

## **МЕТОДИКА ЕКСПРЕС-ОЦІНЮВАННЯ ПОЛІГОННИХ НАРЯДІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*У статті розглянуто методика експрес-оцінювання полігонних нарядів літальних апаратів для збільшення ефективності їх застосування. методика реалізує спрощений алгоритм, розроблений на основі уніфікованої імовірнісної моделі регресійного типу за умови припущення про раціональну організацію застосування авіаційного озброєння. Наведено приклад рішення задачі за заданою методикою.*

**Ключові слова:** *полігонний наряд, ймовірність, ураження об'єкта, середній збиток.*

**Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Експрес-оцінювання полігонних нарядів ЛА, середнього та гарантованого збитку під час дій по наземних одиночних і площинних (лінійних) об'єктах будь-якими АЗУ, включає два етапи розрахунків: наряд і збиток.

На етапі “наряд” визначають необхідну кількість ударів, які забезпечують [1, 2]:

- задану імовірність ураження одиночного об'єкта;
- заданий гарантійний збиток груповому або площинному (лінійному) об'єктові з гарантійною імовірністю 0,8 або 0,95;

- заданий середній збиток груповому або площинному об'єкту.

Розрахунок збитку при заданій кількості ударів дає змогу визначити:

- імовірність ураження одиночного об'єкта;
- середній збиток груповому або площинному (лінійному) об'єкту із заданою гарантійною імовірністю 0,8 або 0,95.

Крім цього, методика дає можливість визначити межі діапазону оптимальних довжин розсіювання АЗУ у кожному ударі [3- 6].

**Мета статті** – розглянути методика оцінювання полігонних нарядів літальних апаратів (ЛА), за допомогою якої вирішити задачу щодо ураження одиночних і площинних (лінійних) об'єктах будь-якими авіаційними засобами ураження (АЗУ).

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Отже, методика реалізує спрощений алгоритм, розроблений на основі уніфікованої імовірнісної моделі регресійного типу за умови припущення про раціональну організацію застосування озброєння. У ході розроблення методики використані теоретичні принципи, запропоновані В.М. Васильєвим.

Точність обчислювань за методикою не менша 20%, що є припустимою у разі імовірнісних розрахунків.

**Загальна характеристика математичної моделі.** Математична модель побудована на таких припущеннях (спрощеннях) [1, 2]:

- розсіювання АЗУ описується схемою двох груп похибок;
- відсутнє накопичення збитку під час дії по елементарній цілі кількома АЗУ;
- у кожному ударі застосовують однотипні варіанти озброєння.

Скорочення переліку початкових даних і спрощення математичної моделі у разі забезпечення достатньої точності розрахунків досягають завдяки припущенню про раціональну організацію бойового застосування АЗУ [1, 2]:

- розсіювання АЗУ у кожному ударі близьке до оптимального;
- кількість АЗУ, які застосовують в одному ударі, не перевищує максимальної доцільної кількості, що обмежує збиткову витрату боєприпасів;
- вибір точок прицілювання на об'єкті є раціональним, тобто під час дії по

лінійному об'єкту забезпечується рівномірне накриття його зонами ураження, а під час дії по розосередженому груповому об'єкту – рівномірний розподіл ударів по елементарних цілях.

Груповий об'єкт вважається *розосередженим*, якщо є можливість спостерігати його елементи, і можливі удари по кожному з них як по одиночному об'єкту, при цьому удар по одному (будь-якому) елементу практично не завдає збитків іншим елементам цілі [7].

Стосовно СКВ індивідуальних похибок розсіювання зробимо припущення: вони перебувають у межах діапазону нормативних значень. Це припущення дає змогу скоротити кількість початкових даних для розрахунків [8, 9]. Універсальність методики зумовлена такими положеннями, які використані під час її утворення:

- усі об'єкти дії авіації є різновидами або частковими випадками групової цілі;
- на усі об'єкти розповсюджені критерії ефективності – середній та гарантований збитки;
- узагальненість алгоритму щодо до типів цілі, зумовлена застосуванням вектора відносного розсіювання довільного елемента групової цілі і центра розсіювання АЗУ, імовірнісною характеристикою якого є композиція закону розсіювання довільного елемента і закону розподілу групових похибок, що дає змогу задавати параметрично різні типи об'єктів;
- застосування узагальненої характеристики уражальної дії АЗУ – площі приведеної зони ураження.

