

УДК 358.422

В.В. Герасименко<sup>1</sup>, В.М. Горбенко<sup>1</sup>, О.М. Компанієць<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний університет оборони України, Київ<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## УДОСКОНАЛЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОВІТРЯНОЇ ДУЕЛІ З УРАХУВАННЯМ ФАКТИЧНОГО РІВНЯ ПІДГОТОВКИ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ

Запропоновано математичний апарат урахування фактичного рівня підготовки льотного складу у математичній моделі повітряної дуелі під час винищувального авіаційного прикриття військ та об'єктів з метою підвищення ефективності застосування винищувальної авіації.

**Ключові слова:** винищувальна авіація, повітряна дуель, рівень підготовки льотного складу, ефективність.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Існуючі математичні моделі, що враховують рівень підготовки льотного складу базуються на використанні коефіцієнтних методик урахування рівня підготовки льотного складу, які віддзеркалюють класну кваліфікацію льотчика. Але, такий підхід не дозволяє врахувати індивідуальний (фактичний) рівень підготовки льотного складу при виконанні завдань за призначенням. Тому, в умовах нерегулярного виконання польотів за планом Бойової підготовки, тривалих перерв гостро постає питання урахування фактичного рівня підготовки льотного складу до виконання поставлених завдань. Вирішити це завдання дозволяє використання теорії ймовірностей, а саме залежності ймовірності виконання поставленого завдання від наявного часу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Усі відомі авторам математичні моделі, в яких враховується рівень підготовки льотного складу, застосовують або коефіцієнт підготовки льотного складу  $K_{пл.с.}$  або ймовірність ураження винищувачем повітряної цілі, яка в свою чергу розраховується з використанням коефіцієнту підготовки льотного складу [1, 2]. Або, через складність урахування рівня підготовки льотного складу, взагалі відмовляються від урахування цього фактору, як нестабільного [3]. В той же час у літературі [4, 5] наводяться результати досліджень залежності виконання бойового завдання від наявного часу.

**Виділення проблеми.** Відповідно, для урахування впливу фактичного рівня підготовки льотного складу на ефективність виконання завдань за призначенням, необхідно створити таку математичну та статистичну основу, яка б найбільш повним чином враховувала і віддзеркалювала рівень підготовки льотчика в сучасних умовах.

**Постановка завдання.** Отже, авторами статті поставлено завдання удосконалити існуючу математичну модель повітряної дуелі, яка б дозволила врахувати фактичний рівень підготовки льотного складу винищувальної авіації до виконання завдань за призначенням, що дозволить в умовах нестабільної підготовки найбільш повно показати залежність ви-

конання завдань за призначенням від зовнішніх умов (наявного часу).

### Виклад основного матеріалу

Повітряна дуель (ПД) – це дальній повітряний бій винищувача із засобом повітряного нападу (ЗПН) противника на відносно короткому інтервалі часу, на протязі якого противники можуть обмінюватись обмеженою кількістю ракетних ударів.

Показники ефективності та ризику у повітряних дуелях.

У повітряній дуелі можуть бути 4 результати:  
 винищувач уразив ЗПН противника і зберіг боєздатність;  
 винищувач уразив ЗПН противника і був сам уражений;  
 винищувач не уразив ЗПН і був сам уражений;  
 винищувач не уразив ЗПН противника і зберіг боєздатність.

Для кількісної оцінки цих результатів введені два показника:

показник ефективності  $E$  – ймовірність ураження ЗПН противника;  
 показник ризику  $R$  – ймовірність знищення винищувача противником.

Введені показники визначаються для кожного із противників. У зв'язку з цим ефективність і ризик винищувача позначимо  $E_1$  і  $R_1$ , а ефективність і ризик ЗПН позначимо  $E_2$  і  $R_2$ .

У повітряній дуелі беруть участь два літаки – винищувач і ЗПН противника, кожен з яких має завдання знищення літака противника.

Значення показників ефективності та ризику у дуелі у великому ступені залежать від типу боєприпасів, що використовуються противниками та від способу наведення їх на ціль.

За способом наведення на ціль боєприпаси (БП) вогневих засобів ППО розділяються на БП з залежним наведенням (ЗН), БП з незалежним наведенням (самонаведенням) (СН) і БП з комбінованим наведенням (КН).

БП ЗН управляються вогневим комплексом (ВК) винищувача до моменту ураження цілі. Якщо ВК-ЗН

у процесі наведення уражається противником, то ураження цілі неможливе. У зв'язку з цим, зокрема, до БП з залежним наведенням відносяться зенітні керовані ракети (ЗКР) зенітних ракетних комплексів (ЗРК) з телеуправлінням, ЗКР ЗРК з напівактивною системою наведення, керовані авіаційні бомби (КАБ).

У БП з СН реалізується принцип "пустив – забув". ВК з СН відразу після пуску може переносити вогонь на іншу ціль. Якщо в процесі стрільби ВК буде уражений противником чи вийде із ладу в результаті відмови, наведення на ціль не припиняється й ураження цілі можливе. До БП з самонаведенням відносяться, наприклад, зенітні ракети ПЗРК, протирадіолокаційні авіаційні ракети (наприклад, Харм, Стандарт АРМ). У ВК з КН наведення боєприпасів на ціль на початковій ділянці є залежним, а на кінцевій – незалежним. При моделюванні режим КН, в залежності від дальності звільнення ВК, може перетворюватися у режим ЗН або СН.

Прийmemo наступні припущення.

1. Винищувач починає перехват цілі противника після її виявлення і видачі цілевказівки у момент часу  $t_0 = 0$  при відстані до неї  $L_0$ . Параметр  $L_0$  є випадковою величиною, розподілений за відомим законом розподілу, який залежить від ряду факторів, таких як: ТТХ засобів розвідки, інтенсивності радіозавад, ЕПР літака, часу доби, погодних умов.

2. Винищувач рухається назустріч ЗПН з постійною швидкістю  $V_1 > 0$ , ЗПН рухається назустріч винищувачу з постійною швидкістю  $V_2 > 0$ .

3. Швидкості ракет винищувача і ЗПН постійні та дорівнюють  $V_{1p}$  і  $V_{2p}$ .

4. Винищувач виявляє ЗПН при відстані до ЗПН  $D_{1в}$ , ЗПН виявляє винищувач при відстані до винищувача  $D_{2в}$ . Ці дальності також залежать від ряду факторів, таких як: ТТХ бортових засобів розвідки, інтенсивність взаємних штучно створених радіозавад, ЕПР літаків, час доби, погодні умови.

5. Область пуску ЗПН по винищувачу задається дальньою межею області пуску  $D_{2д}$ , а область пуску винищувача по ЗПН – дальньою межею області пуску  $D_{1д}$ .

6. Ймовірності ураження винищувача і ЗПН в межах відповідних зон ураження незмінні та дорівнюють відповідно  $e_1$  і  $e_2$ .

7. Противники озброєні вогневыми комплексами з комбінованим наведенням боєприпасів на ціль (ВК-КН).

8. Дуель закінчується, коли винищувач або ЗПН виходить з бою після звільнення від наведення АР. Час виходу з бою винищувача та ЗПН дорівнює  $T_{1вих}$  та  $T_{2вих}$ .

Одержимо основні співвідношення для розрахунку значень параметрів процесу взаємного обстрілу противниками один одного.

Параметри процесу обстрілу представлені на рис. 1. Характерні моменти часу:  $t_{2в}$  – час виявлення цілі (винищувача) засобом повітряного нападу;  $t_{2г}$  – час готовності ЗПН до пуску АР;  $t_{2д}$  – час підльоту ЗПН на дальність пуску;  $t_{2п}$  – час пуску ЗПН авіа-

ційної ракети;  $t_{2зв}$  – час звільнення ЗПН від наведення АР;  $t_{2у}$  – час зустрічі АР ЗПН із винищувачем;  $t_{2вих}$  – момент виходу ЗПН із бою.

