

УДК 351.864

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

## **МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ РЕАЛІЗОВНОСТІ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ БОЙОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*Представлено результати розроблення методичного підходу до оцінювання техніко-технологічної реалізованості варіантів модернізації бойових літальних апаратів на основі синтезу науково-методологічних апаратів теорії ризиків та теорії нечітких множин*

*Ключові слова: варіант модернізації, ризик комплексування, техніко-технологічна реалізованість*

Основним напрямом розвитку авіації Збройних Сил України на довгострокову перспективу, як і переважної більшості країн світу, залишається модернізація авіаційної техніки (АТ), що дозволяє забезпечити відповідність її бойових можливостей вимогам сучасних війн (збройних конфліктів) при помірних фінансових витратах.

На сьогодні силами вітчизняних підприємств реалізуються проекти модернізації бойових літаків МиГ-29, Су-25, Су-27 та вертольотів Ми-24. Особливістю модернізації літальних апаратів (ЛА) авіації Збройних Сил України є її виконання за двома варіантами (частковим та повним), які передбачають послідовне нарощування військово-технічного рівня літаків та вертольотів до сучасних вимог.

На даний час завершено модернізацію бойових ЛА за частковими варіантами та, відповідно, літаки МиГ-29МУ1, Су-25М1, Су-27М1 і вертоліт Ми-24ПУ1 прийнято на озброєння Збройних Сил України.

Аналіз результатів виконання проектів часткової модернізації ЛА авіації Збройних Сил України показує, що їх реалізація супроводжувалася перевищенням запланованих строків реалізації, фінансових ресурсів і, в окремому випадку, недосягненням передбачуваного підвищення військово-технічного рівня ЛА, що, як показує досвід виконання складних науково-технічних проектів, пов'язано, в тому числі, з відсутністю попереднього оцінювання проектів модернізації за показником їх реалізованості.

Реалізованість науково-технічного проекту є найважливішою його властивістю, під якою розуміється можливість найбільш ефективного розв'язку комплексу фінансових, науково-технічних, проектно-конструкторських, виробничо-технологічних і організаційно-управлінських завдань для створення продукції (послуг) необхідного науково-технічного рівня, обсягу, і в заданий термін в умовах

діючих ресурсних обмежень та прогнозу вирішення цих завдань на період виконання проекту.

Правильна оцінка реалізованості проекту на початковій стадії його реалізації є основою відпрацювання ефективних заходів (планів) науково-технічного, виробничо-технологічного та фінансово-економічного характеру з метою успішного його виконання.

Аналіз публікацій, присвячених тематиці кількісного оцінювання реалізованості складних науково-технічних проектів, в тому числі, в області створення (модернізації) авіаційно-космічної техніки, зокрема [1...7], показує, що відповідні методики засновуються, як правило, на евристичних підходах, або така оцінка взагалі ігнорується, що не виключає прийняття помилкових рішень та може призвести до необґрунтованих перевитрат фінансових і часових ресурсів.

Таким чином, розробка формалізованих методів і моделей для оцінювання реалізованості науково-технічних проектів є актуальним науково-прикладним завданням.

У статті розглядається задача визначення техніко-технологічної реалізованості проекту (варіанту) модернізації бойового ЛА на основі оцінювання ризику інтеграції (комплексування) нових вузлів (елементів, блоків, систем тощо) на різних рівнях ієрархії ЛА, що модернізується, як складної технічної системи.

При цьому ризик інтеграції нових вузлів до штатних бортових систем ЛА, що модернізується, пропонується визначати через техніко-технологічну складність цих вузлів, яка, в свою чергу, залежить від відносного числа реалізованих функціональних зв'язків ( $S$ ) та кількості компонент (підвузлів) у вузлі ( $N$ ).

Відносне число реалізованих функціональних зв'язків ( $S$ ) розраховується як співвідношення:

$$S = \frac{Z}{N(N-1)}, \quad (1)$$

де  $Z$  – кількість реалізованих функціональних зв'язків у вузлі.

В якості показника ризику інтеграції нових вузлів будемо використовувати ймовірність  $R$  виникнення такого ризику. Розрахунок ймовірності виникнення ризику інтеграції нових вузлів пропонується здійснювати на основі синтезу науково-методологічних апаратів теорії ризиків і теорії нечітких множин. При цьому, як свідчить практика, математичний апарат теорії нечітких множин дозволяє оцінювати параметр ймовірності (очікуваності) певної події в умовах невизначеності, при відсутності достатнього обсягу статистичної інформації та неможливості формалізації (моделювання) стохастичних процесів, що досліджуються [8...11].

