

УДК 351.864:001.89

**МАВРЕНКОВ О.Є.**, начальник науково-дослідної лабораторії, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

**УЛІЗЬКО В.І.**, начальник науково-дослідного відділу

## **НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМ ООНОВЛЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ**

*Представлено результати досліджень по розробленню методологічного апарату оцінювання ефективності та ризику реалізації програм (планів) утримання та розвитку авіаційної техніки Збройних Сил на основі теорії нечітких множин*

*Ключові слова: ризик, ефективність, теорія нечітких множин, принцип узагальнення Заде*

Аналіз виконання прийнятих програм (планів) утримання та розвитку (далі – оновлення) озброєння та військової техніки (ОВТ) у частині авіації показує, що зберігається тенденція значного розриву між планованим і реально одержуваним за роками планового періоду рівнями бойового потенціалу авіації ЗС України [1].

Виникає актуальна науково-прикладна проблема – зменшення такого розриву в майбутньому (на перспективу), а в ідеалі – зведення його до нуля.

Для розв'язання цієї проблеми авторами пропонується розглядати даний розрив як деякий глобальний ризик  $R$  реалізації програм (планів) оновлення авіаційної техніки (АТ). Під таким ризиком будемо розуміти подію, що полягає в можливому (імовірному) недосягненні планованого рівня бойового потенціалу.

Як відомо, проблематикою ідентифікації, оцінювання й управління ризиками в різних сферах людської діяльності займається така наука, як теорія ризиків. Згідно з положеннями цієї науки будь-який ризик оцінюється двома основними його складовими – збитком (втратою) від настання ризикової ситуації та імовірністю виникнення ризикової ситуації [2].

Суть процесу управління ризиком полягає в мінімізації негативних наслідків настання ризику (тобто збитку) і в зменшенні ймовірності його виникнення (настання).

Що стосується програм (планів) оновлення АТ, то під збитком доцільно розуміти, власне, величину недосягнення планованого рівня бойового потенціалу авіації ЗС ( $\Delta П$ ), яка визначається як

$$\Delta П = (П_{пл} - П). \tag{1}$$

Таким чином, процес управління глобальним ризиком  $U(R)$  програм (планів) оновлення АТ передбачає розробку й реалізацію певних заходів, спрямованих на, по-перше, зменшення величини недосягнення планованого рівня бойового потенціалу ( $\Delta\Pi$ ), по-друге, зменшення ймовірності виникнення цієї негативної події ( $p$ ):

$$U(R) \Rightarrow \begin{cases} \Delta\Pi = (\Pi_{\text{пл}} - \Pi) \rightarrow \min \\ p\{\Pi \leq \Pi_{\text{пл}}\} \rightarrow \min \end{cases} . \quad (2)$$

Аналіз області застосування математичної статистики, імовірнісно-статистичних та теоретико-імовірнісних методів щодо кількісного оцінювання ймовірності недосягнення планованого рівня бойового потенціалу за роками планового періоду показав, що через відсутність необхідної статистики й практичної неможливості формалізації досліджуваного процесу (через необхідність одночасного врахування багатьох факторів різної фізичної природи) їх застосування для вирішення цієї задачі не дозволяє отримати точні та достовірні результати і зробити коректні висновки [2].

Тому на практиці, як правило, застосовують експертне оцінювання ймовірності настання ризикових ситуацій. Наприклад, досить поширеним є застосування з цією метою методу рангів (балів) [3]. Однак, складність аналізу ймовірності настання ризиків експертними методами пов'язана, насамперед, з невизначеністю характеристик масивів даних, на базі яких сформовано досвід експерта та, як наслідок, з відсутністю гарантій отримання достовірних результатів.

Таким чином, можна констатувати наявність суттєвих обмежень у застосуванні відомих методів кількісного оцінювання ризиків, у зв'язку з чим завдання пошуку нових підходів, які забезпечують вирішення задач визначення характеристик ймовірності настання ризиків у сфері оновлення АТ в умовах недостатнього обсягу статистичних даних, є актуальним.