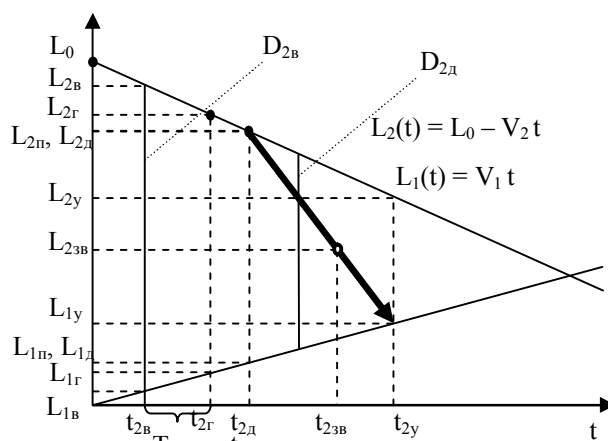


Рис. 1. Параметри обстрілу винищувача ЗПН противника

Характерні інтервали часу:  $T_{2пп}$  – тривалість підготовки ЗПН до пуску АР;  $T_{2вих}$  – час виходу ЗПН із бою. Характерні дальності:  $L_{2в1}$  – дальність до ЗПН в момент виявлення винищувача;  $L_{2г1}$  – дальність до ЗПН в момент готовності до пуску АР по винищувачу;  $L_{2д1}$  – дальність до ЗПН в момент його виходу на межу пуску АР;  $L_{2п1}$  – дальність до ЗПН в момент пуску АР по винищувачу;  $L_{2у1}$  – дальність до ЗПН в момент ураження винищувача;  $L_{2в1}$  – дальність до АРК в момент його виявлення;  $L_{1г1}$  – дальність до винищувача в момент готовності ЗПН до пуску АР;  $L_{1д1}$  – дальність до винищувача в момент виходу ЗПН на межу пуску АР;  $L_{1п1}$  – дальність до винищувача в момент пуску по ньому АР;  $L_{1у1}$  – дальність до винищувача в момент його ураження.

Характерні просторові параметри:  $L_0$  – початкова відстань від винищувача до ЗПН;  $D_{2в}$  – дальність виявлення винищувача;  $D_{2д}$  – дальня межа ураження ЗПН авіаційною ракетою.

Характерні швидкісні параметри:  $V_1$  – швидкість польоту винищувача;  $V_2$  – швидкість польоту ЗПН;  $V = V_2 + V_1$  – швидкість зближення противників;  $V_{2p}$  – швидкість польоту авіаційної ракети ЗПН.

Закон зміни дальності до ЗПН:  $L_2(t) = L_0 - V_2 t$ .

Закон зміни дальності до АРК:  $L_1(t) = V_1 t$ .

Тоді час виявлення винищувача  $t_{2в}$  визначається із рівняння

$$L_2(t_{2в}) - L_1(t_{2в}) = D_{2в}; \quad (1)$$

$$L_0 - (V_2 + V_1) t_{2в} = D_{2в}; \quad (2)$$

$$t_{2в} = (L_0 - D_{2в}) / V. \quad (3)$$

Дальність до ЗПН в момент виявлення винищувача

$$L_{2в1} = L_2(t_{2в}) = L_0 - V_2 t_{2в} = L_0 - V_2 \frac{L_0 - D_{2в}}{V}. \quad (4)$$

Дальність до АРК в момент його виявлення

$$L_{1B1} = L_1(t_{2B}) = V_1 t_{2B} = V_1 \cdot (L_0 - D_{2B}) / V. \quad (5)$$

Час готовності до пуску АР

$$t_{2\Gamma} = t_{2B} + T_{2\Pi\Pi} = (L_0 - D_{2B}) / V + T_{2\Pi\Pi}. \quad (6)$$

Дальність до винищувача в момент готовності ЗПН до пуску АР

$$L_{1\Gamma1} = L_1(t_{2\Gamma}) = V_1 \cdot ((L_0 - D_{2B}) / V + T_{2\Pi\Pi}) \quad (7)$$

дальність до ЗПН в момент його готовності до пуску АР

$$L_{2\Gamma1} = L_2(t_{2\Gamma}) = L_0 - V_2 \cdot ((L_0 - D_{2B}) / V + T_{2\Pi\Pi}). \quad (8)$$