**Основні величини і залежності.** Основні величини (параметри), які використовують у методиці [1, 2]:

$N$  – кількість ударів (вогневих дій), які завдають по цілі;

$M$  – середній (відносний) збиток, який завдають цілі під час ударів (у випадку одиночної цілі – імовірність її ураження);

$U_r$  – гарантований збиток при заданій гарантійній вірогідності  $R_r$  (для одиночних цілей  $U_r=1$ );

$R_r$  – гарантійна ймовірність ураження цілі ( $R_r=0,8$  – для звичайних цілей і  $R_r=0,95$  – для важливих цілей).

Під час використання методики у режимі “наряд” величини  $M$  або  $R_r(U_r)$  є характеристиками бойового завдання, а необхідна кількість ударів  $N$  є розрахунковою величиною.

На етапі “збиток” параметрами бойової задачі є задана кількість  $N$  ударів по цілі, а  $M$  або  $R_r(U_r)$  – показники ефективності ударів – розрахункові величини.

**Початкові дані для розрахунків.** *Характеристики цілі:*

$\zeta_x, \zeta_z$  – розміри площинного або компактного групового об'єкта у головних осях розсіювання (якщо об'єкт лінійний, то одна з величин ( $\zeta_x$  або  $\zeta_z$ ) дорівнює нулю). Під час дії по одиночній цілі або по елементу розосередженої групової цілі, розміри якого значно менші за розміри приведеної зони ураження, приймають  $\zeta_x= \zeta_z= 0$ ;

$N_{ц}$  – кількість елементів розосередженого групового об'єкта (цілі).

*Характеристики озброєння:*

$n$  – кількість АЗУ, які застосовують у одному ударі (разова бомбова касета, зв'язка, блок контейнерний вважається одним АЗУ);

$l_x, l_z$  – розміри приведеної зони ураження елементарного об'єкта;

$r$  – умовна ймовірність ураження елементарної цілі (за умов її накриття зоною ураження АЗУ);

$S_{бк}$  – сумарна площа приведених зон ураження бойових частин АЗУ, які вміщуються у РБК (у контейнері);

$\sigma_{xr}, \sigma_{zr}$  – СКВ групових похибок у головних осях розсіювання.

**Методика розрахунків.** Методика дає змогу обчислити зв'язки між такими величинами (параметрами) [1, 2]:

- величиною гарантійного збитку  $U_{\Gamma}$ , середнім збитком  $M_N$  при  $N$  ударах по цілі і середнім збитком  $M_1$  при одному ударі;
  - середнім збитком  $M_1$  цілі при одному ударі по цілі і її характеристиками.
- Зв'язок між  $U_{\Gamma}$  та  $M_N$  визначають за формулами:

$$M_N = \left[ \left( C \sqrt{1 + D U_{\Gamma}} \right) - 1 \right] - U_{\Gamma}, \text{ при } U_{\Gamma} < 1; \quad (1)$$

$$M_N = \sqrt[N_{\Pi}] R_{\Gamma} \text{ при } U_{\Gamma} = 1; \quad (2)$$

$$U_{\Gamma} = A \left( 1 - \sqrt{1 - B M_N} \right) - M_N. \quad (3)$$

Якщо кількість елементів цілі  $N_{\Pi}$  задана, то, враховуючи дискретність  $U_{\Gamma}$ , після використання залежності (4.17) необхідно заокруглити  $U_{\Gamma}$  за формулою

$$U_{\Gamma} = \frac{1}{N_{\Pi}} \left[ U_{\Gamma} N_{\Pi} \right],$$

де  $\left[ U_{\Gamma} N_{\Pi} \right]$  – ціла частина добутку.

У формулах (1), (2) величини  $A, B, C, D$  – коефіцієнти, які залежать від заданого значення гарантійної імовірності  $R_{\Gamma}$ .

Зв'язок між  $M_1$  і  $M_N$  описується формулами:

- для площинного або лінійного об'єкта –  $M_N = 1 - (1 - M_1)^N$ ;

- для одиночного і групового об'єкта –  $M_N = 1 - (1 - M_1)^{\frac{N}{N_{\Pi}}}$ ,

де  $M_1$  – середній збиток при одному ударі по площинному, груповому об'єкту, або ймовірність ураження одиночного об'єкта (елемента розосередженої групової цілі) при одному ударі.