В цьому контексті представляється перспективним розгляд можливості застосування науково-методичного апарату теорії нечітких множин (ТНМ).

Методи, що базуються на ТНМ, складають інструментарій оцінювання та прийняття рішень в умовах часткової або повної невизначеності. Особливістю цих методів є те, що в них замість розподілу ймовірності використовується розподіл можливості (очікуваності), що описується функцією приналежності нечіткого числа [4...6] певному інтервалу значень. Використання таких методів передбачає формалізацію вхідних параметрів та цільових показників у вигляді вектора інтервальних значень (нечіткого інтервалу), попадання в кожний інтервал якого характеризується деяким ступенем невизначеності. При цьому передбачається, що на основі наявної інформації, досвіду та інтуїції експерти можуть достатньо впевнено кількісно охарактеризувати межі (інтервали) можливих (допустимих) значень параметрів та області їх найбільш можливих (передбачуваних) значень. Виконуючи арифметичні та інші операції з такими нечіткими інтервалами по правилам нечіткої математики, отримують результуючий нечіткий інтервал для цільового показника.

В нашому випадку цільовим показником виступає бойовий потенціал

авіаційного угруповання, який (при прийнятті допущення про відповідність систем управління та забезпечення заданим вимогам) може бути описаний таким функціоналом

$$P = \sum_i N_i^M K_i^M + \sum_i N_i^3 K_i^3 + \sum_i N_i^0 K_i, \quad (3)$$

де  $i$  – ознака типу ЛА певного виду авіації ЗС;  $N_i^M, N_i^3, N_i^0$  – кількості ЛА  $i$ -го типу: що модернізуються, закупаються (орендуються), та базова, відповідно;  $K_i^M, K_i^3, K_i$  – коефіцієнти бойового потенціалу ЛА  $i$ -го типу: що модернізуються, закупаються (орендуються), та базові, відповідно.

Базова кількість ЛА  $i$ -го типу визначається за формулою

$$N_i^0 = N_i^{um} - N_i^{cn} - N_i^M - N_i^{mp.p} + N_i^P, \quad (4)$$

де  $N_i^{um}, N_i^{cn}, N_i^{mp.p}, N_i^P$  – кількості ЛА  $i$ -го типу на кінець планового періоду: за штатом, підлягають списанню, потребують ремонту, відремонтованих, відповідно.

У формулах (1) і (2) такі параметри, як  $N_i^M, N_i^P, N_i^3$ , мають властивість "розмитості" при оцінюванні їх прогнозних значень, тобто їх точне значення у певний строк планового періоду невідомо. В цьому випадку в якості вхідних даних доцільно використовувати нечіткі трикутні числа з функцією приналежності  $\mu(X)$ , загальний вигляд якої приведено на рис. 1.