Структурно-логічну блок-схему методики оцінювання реалізованості варіанту модернізації ЛА представлено на рис. 1.

Вхідними даними для оцінювання реалізованості варіанту модернізації ЛА є: ієрархічна структура ЛА, що модернізується, кількість компонент (підвузлів) у вузлі ( $N^u$ ) та відносне число реалізованих функціональних зв'язків ( $S^u$ ) на кожному  $u$ -му рівні ієрархії. Параметри  $N^u$  та  $S^u$  визначають складність вузла, що інтегрується, та являють собою ризикоутворюючі фактори, які формують ризик інтегрування нового вузла в процесі модернізації ЛА.

Ключовим елементом запропонованої автором методики оцінювання реалізованості варіанту модернізації ЛА є оцінювання ймовірності (очікуваності) ризику інтегрування кожного нового вузла на основі системи нечіткого логічного виводу, яка дозволяє використовувати якісні оцінки природної мови для отримання кількісних характеристик вихідних змінних [8]. Така система складається з певних алгоритмічних блоків (див. рис. 1), у яких послідовно виконуються необхідні процедури перетворення вхідних даних (значень ризикуутворюючих факторів) у параметр кількісного оцінювання ризику – ймовірність (очікуваність) його виникнення.

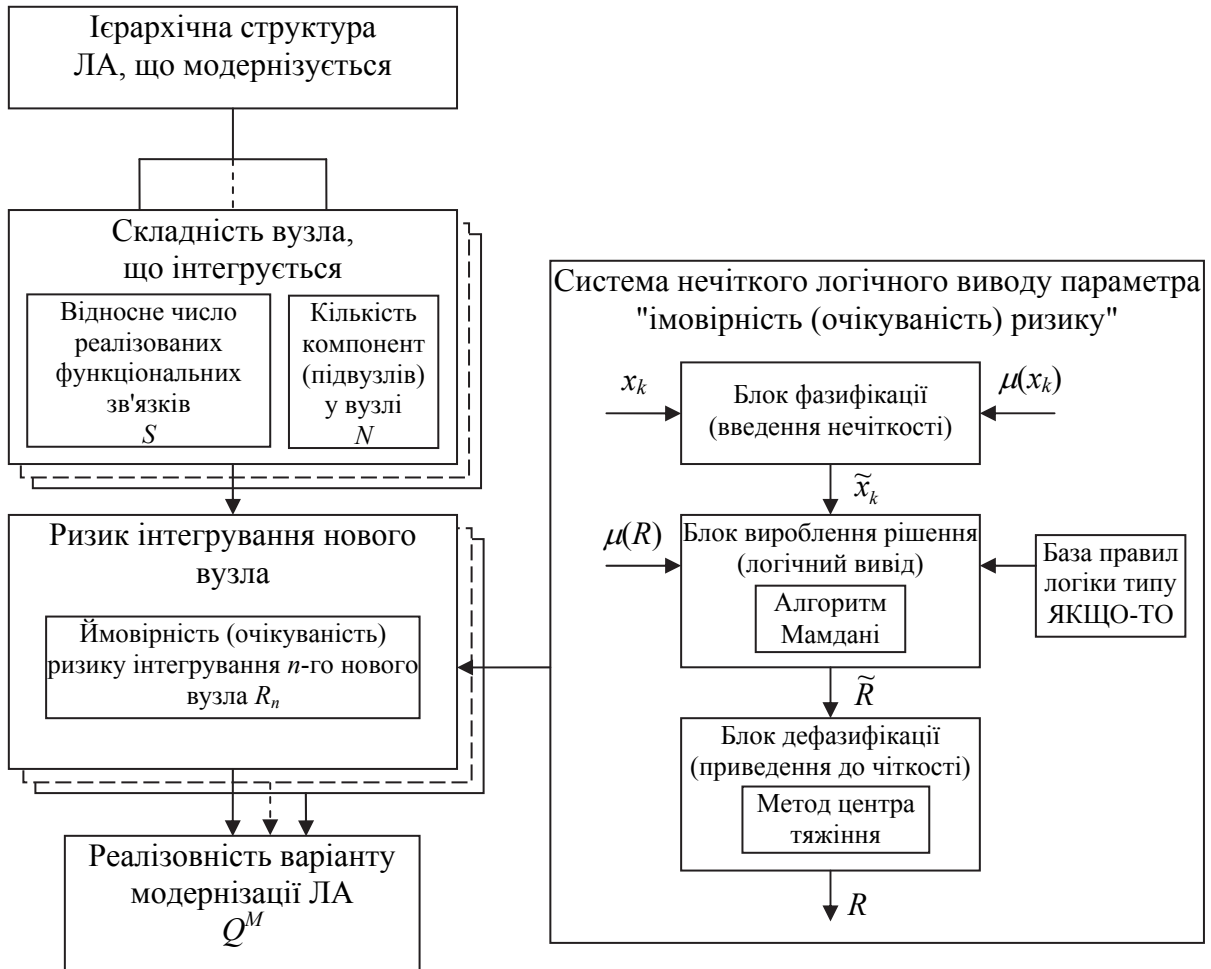


Рис. 1. Структурно-логічна блок-схема методики оцінювання техніко-технологічної реалізованості варіанту модернізації ЛА

Необхідно зауважити, що на відміну від теорії ймовірності, що розглядає невизначеність статистичного характеру, яка формалізується за допомогою функції розподілення випадкової величини, теорія нечітких множин вивчає невизначеність лінгвістичного характеру, яка формалізується за допомогою функції приналежності нечіткого числа [8]. Тому для теоретичного розмежування наукових категорій в теорії нечітких множин поняття ймовірності заміщується поняттям очікуваності.

В основу системи нечіткого логічного виводу параметра "очікуваність ризику" покладається [8]:

представлення ризикууючих факторів, як вхідних лінгвістичних змінних, у вигляді нечітких множин з певними функціями приналежності (так звана, фазифікація);