Необхідну кількість ударів для досягнення заданого збитку  $M_N$  визначають за формулами [1, 2]:

- для одиночного, площинного та лінійного об'єкта –  $N = \frac{\ln(1 - M_N)}{\ln(1 - M_1)}$ ;

- для розосередженого групового об'єкта –  $N = N_{\Pi} \frac{\ln(1 - M_N)}{\ln(1 - M_1)}$ .

Середній збиток у разі одного удару  $M_1$  визначимо на основі інтеграла

$$M_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int G^0(x, z) f(x, z) dx dz,$$

де  $G^0$  – узагальнений, координатний закон ураження довільного елемента цілі відносно центра розсіювання  $n$  АЗУ;

$f(x, z)$  – закон відносного розсіювання довільного елемента цілі відносно центра розсіювання  $n$  АЗУ (композиція рівномірного розподілу до-вільного елемента і нормального розподілу групових похибок розсіювання АЗУ).

У методиці використовують наближене значення  $M_1$  регресійного типу

$$M_1 = \frac{V_1}{1 + V_1}$$

де  $V_1$  – узагальнений параметр, який характеризує кількість влучень АЗУ у приведену зону ураження елементарної цілі при одному ударі:

$$M_1 = (1 + 0,9n) \frac{S_Y}{A_X} A_Z,$$

де  $A_X, A_Z$  – розміри зони відносного розсіювання довільного елемента, які визначають за допомогою ступінчастої апроксимації композиції  $f(x, z)$ :

$$A_X = \sqrt{10\sigma_{Xr}^2 + \Pi_{Xr}^2} \quad \text{або} \quad A_X = \sqrt{22E_{Xr}^2 + \Pi_{Xr}^2};$$

$$A_Z = \sqrt{10\sigma_{Zr}^2 + \Pi_{Zr}^2} \quad \text{або} \quad A_Z = \sqrt{22E_{Zr}^2 + \Pi_{Zr}^2},$$

де  $S_Y$  – площа приведеної зони ураження одного АЗУ, скоригована з урахуванням можливості її виходу за межі області відносного розсіювання:

$$S_Y = \min\{l_X^*; 1,2A_X^*\} \min\{l_Z^*; 1,2A_Z^*\} r,$$

де  $l_X, l_Z$  – розміри зони ураження (накриття) АЗУ;

$r$  – умовна імовірність ураження елементарної цілі у зоні ураження (для АЗУ ударного типу  $r = 1/\omega$  – величина, зворотна середній необхідній кількості влучень  $\omega$  у елементарну ціль для її ураження з імовірністю, що дорівнює 1, для АЗУ дистанційного типу  $r = 1$ ).

Максимальну кількість АЗУ, які доцільно застосувати в одному ударі, визначають за формулою [1, 2]:

$$n_{\max} = 8 \left( 1 + \frac{A_X}{\sqrt{l_X l_Z r}} \right).$$

Для підвищення точності розрахунків у випадках, коли кількість АЗУ, що застосовується в ударі, перевищує  $n_{\max}$ , необхідно коригувати кількість АЗУ за формулою  $n^* = \min\{n, n_{\max}\}$ .

Діапазон оптимальних довжин розсіювання АЗУ у одному ударі визначають за формулою

$$l_p = (0,7 \dots 1,3) A_X \left( \frac{n-1}{n} \right)^2,$$

за якою можуть бути визначені нижня  $l_{p\min}$  та верхня  $l_{p\max}$  межі діапазону довжин розсіювання.

Схема алгоритму, який реалізує описану методику, надана на рис. 1.

