

УДК 681.32

О.Є. МАВРЕНКОВ, канд. техн. наук (Державний наук.-дослідний ін-т авіації)

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 з використанням базових моделей та положень теорії ризиків та теорії нечітких множин.

Рассматривается научно-практическая задача определения технико-технологической реализуемости варианта разработки (модернизации) сложной технической системы на основе оценивания риска интеграции (комплексирования) новых узлов (элементов, блоков, систем и т.п.) на разных уровнях иерархии (декомпозиции) разрабатываемой (модернизируемой) системы.

Описанный в статье методический подход может быть рекомендован для его применения на начальных этапах выполнения проектов по разработке (модернизации) образцов вооружения и военной техники для предварительной оценки технико-технологической реализуемости таких проектов и планирования мероприятий по уменьшению возможных рисков их реализации.

The scientific and practical task of determining the technical and technological realization of variants of development (modernization) of complicated technical systems based on integration of risk assessment integration (aggregation) of new nodes (elements, blocks, systems, etc.) at different levels of the hierarchy (decomposition) of developing (modernizing) system is discussed.

The methodical approach, described in the article, can be recommended for using in the early stages of the development (modernization) projects of weapons and military technic for the preliminary assessment of the technical and technological realizability of such projects and planning measures to reduce the possible risks of realization.

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.

© О.Є. МАВРЕНКОВ, 2015

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 оцінювання проектів модернізації за показником їх реалізованості.

Реалізованість науково-технічного проекту є найважливішою його властивістю, під якою розуміється можливість найбільш ефективного виконання 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, і їх прогнозу 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 галузі 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 (варіанта) 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, у свою чергу, залежить від відносного числа реалізованих функціональних зв'язків S та кількості компонентів (підвузлів) у вузлі N .

Відносне число реалізованих функціональних зв'язків розраховується за співвідношенням

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

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

Як показник ризику інтеграції нових вузлів будемо використовувати ймовірність R виникнення такого ризику. Розрахунок ймовірності виникнення ризику інтеграції нових вузлів пропонується здійснювати на основі імплементації 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 варіанта модернізації ЛА показано на рис. 1.

Вхідними даними для оцінювання реалізованості варіанта модернізації ЛА є ієрархічна структура ЛА, що модернізується, кількість компонентів (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 варіанта модернізації ЛА є оцінювання ймовірності (очікуваності) ризику інтегрування кожного нового вузла на основі системи нечіткого логічного виводу, яка дозволяє використовувати вербальні оцінки для отримання кількісних характеристик вихідних змінних. Така система складається з певних алгоритмічних блоків (див. рис. 1), у яких послідовно виконуються необхідні процедури перетворення вхідних даних (значень ризикоутворюючих факторів) у параметр кількісного оцінювання ризику – ймовірність (очікуваність) його виникнення.

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

У основу системи нечіткого логічного виводу параметра «очікуваність ризику» покладається:

подання ризикоутворюючих факторів як вхідних лінгвістичних змінних у вигляді нечітких множин з певними функціями приналежності (так звана фазифікація);

їх композиція у відповідності до бази правил логіки «ЯКЩО – ТО» («IF – THEN») та правил нечіткої математики за алгоритмом Мамдані;