їх композиція у відповідності з базою правил логіки "ЯКЩО - ТО" ("IF - THEN") та правилами нечіткої математики по алгоритму Мамдані;

приведення вихідного параметру (очікуваності ризику) до чіткості (так звана, дефазифікація) за допомогою методу центра тяжіння (центроїдного методу).

Вхідними лінгвістичними змінними (ризикууючими факторами) є описані вище параметри –  $N^u$  та  $S^u$ . При цьому, кожному значенню лінгвістичної змінної – змінної, значення якої можуть бути виражені природньою мовою слова або словосполучення, – відповідає нечітка множина з певною функцією приналежності. Множина всіх можливих значень лінгвістичної змінної називається терм-множиною.

Нечітка множина  $\tilde{A}$  в деякому непорожньому просторі  $X$  описується сукупністю пар [8...11]:

$$\tilde{A} = \{(\mu(x_1), x_1), (\mu(x_2), x_2), \dots, (\mu(x_n), x_n)\}, \quad x_1, x_2, \dots, x_n \in X \quad (2)$$

де  $\mu: X \rightarrow [0,1]$  – функція приналежності, яка приписує кожному елементу  $x$  ступінь його приналежності до нечіткої множини  $\tilde{A}$ . Функція приналежності виражає суб'єктивну можливість наявності властивостей, які дозволяють віднести елемент  $x$  до множини  $\tilde{A}$ .

Побудова форми та вибір параметрів функції приналежності, що описують ризикууючі фактори, є, певною мірою, мистецтвом дослідника, яке залежить від вміння експерта (ризикуменеджера), його практичного досвіду та знань теорії предметної області. При цьому, розділ теорії нечітких множин, що займається проблематикою побудов функцій приналежності нечітких чисел, є досить повно проробленим в теоретичному плані, а вироблені в ньому практичні рекомендації дозволяють досить адекватно описувати нечіткі числа (параметри) їх функціями приналежності [8...11].

В блоці вироблення рішення нечіткі вхідні дані (кількість підвузлів у вузлі та відносне число реалізованих функціональних зв'язків) за прийнятими нечіткими правилами перетворюються в нечітке значення вихідного параметру (очікуваність ризику інтегрування нового вузла). Множина таких нечітких правил складає базу правил логіки (лінгвістичну модель) типу "ЯКЩО - ТО" ("IF - THEN"), яка формується експертами.