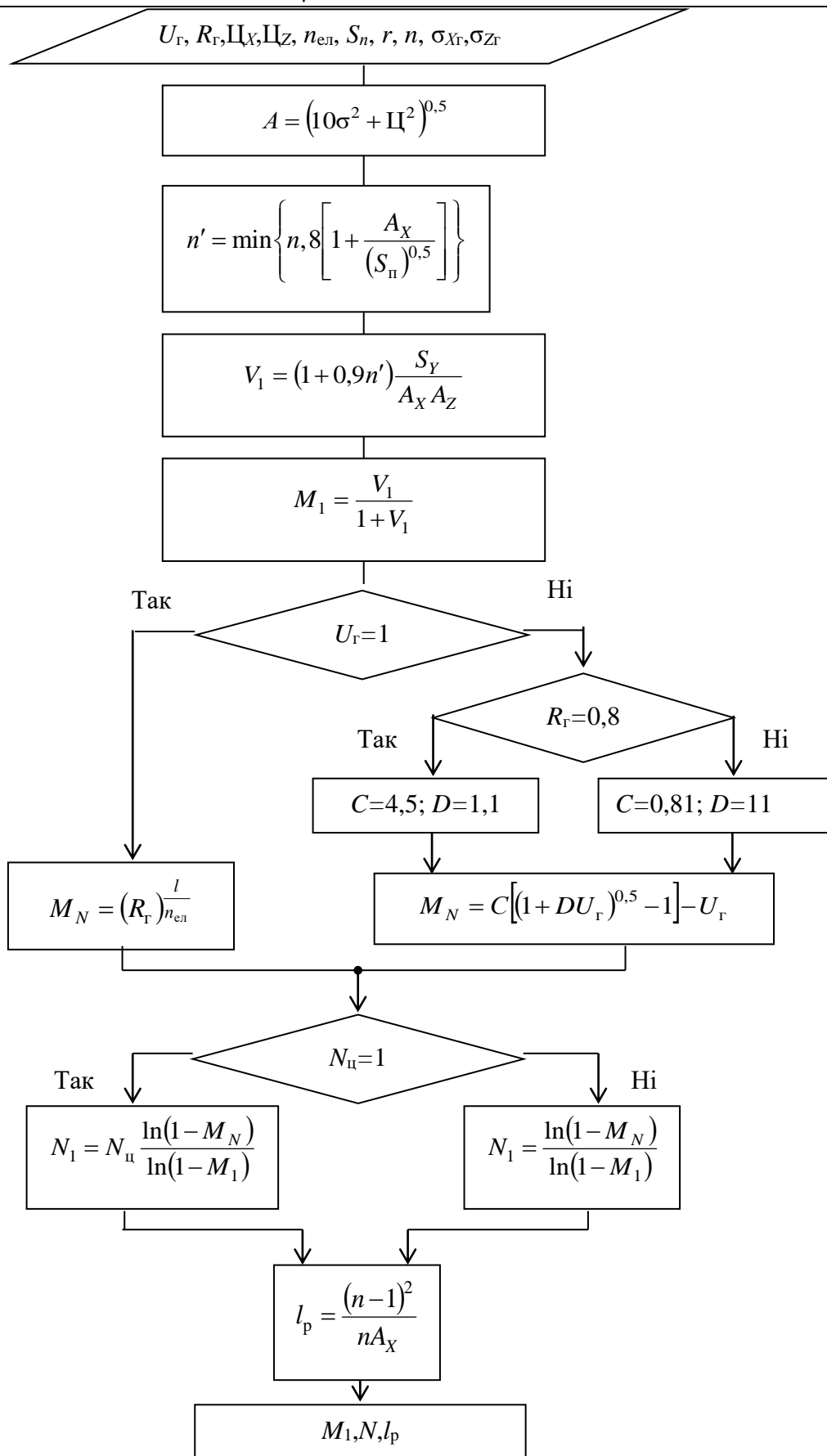


Рис. 1. Блок-схема алгоритму ЕКСПОН

У блок-схемі використані такі позначення:

- початкові дані – бойове завдання:  $U_{\Gamma}$  – заданий (гарантований) збиток цілі;  $R_{\Gamma}$  – гарантійна імовірність;
- характеристики цілі:  $\sigma_x, \sigma_z \Rightarrow \sigma$  – розміри цілі;  $n_{\text{ел}}$  – кількість елементів у складі групової цілі;
- характеристики АЗУ:  $r$  – умовна імовірність ураження цілі в ПЗУ;  $n$  – кількість АЗУ, що застосовується в одному ударі;
- характеристики розсіювання АЗУ:  $\sigma_x, \sigma_z \Rightarrow \sigma$  – СКВ групового розсіювання.

На підставі розглянутої методики розглянемо приклад рішення задачі.

Командиру групи з 8 літаків МіГ-29, наданої для супроводження ударної авіаційної групи, поставлене завдання блокувати на час бою рухомий командний пункт, розташований у спеціалізованому автобусі, використавши при цьому до 0,5 БК гармат ГШ -30-1.