Дальня межа пуску АР

$$L_{2Д} = D_{2\PiД} (1 + V/V_{2p}). \quad (9)$$

Час виходу ЗПН на межу пуску АР  $t_{2\Pi}$  визначається із рівняння

$$L_2(t_{2Д}) - L_1(t_{2Д}) = L_0 - V_2 t_{2Д} - V_1 t_{2Д} = D_{2Д} \quad (10)$$

і дорівнює

$$t_{2Д} = \frac{L_0 - L_{2Д}}{V} = \frac{(L_0 - D_{2\PiД}) V_{2p} - D_{2\PiД} V}{V_{2p} V}. \quad (11)$$

Дальність до ЗПН в момент його виходу на межу пуску АР

$$L_{2Д1} = L_0 - V_2 t_{2Д} = L_0 - V_2 \cdot \left( \frac{(L_0 - D_{2\PiД}) V_{2p} - D_{2\PiД} V}{V_{2p} V} \right). \quad (12)$$

Дальність до винищувача в момент виходу ЗПН на межу пуску АР

$$L_{1Д1} = V_1 t_{2Д} = V_1 \frac{(L_0 - D_{2\PiД}) V_{2p} - D_{2\PiД} V}{V_{2p} V}. \quad (13)$$

Пуск АР можливий при готовності ЗПН до пуску за умови, що відстань між ЗПН та винищувачем не більше дальності пуску  $D_{2\Pi}$ . Тому час та дальність пуску АР визначається співвідношенням

$$t_{2\Pi} = \max \{ t_{2\Gamma}, t_{2Д} \} = \begin{cases} t_{2Д}, & t_{2Д} > t_{2\Gamma}; \\ t_{2\Gamma}, & t_{2Д} \leq t_{2\Gamma}; \end{cases} \quad (14)$$

$$L_{1\Pi1} = V_1 t_{2\Pi}, \quad L_{2\Pi1} = L_0 - V_2 t_{2\Pi}. \quad (15)$$

Для визначення часу польоту АР до зустрічі з винищувачем потрібно порівняти між собою час польоту винищувача та час польоту ракети ЗПН до точки зустрічі та вирішити це рівняння відносно невідомої дальності винищувача  $L_{1y}$  в момент його зустрічі з АР

$$T_{2\Pi y} = (L_{2\Pi1} - L_{1y1}) / (V_2 + V_{2p}) = (L_{1y1} - L_{1\Pi1}) / V_1. \quad (16)$$

Таким чином, час польоту АР до зустрічі з винищувачем

$$T_{2\Pi y} = \frac{(V_2 + V_{2p}) L_0 - (V_2 V + (V_{2p} + V_1) V_{2p}) t_{2\Pi}}{(V + V_{2p})(V_2 + V_{2p})}. \quad (17)$$

Визначимо тепер час зустрічі АР із ціллю  $t_{2y}$

$$t_{2y} = t_{2\Pi} + T_{2\Pi y} = t_{2\Pi} + \frac{(V_2 + V_{2p}) L_0 - (V_2 V + (V_{2p} + V_1) V_{2p}) t_{2\Pi}}{(V + V_{2p})(V_2 + V_{2p})}. \quad (18)$$

Таким чином, час зустрічі АР ЗПН з ціллю (час ураження винищувача)  $t_{2y}$  може бути розраховано за формулою

$$t_{2y} = \frac{(V_2 + V_{2p}) L_0 + 2V_2 V_{2p} t_{2\Pi}}{(V + V_{2p})(V_2 + V_{2p})}. \quad (19)$$

В залежності від способу наведення ракет на ціль час звільнення ЗПН від наведення АР визначається співвідношенням

$$t_{2зв} = \begin{cases} t_{2\Pi}, & \text{для АР із СН} \\ t_{2y}, & \text{для АР із ЗН} \end{cases}. \quad (20)$$

Після звільнення від наведення АР ЗПН виходить із бою за деякий фіксований час  $T_{2вих}$ . При цьому момент виходу ЗПН із бою розраховується за формулою  $t_{2вих} = t_{2зв} + T_{2вих}$ .