У якості алгоритму нечіткого виводу пропонується використовувати алгоритм Мамдані, а дефазифікацію виконувати за методом центра тяжіння, що найчастіше використовуються на практиці та широко апробовані у різноманітних сферах застосування теорії нечітких множин [12,13].

У відповідності до методологічних підходів, викладених, зокрема, у [14...16], реалізованість варіанту модернізації ЛА ( $Q^M$ ) визначається за формулами:

$$Q^M = Q^0 = (1 - R_{n^0}^0) \prod_{n^1=1}^{N^1} Q_{n^1}^1, \quad (3)$$

$$Q_{n^u}^u = (1 - R_{n^u}^u) \prod_{n^{u+1}=1}^{N^{u+1}} Q_{n^{u+1}}^{u+1}, \quad (4)$$

де 0 – верхній (найвищий, останній) рівень ієрархії складної технічної системи; 1 – перший (передостанній) рівень ієрархії складної технічної системи;  $u$  – рівень ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи;  $u+1$  – рівень ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи, що передує рівню  $u$ ;  $n^u$  – номер нового вузла (елемента, блока, системи тощо) на  $u$ -му рівні ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи;  $N^u$  – кількість нових вузлів (елементів, блоків, систем тощо) на  $u$ -му рівні ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи;  $Q_{n^u}^u$  – величина реалізованості  $n$ -го нового вузла (елемента, блока, системи тощо) на  $u$ -му рівні ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи;  $R_{n^u}^u$  – очікуваність ризику інтегрування  $n$ -го нового вузла (елемента, блока, системи тощо) на  $u$ -му рівні ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи.

За наведеною вище методикою було виконано оцінювання реалізованості варіанта модернізації літака МиГ-29, роботи за яким було виконано на вітчизняному авіаремонтному підприємстві в інтересах інозамовника.

Варіант модернізації літака МиГ-29 передбачав удосконалення бортової радіолокаційної станції у напрямку збільшення дальності виявлення повітряних цілей та можливості виявлення вертольотів у режимі їх висіння, встановлення приймача супутникової навігаційної системи для підвищення точності навігації, вдосконалення засобів об'єктивного контролю за рахунок заміни плівкових носіїв інформації на твердотільні електронні та можливості цифрового оброблення польотної інформації, встановлення літакового відповідача та доробленої радіостанції для забезпечення виконання польотів за міжнародними вимогами ІКАО/НАТО. Ієрархічну структуру літака МиГ-29 як об'єкта модернізації представлено на рис. 2.

Функції приналежності вхідних лінгвістичних змінних (ризикоутворюючих факторів)  $N^u$  та  $S^u$  наведено на рис. 3.

Областю визначення вхідної лінгвістичної змінної "Кількість підвузлів у вузлі" ( $N^u$ ) є діапазон цілих чисел [1, 10] (рис. 3а). Терм-множина функції приналежності (лінгвістичні значення) параметра  $N^u$ :

$$N^u = \{ "M - мала", "C - середня", "B - велика" \}. \quad (5)$$

Областю визначення вхідної лінгвістичної змінної "Відносне число реалізованих функціональних зв'язків" ( $S^u$ ) є діапазон [0, 1] (рис. 3б). Терм-множина функції приналежності (лінгвістичні значення) параметра  $S^u$ :

$$S^u = \{ "M - мале", "C - середнє", "B - велике" \}. \quad (6)$$

Областю визначення вихідної лінгвістичної змінної "Очікуваність виникнення ризику інтегрування нового вузла" ( $R$ ) є діапазон [0, 1] (рис. 3в). Терм-множина функції приналежності (лінгвістичні значення) параметра  $R$ :

$$R = \{ "M - \text{мала}", "C - \text{середня}", "B - \text{велика}" \}. \quad (7)$$