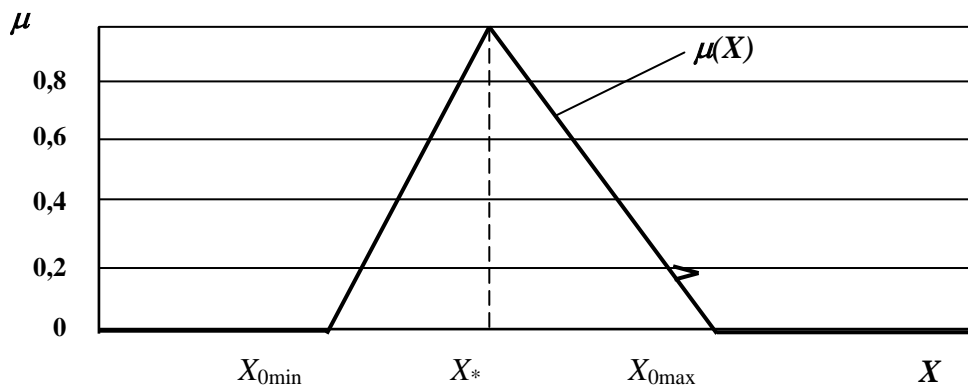


Рис. 1. Загальний вигляд функції приналежності нечіткого числа

При цьому значення функції приналежності  $\mu(X)$  для кожного трикутного числа є раціональним числом на інтервалі  $[0, 1]$ , де  $\mu(X^*)=1$ , а  $\mu(X_{0min})=\mu(X_{0max})=0$ . Значення функції приналежності  $\mu(X)$  називають ступенем (рівнем) приналежності нечіткого числа  $X$ . Таким чином, наприклад, оцінка кількості відремонтованих, модернізованих або закупаваних (орендованих) ЛА  $i$ -го типу може бути представлена трикутним числом  $\tilde{N}_i = (N_{0min_i}, N_{*i}, N_{0max_i})$ , функція приналежності якого має вигляд, представлений на рис. 2.

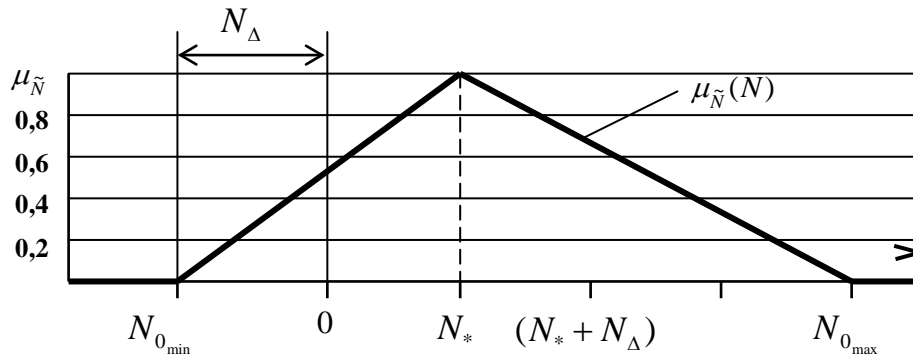


Рис. 2. Представлення оцінки кількості відремонтованих, модернізованих або закуповуваних (орендованих) ЛА у вигляді трикутного числа

Функція приналежності нечіткого числа  $\tilde{N}$ , представлено на рис. 2, описується такими співвідношеннями

$$\mu_{\tilde{N}}(N) = \begin{cases} 0, & \text{при } N \leq N_{0_{\min}}, N \geq N_{0_{\max}} \\ \frac{N + N_{\Delta}}{N_* + N_{\Delta}}, & \text{при } N \in [N_{0_{\min}}, N_* - N_{\Delta}] \\ 1, & \text{при } N = N_* \\ \frac{N_{0_{\max}} - N}{N_{0_{\max}} - N_*}, & \text{при } N \in [N_* + N_{\Delta}, N_{0_{\max}}] \end{cases}, \quad (5)$$

де  $N_{0_{\min}}, N_{0_{\max}}$  – значення відповідно лівої та правої границь інтервалу нечіткого числа  $\tilde{N}$ , де значення функції приналежності дорівнює нулю;  $N_{\Delta}$  – шаг дискретизації нечіткого числа  $\tilde{N}$ ;  $N_*$  – найбільш очікуване (можливе) значення нечіткого числа  $\tilde{N}$ .

Після формалізації нечітких вхідних параметрів  $\tilde{N}_i^p, \tilde{N}_i^m, \tilde{N}_i^z$  у вигляді функцій їх приналежності та використання правил математичних операцій над такими функціями (м'які обчислення, нечітка арифметика) можна розрахувати розподіл можливості цільового показника (оцінку значення бойового потенціалу авіаційного угруповання) за принципом узагальнення Заде [6]:

$$\mu_{\tilde{\Pi}}(\Pi) = \sup_{\substack{\Pi = f(N) \\ N \in \text{supp}(\tilde{N})}} \left\{ \min \left\{ \mu_{\tilde{N}^p}(N^p), \mu_{\tilde{N}^m}(N^m), \mu_{\tilde{N}^z}(N^z) \right\} \right\}, \quad (9)$$

де  $\mu_{\tilde{N}}(N)$  – можливість того, що нечітка величина  $\tilde{N}$  прийме значення  $N$ ;  $\Pi = f(N)$  – функціональна залежність цільового показника від вхідних параметрів, що описується функціоналом (1).