Інтервал часу заняття вигідного положення для атаки (пуску АР) позначимо  $T_{1ат}$  і  $T_{2ат}$  відповідно. Причому цей інтервал залежить від фактичного рівня підготовки льотного складу, тому для льотчиків відповідно з "відмінним", "добрим" та "задовільним" рівнем підготовки будуть свої  $T_{1ат}$  і  $T_{2ат}$ .

$$t_{1\Gamma} = t_{1B} + T_{1\Pi\Pi} + T_{1ат} = \frac{L_0 - D_{1B}}{V} + T_{1\Pi\Pi} + T_{1ат}; \quad (21)$$

$$t_{2\Gamma} = t_{2B} + T_{2\Pi\Pi} + T_{2ат} = \frac{L_0 - D_{2B}}{V} + T_{2\Pi\Pi} + T_{2ат}. \quad (22)$$

Можливі два випадки: 1-й – винищувач наводиться з землі, тобто його виводять у вигідне для атаки ЗПН противника положення, відповідно можна припустити, що  $T_{1ат} = 0$  і  $T_{2ат} = 0$ ; 2-й – винищувач здійснює самостійний пошук ЗПН противника бортовими засобами. У цьому випадку отримаємо

$$t_{1\Gamma} = \begin{cases} t_{1B} + T_{1\Pi\Pi}, & \text{з ПНА}; \\ t_{1B} + T_{1\Pi\Pi} + T_{1ат} = \frac{L_0 - D_{1B}}{V} + T_{1\Pi\Pi} + T_{1ат}, & \text{без ПНА} \end{cases} \quad (23)$$

Модель обстрілу засобу повітряного нападу противника винищувачем. В силу симетрії основні співвідношення для визначення параметрів процесу обстрілу ЗПН авіаційним ракетним комплексом одержують із наведених формул простою заміною індексів 1 на 2 та 2 на 1. Параметри процесу обстрілу ЗПН винищувачем та залежність їхньої дальності від часу представлені на рис. 2.

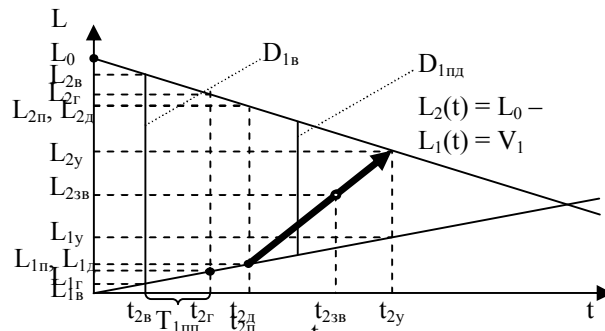


Рис. 2. Параметри процесу обстрілу винищувачем ЗПН противника

Одержані основні співвідношення для визначення ефективності та ризику у повітряній дуелі винищувача та ЗПН противника.

У повітряній дуелі ефективність та ризик винищувача визначається такими співвідношеннями

$$R_1 = \begin{cases} e_2, & t_{2зв} < t_{1y}, & t_{1вих} > t_{2y}; \\ e_2(1-e_1), & t_{2зв} \geq t_{1y}, & t_{1вих} > t_{2y}; \\ 0, & t_{2вих} < t_{2y}; \end{cases} \quad (24)$$

$$E_1 = \begin{cases} e_1, & t_{1зв} < t_{2y}, & t_{2вих} > t_{1y}; \\ e_1(1-e_2), & t_{1зв} \geq t_{2y}, & t_{2вих} > t_{1y}; \\ 0, & t_{2вих} < t_{1y}, \end{cases} \quad (25)$$

де  $e_1$  – ймовірність ураження винищувач→ЗПН;  $e_2$  – ймовірність ураження ЗПН→винищувач;  $t_{2y}$  – момент ураження ЗПН→винищувач;  $t_{1y}$  – момент

ураження винищувач→ЗПН;  $t_{1зв}$  – час звільнення винищувача від наведення АР;  $t_{2зв}$  – час звільнення ЗПН від наведення АР;  $t_{1вих}$  – час виходу винищувача з бою;  $t_{2вих}$  – час виходу ЗПН з бою.

Алгоритм розрахунку значень показників ефективності та ризику показаний на рис. 3.