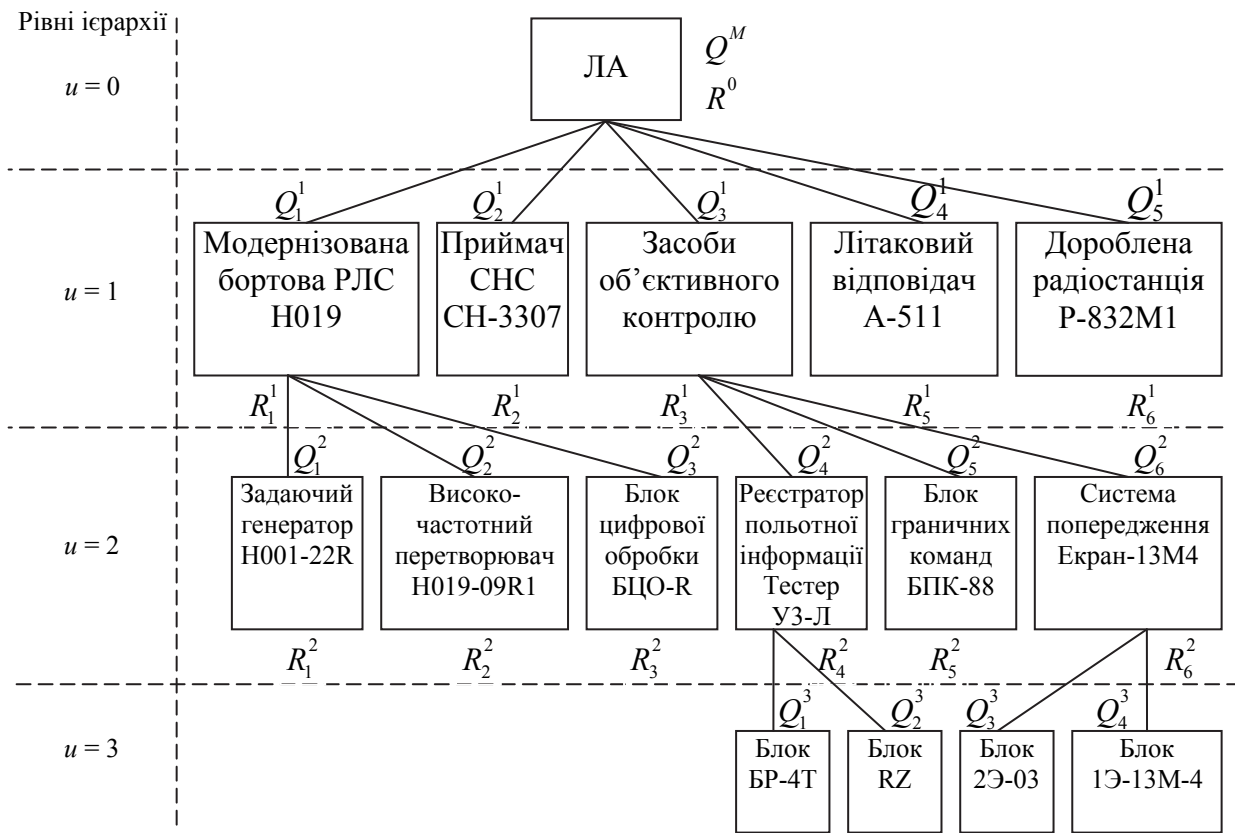


Рис. 2. Ієрархічна структура літака МиГ-29 як об'єкта модернізації

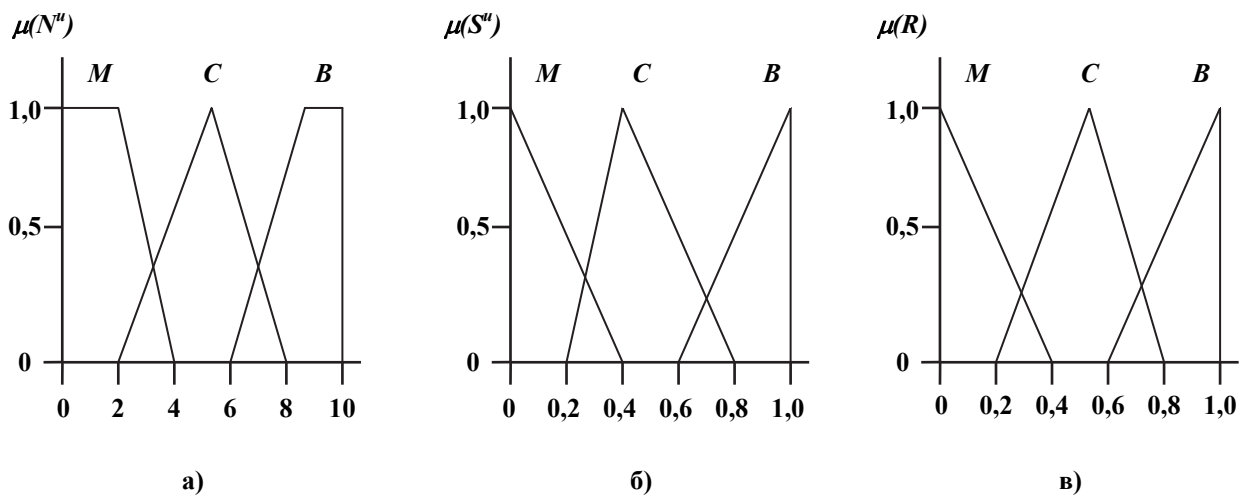


Рис. 3. Функції приналежності ризикоутворюючих факторів

Лінгвістична модель – база правил типу "ЯКЩО - ТО" – представляє собою множину нечітких правил, згідно з якими нечіткі вхідні дані перетворюються у блоці вироблення рішення системи нечіткого логічного виводу в нечітке вихідне значення змінної. Наприклад: "Якщо кількість підвузлів у вузлі відповідає значенню "мала", а відносне число реалізованих функціональних зв'язків відповідає значенню "велике", то очікуваність виникнення ризику інтегрування нового вузла відповідає значенню "середня". Розроблену базу правил для оцінювання приведено в табл. 1.

Таблиця 1

№ правила	Опис правила	Лінгвістичне значення вихідної змінної
1	$N''$ – "мала", $S''$ – "мале"	$R$ – "мала"
2	$N''$ – "мала", $S''$ – "середнє"	$R$ – "мала"
3	$N''$ – "мала", $S''$ – "велике"	$R$ – "середня"
4	$N''$ – "середня", $S''$ – "мале"	$R$ – "мала"
5	$N''$ – "середня", $S''$ – "середнє"	$R$ – "середня"
6	$N''$ – "середня", $S''$ – "велике"	$R$ – "велика"
7	$N''$ – "велика", $S''$ – "мале"	$R$ – "середня"
8	$N''$ – "велика", $S''$ – "середнє"	$R$ – "велика"
9	$N''$ – "велика", $S''$ – "велике"	$R$ – "велика"