Якщо вхідні параметри  $\tilde{N}_i^p, \tilde{N}_i^m, \tilde{N}_i^z$  задані у вигляді трикутних чисел, то цільовий показник  $\tilde{\Pi}$ , як функція від цих вхідних параметрів, також буде мати вигляд близький до трикутного числа (рис. 3).

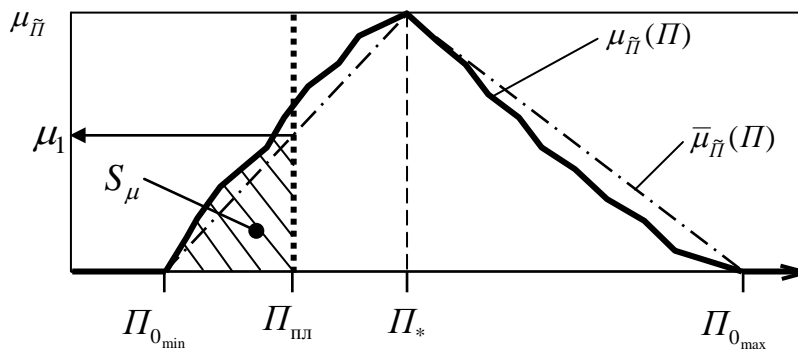


Рис. 3. Функція приналежності показника бойового потенціалу авіаційного угруповання

Знаючи функцію приналежності показника бойового потенціалу авіаційного угруповання  $\mu_{\tilde{\Pi}}(\Pi)$  і його планований рівень ( $\Pi_{nl}$ ) (дивись рис. 3) можна оцінити глобальний ризик  $R$  реалізації (ризик неефективності) програм оновлення АТ.

На рис. 3 показана заштрихована зона неефективності програми (плану) оновлення АТ. В цій зоні спостерігається недосягнення планованого (заданого) рівня бойового потенціалу авіаційного угруповання ( $\Pi < \Pi_{nl}$ ). Тоді ступінь глобального ризику  $R$  неефективності програми (плану) може бути розрахований як відношення площі зони неефективності програми (плану) оновлення АТ ( $S_{\mu}$ ) до сумарної площі під кривою  $\mu_{\tilde{\Pi}}(\Pi)$  ( $S_{\Sigma}$ ):

$$R = \frac{S_{\mu}}{S_{\Sigma}} = \frac{\int_{\Pi_{0min}}^{\Pi_{nl}} \mu_{\tilde{\Pi}}(\Pi) d\Pi}{\int_{\Pi_{0min}}^{\Pi_{0max}} \mu_{\tilde{\Pi}}(\Pi) d\Pi}. \quad (10)$$

Дослідження показали, що з достатньою точністю функція  $\mu_{\tilde{\Pi}}(\Pi)$  може бути апроксимована функцією  $\bar{\mu}_{\tilde{\Pi}}(\Pi)$  по двом  $\mu$ -рівням ( $\mu = 0$  та  $\mu = 1,0$ ) (рис. 3). Це дозволяє здійснювати оцінювання ризику  $R$  як нечіткого числа трикутного вигляду за такими спрощеними формулами:

$$S_{\Sigma} = 0,5(\Pi_{0max} - \Pi_{0min}) \times 1,0, \quad (11)$$

$$S_{\mu} = \begin{cases} 0,5(\Pi_{nl} - \Pi_{0min})\mu_1, & \text{при } \Pi_{0min} \leq \Pi_{nl} \leq \Pi_* \\ 0,5(\Pi_* - \Pi_{0min}) + (\Pi_{nl} - \Pi_*)\mu_1 + 0,5(\Pi_{nl} - \Pi_*)(1 - \mu_1), & \text{при } \Pi_* < \Pi_{nl} \leq \Pi_{0max} \end{cases}, \quad (12)$$