Значення одержаних показників залежить від співвідношення параметрів  $t_{1зв}$ ,  $t_{1y}$ ,  $t_{1вих}$ ,  $t_{2зв}$ ,  $t_{2y}$ ,  $t_{2вих}$ , які в свою чергу залежать від великої кількості випадкових факторів. Найбільш важливим із цих факторів є дальність початку дуелі, яка визначається дальністю виявлення цілей  $L_0$  засобами РТВ.

Нехай параметр  $L_0$  є випадковою величиною із щільністю ймовірності  $f(L_0)$ .

Тоді значення показників ефективності та ризику також є випадковими величинами і їх можна оцінити математичним сподіванням.

Введення вихідних даних: початкова відстань ЗПН←винищувач –  $L_0$ ; тривалість підготовки винищувача (ЗПН) до пуску АР –  $T_{1ПП}$  ( $T_{2ПП}$ ); час виходу винищувача (ЗПН) з бою –  $T_{1вих}$  ( $T_{2вих}$ ); дальність виявлення ЗПН (винищувача) –  $D_{1ПД}$  ( $D_{2ПД}$ ); швидкість польоту ЗПН (винищувача) –  $V_2$  ( $V_1$ ); швидкість польоту АР винищувача (АР ЗПН) –  $V_{1p}$  ( $V_{2p}$ ); ймовірність ураження винищувач→ЗПН (ЗПН→винищувач) –  $e_1$  ( $e_2$ )