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

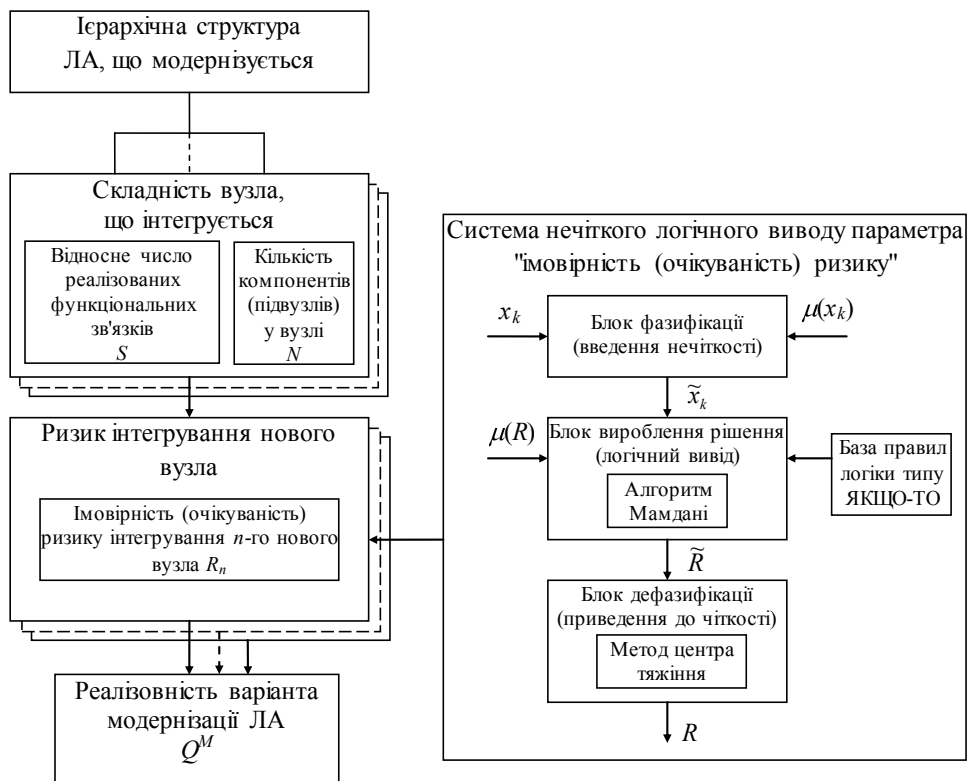


Рис. 1

Вхідними лінгвістичними змінними (ризикоутворюючими факторами) є описані вище параметри N^n та S^n . При цьому кожному значенню лінгвістичної змінної, значення якої можуть бути виражені природною 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]:

$$\tilde{A} = \{(\mu(x_1) \ x_1) \ (\mu(x_2) \ x_2), \dots, (\mu(x_n) \ x_n)\},$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \in X, \quad (2)$$

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 ризикоутворюючі фактори, є, певною мірою, мистецтвом дослідника, яке залежить від вміння експерта (ризик-менеджера), його практичного досвіду та знань теорії

предметної галузі. При цьому розділ теорії нечітких множин, що займається проблематикою побудов функцій приналежності нечітких чисел, є досить повно розробленим в теоретичному плані, а його практичні рекомендації дозволяють досить адекватно описувати нечіткі числа (параметри) їх функціями приналежності [8–11].

У 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 параметра (очікуваність ризику інтегрування нового вузла). Множина таких нечітких правил складає базу правил логіки (лінгвістичну модель) типу «ЯКЩО – ТО» («IF – THEN»), яка формується експертами.

Як алгоритм нечіткого виводу пропонується використовувати алгоритм Мамдані, а дефазифікацію виконувати за методом центра тяжіння, що найчастіше використовуються на практиці та є широко апробованими в різноманітних сферах застосування теорії нечітких множин [12, 13].

У відповідності до методологічних підходів, викладених, зокрема, у [14–16], реалізованість варіанта 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 напрямі збільшення дальності виявлення повітряних цілей та можливості виявлення вертольотів у режимі їх висіння, встановлення приймача супутникової навігаційної системи для підвищення точності навігації, удосконалення засобів об'єктивного контролю за рахунок заміни плівкових носіїв інформації твердотільними електронними 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 зображено 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. 3, а). 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