де

$$\mu_1 = \begin{cases} \frac{\Pi_{nl} - \Pi_{0min}}{\Pi_* - \Pi_{0min}}, & \text{при } \Pi_{0min} \leq \Pi_{nl} \leq \Pi_* \\ \frac{\Pi_{0max} - \Pi_{nl}}{\Pi_{0max} - \Pi_*}, & \text{при } \Pi_* < \Pi_{nl} \leq \Pi_{0max} \end{cases}. \quad (13)$$

Після математичних перетворень з урахуванням (8)...(11) формула для розрахунку ризику приймає такий вигляд:

$$R = \begin{cases} 0, & \text{при } \Pi_{nl} < \Pi_{0min} \\ \frac{(\Pi_{nl} - \Pi_{0min})^2}{(\Pi_{0max} - \Pi_{0min})(\Pi_* - \Pi_{0min})}, & \text{при } \Pi_{0min} \leq \Pi_{nl} \leq \Pi_* \\ 1 - \frac{(\Pi_{0max} - \Pi_{nl})^2}{(\Pi_{0max} - \Pi_{0min})(\Pi_{0max} - \Pi_*)}, & \text{при } \Pi_* < \Pi_{nl} \leq \Pi_{0max} \\ 1, & \text{при } \Pi_{nl} > \Pi_{0max} \end{cases} \quad (14)$$

Показник глобального ризику  $R$  реалізації програм (планів) оновлення АТ є раціональним числом, що знаходиться у межах інтервалу  $[0, 1]$ , де значення "0" говорить про відсутність глобального ризику, а значення "1" – про максимальний глобальний ризик реалізації оцінюваної програми (плану) оновлення АТ.

Для наочності результату оцінювання ефективності реалізації програм (планів) оновлення АТ зручно використовувати показник такого вигляду

$$E = (1 - R) \times 100\% \quad (15)$$

Тоді ефективність реалізації програм (планів) оновлення АТ представляється як певний процент успішності виконання запланованих заходів – від очікуваного провалу виконання програми (плану) –  $E = 0\%$ , до очікуваного повного успіху виконання програми (плану) –  $E = 100\%$ .

Згідно з представленим методичним підходом підвищення ефективності виконання програм (планів) оновлення АТ можливо за рахунок зменшення глобального ризику їх реалізації шляхом зменшення зони неефективності програми (плану) оновлення АТ ( $S_\mu$ ). На рис. 4 представлено графічну інтерпретацію такого зменшення зони  $S_\mu$  до рівня  $S'_\mu$ .

Дослідження показують, що на практиці зміщення інтервалу  $[\Pi_{0min}, \Pi_{0max}]$  вправо на величину  $\Delta_1$  та  $\Delta_3$  може бути досягнуто за рахунок формування оптимального варіанту програмних заходів програм (планів) оновлення АТ за методичним підходом, представленим в [7,8].

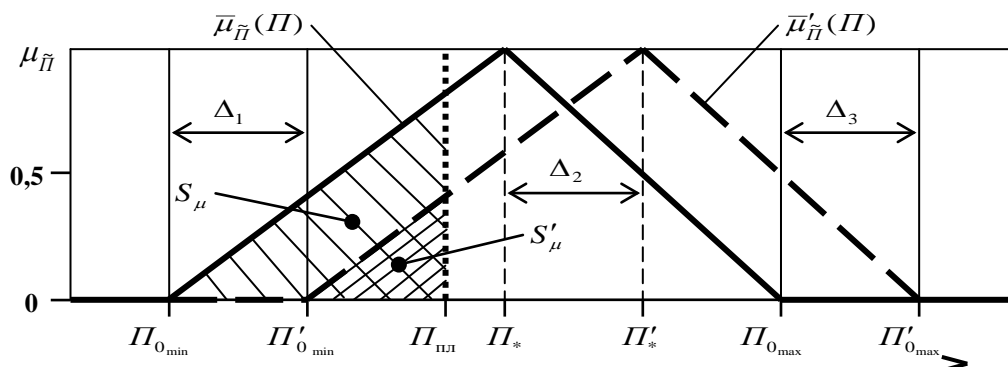


Рис. 4. Графічна інтерпретація зменшення глобального ризику реалізації програм (планів) оновлення АТ