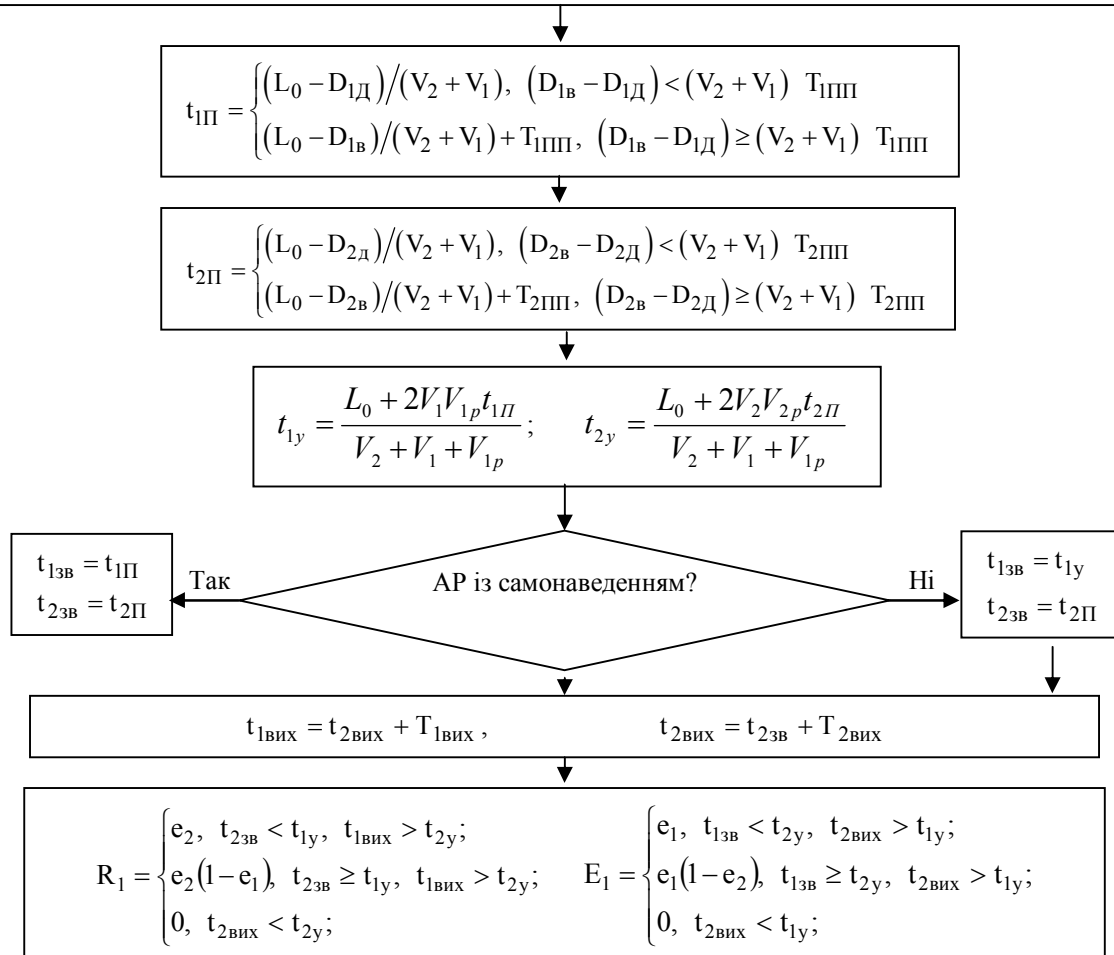


Рис. 3. Алгоритм розрахунку показників ефективності та ризику

Представимо параметри моделі у вигляді:

$$t_{1y} = A_1 L_0 + B_1 t_{1ПП}; \quad (26)$$

$$t_{2y} = A_2 L_0 + B_2 t_{2ПП}; \quad (27)$$

$$A_1 = 1/(V + V_{1p}); \quad A_2 = 1/(V + V_{2p}) \quad (28)$$

$$B_1 = 2V_1 V_{1p} / ((V + V_{1p})(V_1 + V_{1p})); \quad (29)$$

$$B_2 = 2V_2 V_{2p} / ((V + V_{2p})(V_2 + V_{2p})); \quad (30)$$

$$S_1 = T_{1ПП} - (1/V)D_{1В}, S_2 = T_{1ПП} - (1/V)D_{2В}; \quad (31)$$

$$t_{1П} = \begin{cases} t_{1Д}, & L_0 > H_1; \\ L_0 / V + S_1, & L_0 \geq H_1; \end{cases} \quad (32)$$

$$t_{2П} = \begin{cases} t_{2Д}, & L_0 > H_2; \\ L_0 / V + S_2, & L_0 \geq H_2; \end{cases} \quad (33)$$

$$t_{1у} = \begin{cases} A_1 L_0 + B_1 t_{1Д}, & L_0 > H_1; \\ C_1 L_0 + G_1, & L_0 \leq H_1; \end{cases} \quad (34)$$

$$t_{2у} = \begin{cases} A_2 L_0 + B_2 t_{2Д}, & L_0 > H_2; \\ C_2 L_0 + G_2, & L_0 \leq H_2; \end{cases} \quad C_1 = A_1 + B_1 / V; \quad (35)$$

$$C_2 = A_2 + B_2 / V, G_1 = B_1 S_1, G_2 = B_2 S_2; \quad (36)$$

$$t_{1Вих} = \begin{cases} t_{1П} + T_{1Вих}, & CH_1; \\ t_{1у} + T_{1Вих}, & 3H_1; \end{cases} \quad (37)$$

$$t_{2Вих} = \begin{cases} t_{2П} + T_{2Вих}, & CH_2; \\ t_{2у} + T_{2Вих}, & 3H_2. \end{cases} \quad (38)$$

З урахуванням такого запису часових параметрів і в залежності від типу систем наведення АР та ЗПН одержуємо формули для показників ефективності та ризику для дуелей типу  $CH_1 \leftrightarrow CH_2$ ,  $CH_1 \leftrightarrow 3H_2$ ,  $3H_1 \leftrightarrow CH_2$  та  $3H_1 \leftrightarrow 3H_2$ .

При такому представленні кількість часових параметрів умов зменшується до чотирьох:  $\{t_{1П} = t_{1П}(L_0), t_{1у} = t_{1у}(L_0), t_{2П} = t_{2П}(L_0), t_{2у} = t_{2у}(L_0)\}$ .

