

УДК 004.8, 354

DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2023-3-79/97-107>

Свешніков С. В., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник (0000-0001-8924-4535)
Бочарніков В. П., доктор технічних наук, професор (0000-0003-4398-5551)
Мудрак Ю. М. (0000-0002-1159-5746)
Ковальчук П. А. (0000-0002-9434-444X)

Національний університет оборони України, Київ

Оцінка якості та ризиків виконання оборонних проєктів на основі нечітко-інтегрального числення

Резюме. У статті запропоновано методику та алгоритм оцінки якості та ризиків якості результатів оборонних проєктів, заснований на побудові ієрархічної моделі якості, де оцінки якості часткових категорій описано нечіткими функціями належності, важливості цих категорій описано нечіткими мірами Сугено, а узагальнення оцінок здійснюється за допомогою нечіткого інтеграла Сугено.

Ключові слова: якість; ризик якості; оборонний проєкт; ієрархічна модель; нечітка міра; нечіткий інтеграл; функція належності.

Постановка проблеми. Останнім часом Міністерство оборони України для здійснення оборонної реформи робить акцент на виконанні оборонних проєктів, що дає змогу підвищити ефективність використання бюджетних коштів в умовах недостатнього фінансування. Відповідно до Методичних рекомендацій з управління проєктами від 2019 року [1], одним з головних завдань проєктного менеджменту є забезпечення високої якості кінцевого результату оборонних проєктів. Відповідно до одного з основних міжнародних стандартів якості ISO 9001 [2], забезпечення якості має здійснюватись протягом усього життєвого циклу проєкту. Тобто, вже на етапі планування оборонного проєкту необхідно мати модель якості, яка повинна:

для забезпечення вимірності – розраховувати чисельну оцінку загальної якості результату проєкту або його функціонального завершеної частини на основі оцінок часткових показників якості;

для передбачення можливих проблем під час виконання проєкту – розраховувати оцінки ризиків якості;

для забезпечення контролю – виявити критичні точки проєкту, від яких залежить якість результату у цілому.

З іншого боку, існує дві обставини, які ускладнюють оцінку якості результатів оборонних проєктів. Перша обставина – різноманітність оборонних проєктів і за складом, і за функціоналом. Це перешкоджає розробленню єдиної моделі оцінки якості, яку можна було б застосувати без відчутних змін одразу для кількох проєктів. У кожному

конкретному випадку для оцінки якості має будуватись відповідна модель. Але ця обставина не є принциповою, оскільки є можливим сформулювати єдині для усіх проєктів принципи оцінки якості. Друга обставина полягає у великій долі невизначеності, яка породжується прогностичним характером оцінок, які мають розраховуватись на етапі планування. