_{зБ2}$ :

$$m_{3Б1} = N_1(1 - \gamma_1) = 8 \cdot (1 - 0,523) = 3,82 \approx 4 \text{ літаки},$$

$$m_{3Б2} = N_2(1 - \gamma_2) = 8 \cdot (1 - 0,634) = 2,93 \approx 3 \text{ літаки}.$$

**Висновок:** у разі реалізації можливості застосовувати керовані ракети класу "повітря-повітря" малої дальності замість ракет ближньої дії під час модернізації винищувача ефективність ураження повітряних цілей при інших незмінних параметрах бортового озброєння підвищиться орієнтовно на 12% (зменшення втрат на один літак із групи у складі 8 літаків).

Таким чином, за допомогою метода динаміки середніх можна з використанням відносно простих залежностей оперативно визначати очікувані результати групового повітряного бою.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дуров В.Р. Боевое применение и боевая эффективность истребителей-перехватчиков – М.: Воениздат, 1972. – 280 с.
2. Мильграм Ю.Г. Исследование операций и алгоритмизация боевых действий. – М.: ВВИА, 1968. – 462 с.
3. Справочник офицера противовоздушной обороны / Под ред. Зимина Г.В. – М.: Воениздат, 1981. – 431 с.
4. Чадюк В.О., Улізько В.І., Хатунцева З.В. Про можливість застосування спрощених моделей повітряного бою винищувачів // Збірник наукових праць ДНДІА, 2007.–Випуск 3(10).–С. 172-175.
5. Хатунцева З.В., Міцитіс А.К. Модель протиборства двох винищувачів (дальній повітряний бій) // Збірник наукових праць ДНДІА, 2008.–Випуск 4(11).–С. 106-109.
6. Міцитіс А.К., Хатунцева З.В. Імітаційна модель дальнього повітряного бою двох винищувачів // Збірник наукових праць ДНДІА, 2009.–Випуск 5(12).–С. 84-88.
7. Ігнат'єв М.М., Коцуренко Ю.В. Оцінка очікування результату групового повітряного бою з використанням методу динаміки середніх // Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України, 2006.– №3(37).–С. 131-140.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: "Советское радио", 1972. – 552 с.
9. Динер И.Я. Исследование операций. – Л.: ВМОЛУА, 1969. – 606 с.
10. Краснов А.Б. Секреты неотразимых атак. – М.: Воениздат, 1991. – 272 с.

*Надійшла до редакції 11.10.2013*