Визначити полігонний наряд, необхідний для виконання завдання з гарантійною імовірністю  $R_{\Gamma} = 0,8$ .

*Початкові дані для розрахунків.* Використаємо початкові та табличні дані.

$$R_{\Gamma} = 0,8; l_x^* = 6,375 \text{ м}; l_z = 4,5 \text{ м}; \sigma_{x\Gamma} = 27 \text{ м}; \sigma_{z\Gamma} = 13,5 \text{ м}; \\ \sigma_{xu} = 9 \text{ м}; \sigma_{xu} = 4,5 \text{ м}; m_x = 7,5 \text{ м}; m_z = 2,7 \text{ м}; l_{xp} = 23 \text{ м}.$$

*Результати розрахунків.*

1. Розміри області відносного розсіювання снарядів

$$A_x = (10\sigma_x^2 + \sigma_x^2)^{0,5} = (10 \cdot 27^2 + 0)^{0,5} = 85,4; \\ A_z = (10\sigma_z^2 + \sigma_z^2)^{0,5} = (10 \cdot 13,5^2 + 0)^{0,5} = 42,7.$$

2. Середня кількість уражаючих влучень снарядів у ціль

$$V_1 = \frac{(1 + 0,9n)S_{\Pi}}{A_x A_z} = \frac{(1 + 0,9 \cdot 40)28,9}{85,4 \cdot 42,7} = 0,293.$$

3. Імовірність ураження цілі при одному ударі

$$W_1 = \frac{V_1}{1 + V_1} = \frac{0,293}{1 + 0,293} = 0,227.$$

4. Кількість ударів  $N$ , яка забезпечує задану імовірність ураження цілі (полігонний наряд  $N_{\Pi}$ )

$$N = N_{\Pi} = \frac{\ln(1 - R_{\Gamma})}{\ln(1 - W_1)} = \frac{\ln(1 - 0,8)}{\ln(1 - 0,227)} = 6,3.$$

**Висновок:** для ураження цілі типа “С” з гарантійною імовірністю  $R_{\Gamma} = 0,8$  необхідно призначити наряд з 7 літаків МіГ-29.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Автором розглянута методика експрес-оцінювання полігонних нарядів ЛА, на підставі якої вирішено практичну задачу щодо розрахунку:

1. Середньої кількості уражаючих влучень снарядів у ціль.
2. Імовірності ураження цілі при одному ударі.

3. Кількості нанесення авіаційних ударів  $N$ , що забезпечать задану імовірність ураження цілі (необхідний полігонний наряд  $N_p$ ).

З'ясовано, що методика реалізує спрощений алгоритм, розроблений на основі уніфікованої імовірнісної моделі регресійного типу за умови припущення про раціональну організацію застосування авіаційного озброєння.

Точність обчислювань за методикою становить не менш 20%, що є припустимою у разі імовірнісних розрахунків.

#### Список використаних джерел

1. Мильграмм Ю. Г. Исследование операций и алгоритмизация боевых действий. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1968. –С. 462.
2. Мильграмм Ю. Г., Попов И. С. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1970. –С. 500.
3. Коротін С. М. Методика визначення ефективності застосування керованих авіаційних ракет класу “повітря – повітря” ближньої дії по повітряних цілях / С. М. Коротін // Збірник наукових праць / Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. – Вип. 70. –2013. – С. 36–45.
4. Кравчук И .С. Авиационные управляемые ракеты / И. С. Кравчук, И. А. Николаев. – Даугавпилс: ВВАИУ ПВО им. Я. Фабрициуса, 1987. – 95 с.
5. Семенов С. С. Оценка технического уровня образцов оружия и военной техники / С. С. Семенов, В. Н. Харчев, А. И. Иоффин. – М.: Радио и связь, 2004 – 546 с.
6. Семенов С. С. Корректируемые авиабомбы российских ВВС/ С. С. Семенов, В. Н. Харчев. – М.:Изд. группа “Бедретдинов и Ко”, 2005. – 88 с.
7. Чечик Д. Л. Вооружение летательных аппаратов: учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2002. – 164 с.
8. Система показателей эффективности эксплуатации и ремонта авиационной техники / под. ред. В. В. Филиппова. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1986. – 215 с.
9. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. – М.: Издво Госэнергоиздат, 1962.– 552 с.