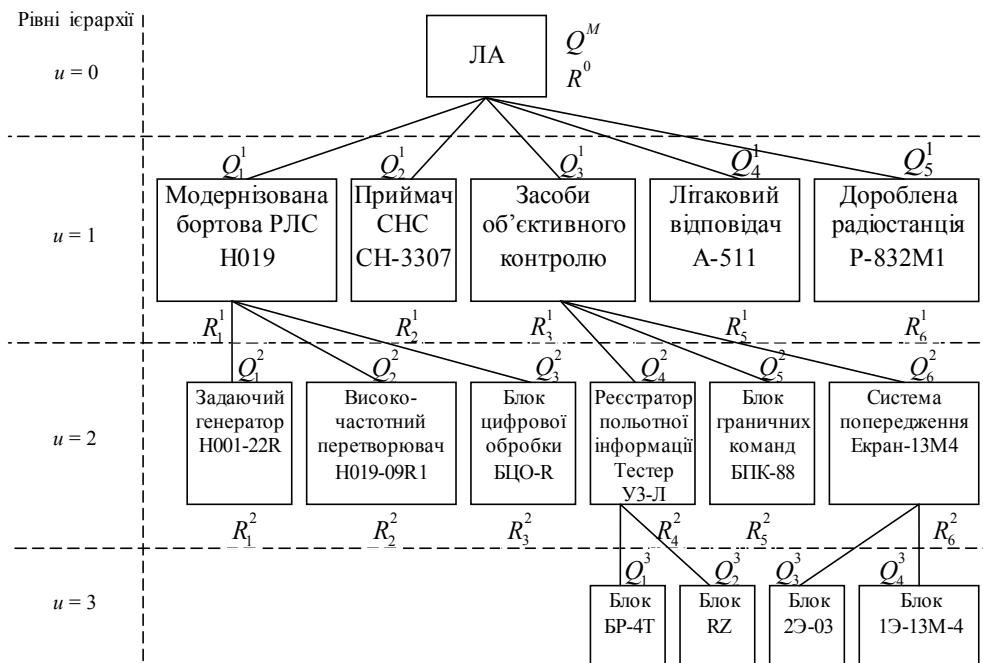


Рис. 2

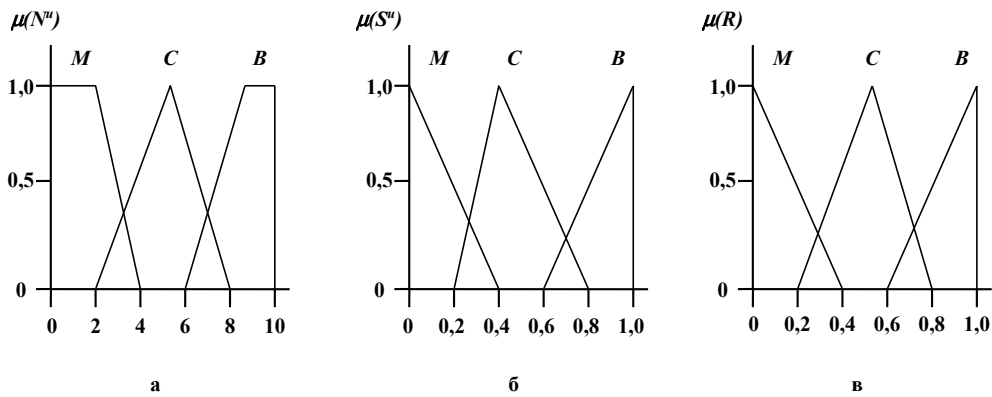


Рис. 3

зв'язків» S^u є діапазон $[0, 1]$ (рис. 3, б). Термножина функції приналежності (лінгвістичні значення) параметра S^u :

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

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

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

Лінгвістична модель – база правил типу «ЯКЩО – ТО» – являє собою множину нечітких правил, згідно з якими нечіткі вхідні дані перетворюються в 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 наведено в табл. 1.

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

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

Вихідні дані для визначення R (N – кількість компонентів 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 згідно з встановленими правилами в табл. 1 (див. праву область на рис. 4).

Таблиця 1

№ правила	Опис правила	Лінгвістичне значення вихідної змінної
1	$N^u - \text{"мала"}, S^u - \text{"мале"}$	$R - \text{"мала"}$
2	$N^u - \text{"мала"}, S^u - \text{"середнє"}$	$R - \text{"мала"}$
3	$N^u - \text{"мала"}, S^u - \text{"велике"}$	$R - \text{"середня"}$
4	$N^u - \text{"середня"}, S^u - \text{"мале"}$	$R - \text{"мала"}$
5	$N^u - \text{"середня"}, S^u - \text{"середнє"}$	$R - \text{"середня"}$
6	$N^u - \text{"середня"}, S^u - \text{"велике"}$	$R - \text{"велика"}$
7	$N^u - \text{"велика"}, S^u - \text{"мале"}$	$R - \text{"середня"}$
8	$N^u - \text{"велика"}, S^u - \text{"середнє"}$	$R - \text{"велика"}$
9	$N^u - \text{"велика"}, S^u - \text{"велике"}$	$R - \text{"велика"}$

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

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

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

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

Дефазифікація (приведення до чіткості) виконується за формулою:

$$R = \frac{\int R \mu_{\Sigma}(R)}{\int \mu_{\Sigma}(R)} \quad (10)$$

За своїм фізичним змістом значення R , отримано за формулою (10), являє собою координату на осі 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 варіанта 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. У результаті подальшого рішення поставленої задачі значення показника Q^M реалізованості варіанта 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 варіанта модернізації літака МиГ-29 та можливість невиконання заданих тактико-технічних вимог.

Ці теоретичні дослідження були підтверджені 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, наданий у 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.

Список літератури

1. *Финансовая* реализуемость инвестиционного проекта [Электронный ресурс] // Материалы сайта Уральского государственного экономического университета. – Режим доступа: <http://tumanager.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 / О. Е. Хрусталёв, Ю. Е. Хрусталёв // 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 / И. В. Неволин, О. Е. Хрусталёв, Ю. Е. Хрусталёв // 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 / Е. Ю. Хрусталёв, О. Е. Хрусталёв // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – № 33 (222). – С. 16–23.
6. *Волков В. А.* Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости проектов по созданию ракетно-космической техники /