Зміщення оцінки  $P_*$  вправо на величину  $\Delta_2$  може бути досягнуто за рахунок здійснення заходів з управління ризиками реалізації окремих програмних заходів програм (планів) оновлення АТ за методичним підходом, представленим в [3].

Дослідження, проведені авторами, дозволили виявити такі основні переваги представленого вище нечітко-інтервального підходу до оцінки ефективності й глобального ризику програм (планів) оновлення АТ:

здійснюється формалізація в єдиній формі й використовується вся доступна неоднорідна інформація (детермінована, інтервальна, статистична, лінгвістична), що підвищує достовірність і якість прийнятих стратегічних рішень;

на відміну від інтервального методу, формується повний спектр можливих сценаріїв розвитку програм (планів), а не тільки нижня й верхня границі. Таким чином, рішення приймається не на основі двох оцінок ефективності, а по всій їх сукупності;

можливість одержати оцінку очікуваної ефективності програм (планів) як у вигляді крапкового значення, так і у вигляді множини інтервальних значень зі своїм розподілом можливостей, які характеризуються функцією приналежності відповідного нечіткого числа, що дозволяє оцінити інтегральну міру можливості одержання негативних результатів, тобто ступінь ризику програм (планів);

не вимагається абсолютно точного завдання функцій приналежності, тому що на відміну від імовірнісних методів, результат, одержуваний на основі нечітко-інтервального методу, характеризується низькою чутливістю (високою стійкістю) до зміни виду функцій приналежності вхідних нечітких чисел, що в реальних умовах низької якості вхідної інформації робить застосування даного методу більш привабливим;

обчислення оцінок ефективності та ризиків програм (планів) оновлення ОВТ на основі нечітко-інтервального методу виявляється ефективним у ситуаціях, коли вхідна інформація базується на малих статистичних вибірках, тобто у випадках, коли імовірнісні оцінки не можуть бути отримані;

простота виявлення та реалізації експертних знань.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Мавренков О.Є. До питання оцінювання заданого рівня бойового потенціалу авіації Збройних Сил України / Мавренков О.Є., Леженін С.І. // Зб. наук. праць ДНДІА. – К., 2011. – Вип.14. – С.16-22.
2. Вишняков Я.Д. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр "Академия", 2008. – 368с.
3. Мавренков О.Є. Методика управління ризиками при реалізації програмних заходів з оснащення авіації збройних сил літальними апаратами / Мавренков О.Є., Улізько В.І. // Зб. наук. праць ДНДІА.– К., 2013. – Вип.16. – С.30-37.
4. Zadeh L.A. Fuzzy Sets / Zadeh L.A. // Information and Control, 1965. – Vol. 8. – S.338-353.

5. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / Кофман А. – М.: Радио и связь, 1982. – 135 с.
6. Мациевский С.В. Нечеткие множества: учеб. пособие / Мациевский С.В. – Калининград: Изд-во КГУ, 2004. – 234 с.
7. Мавренков О.Є. Науково-методичний підхід до визначення раціональних варіантів програмних заходів з оснащення авіації збройних сил літальними апаратами / Мавренков О.Є., Логінов В.В., Войтенко В.В. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип.1(10) – С.46-49.
8. Мавренков О.Є. Алгоритм формування оптимального варіанту програмних заходів з оснащення авіації збройних сил літальними апаратами / Мавренков О.Є., Леженін С.І. // Зб. наук. праць ДНДІА.– К., 2013. – Вип.16. – С.25-29.

*Надійшла до редакції 23.10.2013*