При цьому математичне сподівання ефективності та ризику для протиповітряних дуелей типу  $CH_1 \leftrightarrow CH_2$ ,  $CH_1 \leftrightarrow 3H_2$ ,  $3H_1 \leftrightarrow CH_2$ ,  $3H_1 \leftrightarrow 3H_2$  узагальнено може бути розраховано за формулами.

$$E = e_1 P \{t_1 < t_{2у}, t_2 + T_{2Вих} > t_{1у}\} + e_1 t_2 P \{t_1 \geq t_{2у}, t_2 + T_{2Вих} > t_{1у}\}; \quad (39)$$

$$R = e_2 P \{t_2 < t_{1у}, t_1 + T_{1Вих} > t_{2у}\} + e_2 t_1 P \{t_2 \geq t_{1у}, t_1 + T_{1Вих} > t_{2у}\}; \quad (40)$$

$$\text{де } t_1 = \begin{cases} t_{1П}, & CH_1 \\ t_{1у}, & 3H_1 \end{cases}, t_2 = \begin{cases} t_{2П}, & CH_2 \\ t_{2у}, & 3H_2 \end{cases}. \quad (41)$$

Аналітичний розрахунок оцінок показників ефективності та ризику досить громіздкий. Тому для виконання конкретних розрахунків доцільно використати метод Монте-Карло.

#### УСОВЕРШЕНСТВОВАНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДУШНОЙ ДУЭЛИ С УЧЕТОМ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ ЛЕТНОГО СОСТАВА

В.В. Герасименко, В.М. Горбенко, О.Н. Компаниец

*Предложен математический аппарат учета фактического уровня подготовки летного состава в математической модели воздушной дуэли при истребительном авиационном прикрытии войск и объектов с целью повышения эффективности применения истребительной авиации.*

**Ключевые слова:** истребительная авиация, воздушная дуэль, уровень подготовки летного состава, эффективность.

#### ADVANCED MATHEMATICAL MODEL OF AIR DUEL TAKING INTO ACCOUNT LEVEL OF PREPARATION OF FLIGHT STRUCTURE

V.V. Gerasimenko, V.M. Gorbenko, O.N. Kompaniets

*The mathematical apparatus of the account of actual level of pilot's preparation in mathematical model of air duel at fighter aviation cover of troops and objects for the purpose of efficiency increase of application fighter aviation.*

**Keywords:** fighter aviation, air duel, level of pilot's preparation, efficiency.

#### ВИСНОВКИ

Таким чином ефективність бойового застосування винищувача визначається за допомогою математичної моделі дальнього повітряного бою винищувача з ЗПН противника на відносно короткому інтервалі часу, на протязі котрого противники можуть обмінюватися обмеженим числом ракетних ударів. Для кількісної оцінки цих результатів введені два показника: показник ефективності – ймовірність знищення ЗПН противника та показник ризику – ймовірність знищення винищувача ЗПН противника. Значення  $E$ ,  $R$  залежать від багатьох чинників, у тому числі від інтенсивності перешкод, що створюються в ході бою як противником, так і своїми засобами РЕБ. Тому можна вважати, що є принципова можливість урахування завадової обстановки.

Використання результатів удосконаленої математичної моделі повітряної дуелі, яка враховує фактичний рівень підготовки льотного складу дозволяє на етапі прийняття рішення створити бойові групи винищувачів не допустити перевитрати сил при створенні груп для прикриття військ та об'єктів, відбиття удару ЗПН противника, що, в свою чергу, підвищує ефективність застосування винищувальної авіації в середньому на 4...5%.

#### Список літератури

1. Сорокин В.П. Моделирование систем вооружения и боевых действий войск ПВО Сухопутных войск / В.П. Сорокин. – К.: ВА ПВО СВ, 1991. – 332 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
3. Кириченко І.О. Математичні основи теорії вогневих дуелей: монографія / І.О. Кириченко, Л.Г. Раскін. – Х.: Військ. ін-т ВВ МВС України, 2005. – 291 с.
4. Косачев В.Е. Квалиметрические аспекты функционального состояния человека-оператора / В.Е. Косачев, В.М. Усов, Н.А. Осипова // Медицинские информационные системы. – Таганрог: ТРТИ, 1988. – 226 с.
5. Пономаренко В.А. Интеллект: невостробованный потенциал / В.А. Пономаренко, С.В. Алешин // Авиация и космонавтика. – 1992. – №5-6. – С. 14-15.

Надійшла до редколегії 10.11.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Н. Котельніков, Національний університет оборони України, Київ.