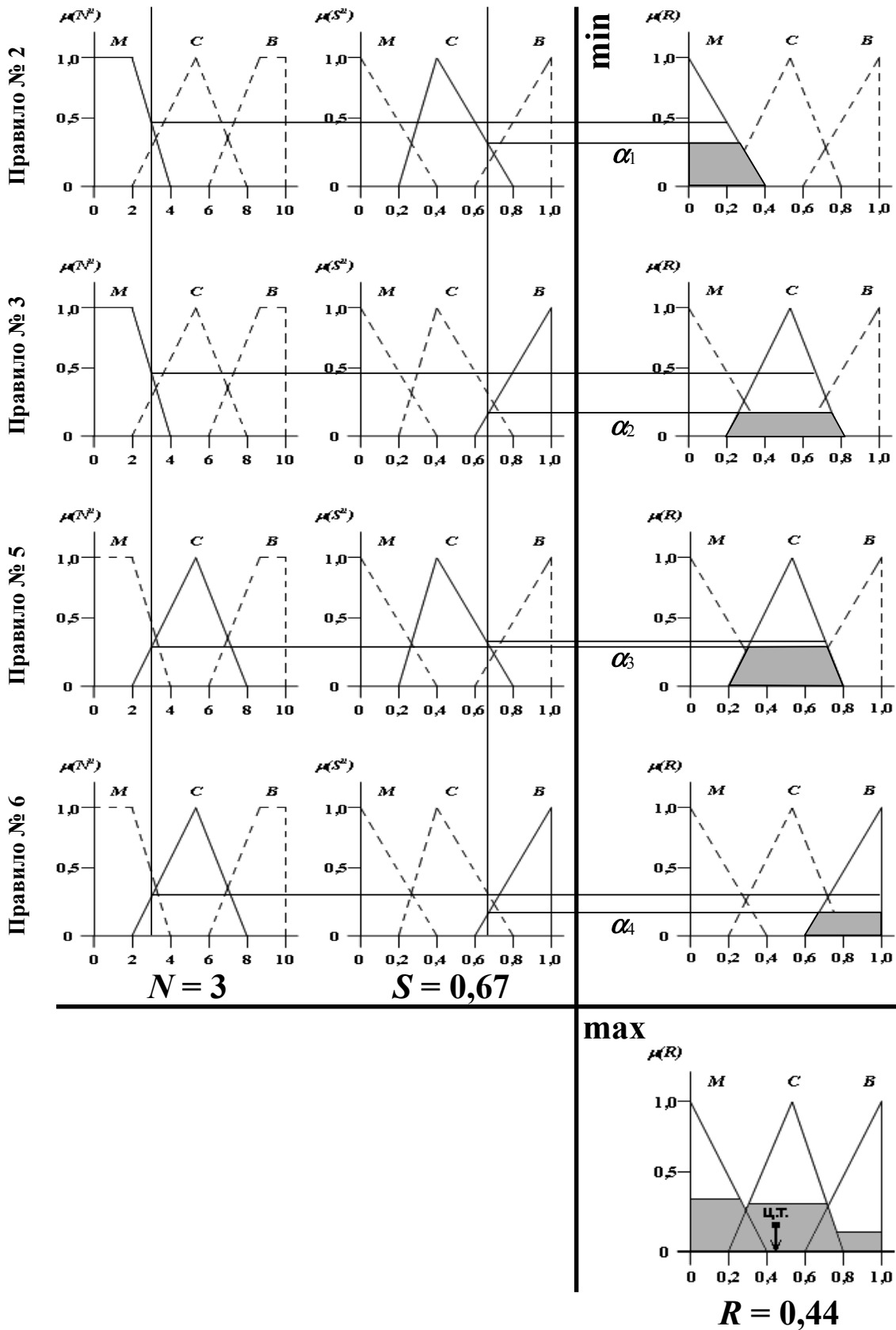


Рис. 4

- В. А. Волков, А. И. Орлов // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – № 11 (362). – С. 41–47.
7. Волков В. А. Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости инновационно-инвестиционных проектов / В. А. Волков, А. И. Орлов [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 / А. Кофман. – М. : Радио и связь, 1982. – 135 с.
 9. Мациевский С. В. Нечеткие множества : учеб. пособие / С. В. Мациевский. – Калининград : Изд-во КГУ, 2004. – 234 с.
 10. Рыбин В. В. Основы теории нечетких множеств и нечеткой логики : учеб. пособие / В. В. Рыбин. – М. : МАИ, 2007. – 96 с.
 11. Хаптахоева Н. Б. Введение в теорию нечетких множеств: учеб. пособие / Н. Б. Хаптахоева, С. В. Дамбаева, Н. Н. Аюшева. Ч. I. – Улан-Удэ : 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 / Л. Н. Лутай // 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 / О. Е. Федорович // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2011. – № 1 (49). – С. 168–172.