В якості алгоритму нечіткого виводу використовується алгоритм Мамдані, а дефазифікація виконується методом центра тяжіння, програмна реалізація яких виконана у середовищі MatLab (розширення Fuzzy Logic Toolbox).

На рис. 4 представлено геометричну інтерпретацію визначення величини  $R$  очікуваності виникнення ризику інтегрування модернізованої бортової РЛС Н019 літака МиГ-29 з новими (удосконаленими) блоками задаючого генератора Н001-22R, високочастотного перетворювача Н019-09R1 та блоком цифрової обробки сигналів БЦО-Р (див. рис. 2).

Вихідні дані для визначення  $R$  ( $N$  – кількість компонент у вузлі та  $S$  – відносне число реалізованих функціональних зв'язків) геометрично інтерпретуються як вертикальні прямі ( $N = 3$ ;  $S = 0,67$ ), що проходять через низку графіків відповідних функцій приналежності відповідно до встановлених правил у табл. 1 (див. праву область на рис. 4).

Точки перетину вертикальних прямих ( $N = 3$ ;  $S = 0,67$ ) та відповідних функцій приналежності є початком горизонтальних прямих  $\alpha$ , що відсікають на функції приналежності  $\mu(R)$  певні області на ділянках графіку у відповідності до бази правил (див. ліву верхню область на рис. 4). Серед областей, що відсікають прямі  $\alpha$  на кожному графіку функції приналежності  $\mu(R)$ , вибирається область, що відсікається нижньою прямою, тобто виконується дія "логічного мінімуму":

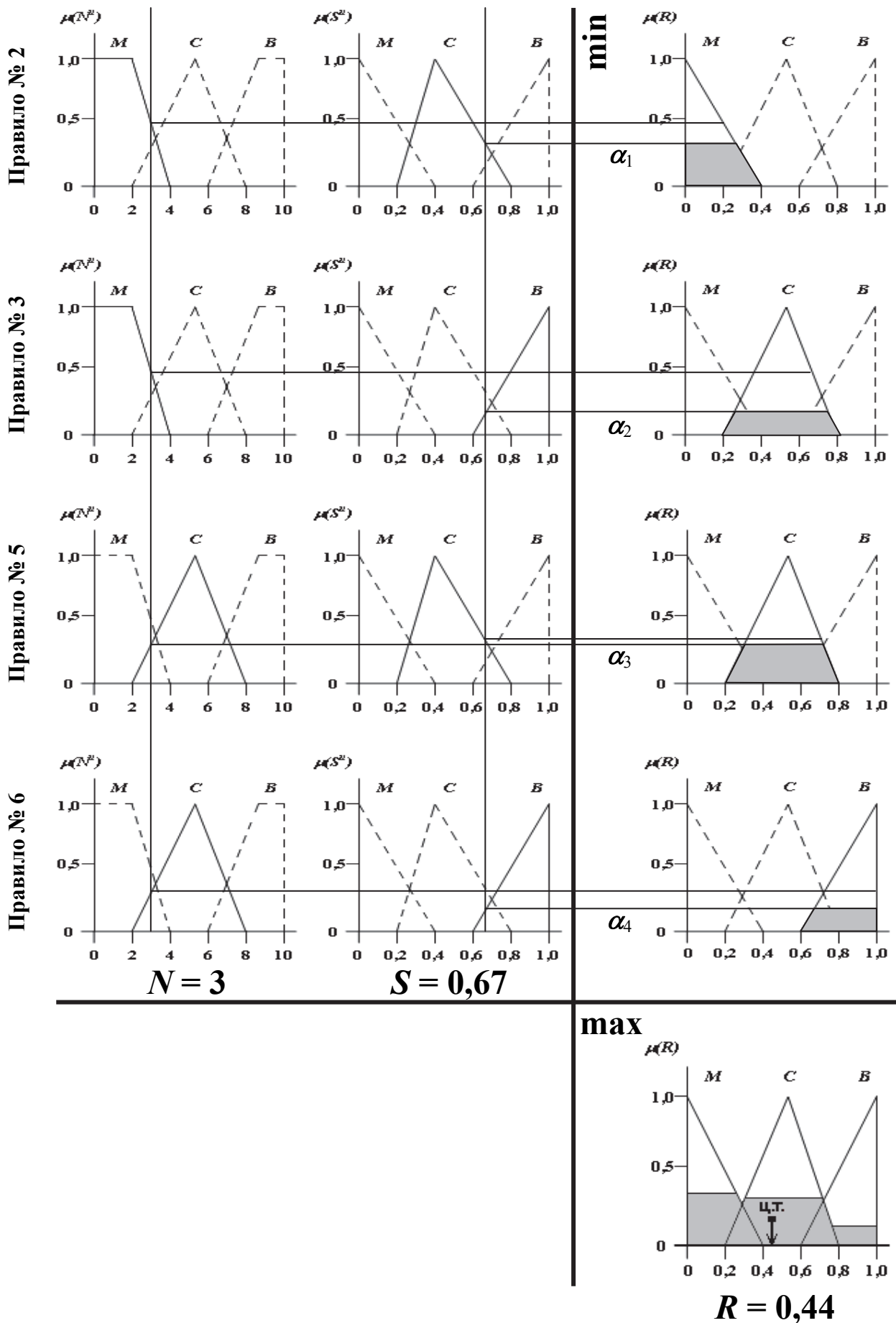


Рис. 4. Геометрична інтерпретація визначення величини очікуваності виникнення ризику інтегрування модернізованої бортової РЛС Н019 літака МиГ-29



$$\begin{aligned}\alpha &= \mu(N) \wedge \mu(S), \\ \mu_\alpha(R) &= \alpha \wedge \mu(R).\end{aligned}\tag{8}$$

Композиція вибраних таким чином областей на графіках функцій приналежності  $\mu(R)$  виконується за допомогою дії "логічного максимуму" (див. ліву нижню область на рис. 4):

$$\mu_\Sigma(R) = \mu_{\alpha_1}(R) \vee \mu_{\alpha_2}(R) \vee \mu_{\alpha_3}(R) \vee \mu_{\alpha_4}(R).\tag{9}$$

Дефазифікація (приведення до чіткості) виконується за формулою:

$$R = \frac{\int R \cdot \mu_\Sigma(R)}{\int \mu_\Sigma(R)}.\tag{10}$$

За своїм фізичним змістом значення  $R$ , отримане за формулою (10), являє собою координату по вісі абсцис центра тяжіння геометричної фігури, побудованої в результаті композиції за формулою (9). Звідси походить назва методу дефазифікації – метод центра тяжіння.

За результатами проведених розрахунків отримано значення очікуваності виникнення ризику інтегрування модернізованої бортової РЛС Н019 на рівні 0,44, що є досить значною величиною та може негативно вплинути на загальний показник техніко-технологічної реалізованості варіанту модернізації літака МиГ-29 в цілому.

Аналогічні розрахунки було проведено для кожного з нових вузлів, що встановлювалися на літак МиГ-29 в процесі його модернізації. В результаті подальшого рішення поставленої задачі значення показника QM реалізованості варіанту модернізації літака МиГ-29 склало 0,68, що є порівняно низьким рівнем.

Отримані результати теоретичних досліджень говорять про високу ймовірність ризику техніко-технологічної реалізації наведеного вище варіанту модернізації літака МиГ-29 та небезпеку невиконання заданих тактико-технічних вимог.

Ці теоретичні дослідження було підтверджено на практиці, коли за результатами виконання відповідної дослідно-конструкторської роботи варіант модернізації літака МиГ-29 для інозамовника було реалізовано не в повному обсязі – вимогу щодо виявлення вертольотів в режимі висіння модернізованою бортовою РЛС не було реалізовано через техніко-технологічні причини, що виникли в процесі інтеграції блока цифрової обробки сигналів БЦО-Р до штатних вузлів бортової РЛС Н019.

Таким чином, представлений в статті методичний підхід може бути рекомендований для його застосування на початкових етапах виконання проектів зі створення (модернізації) зразків озброєння та військової техніки для попередньої оцінки техніко-технологічної реалізованості таких проектів та планування заходів щодо зменшення можливих ризиків їх реалізації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Финансовая реализуемость инвестиционного проекта [Электронный ресурс] // Материалы сайта Уральского государственного экономического университета. –Режим доступа:<http://rumanager.com/finansovaya-realizuemost-investicionnogo-proekta/>.
2. Бендиков М.А. Оценка реализуемости инновационного проекта / М.А. Бендиков // Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – №2. – С. 27 – 43.
3. Хрусталёв О.Е. Инструментальные методы оценки реализуемости наукоемкого инвестиционного проекта / Хрусталёв О.Е., Хрусталёв Ю.Е. // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 27(234). – С.8-18.
4. Неволин И.В. Методология оценки финансовой значимости и реализуемости инновационных проектов создания интеллектуальной продукции / Неволин И.В., Хрусталёв О.Е., Хрусталёв Ю.Е. // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2013. – №11(149). – С.39-45.
5. Хрусталёв Е.Ю. Финансовая устойчивость наукоемкого предприятия как фактор оценки реализуемости инновационного проекта / Хрусталёв Е.Ю., Хрусталёв О.Е. // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – №33(222). – С.16-23.
6. Волков В.А., Орлов А.И. Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости проектов по созданию ракетно-космической техники // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – № 11 (362). – С.41–47.
7. Волков В.А., Орлов А.И. Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости инновационно-инвестиционных проектов [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/13.pdf>.
8. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / Кофман А. – М.: Радио и связь, 1982. – 135 с.
9. Мациевский С.В. Нечеткие множества: учеб. пособие / Мациевский С.В. – Калининград: Изд-во КГУ, 2004. – 234 с.
10. Рыбин В.В. Основы теории нечетких множеств и нечеткой логики: учеб. пособие / Рыбин В.В. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 96 с.
11. Хаптахаяева Н.Б. Введение в теорию нечетких множеств: Учеб. пособие / Хаптахаяева Н.Б., Дамбаева С.В., Аюшева Н.Н. – Часть I. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. – 68 с.
12. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику проекта [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>.
13. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTech. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
14. Яшина Е.С. Метод агрегированной оценки риска научно–технического проекта, учитывающий степень новизны работ / Е.С. Яшина, Л.Н. Лутай // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №3 (44). – С. 146-151.

15. Лутай Л.Н. Оценка риска проекта по созданию нового образца авиационной техники с использованием прецедентного подхода / Лутай Л.Н. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 5 (72). – С. 105-112.
16. Федорович О.Е. Исследование реализуемости проекта с использованием компонентального подхода и многоуровневой архитектуры аэрокосмического изделия // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2011. – №1 (49). – С. 168-172.

*Надійшла до редакції 30.10.2015*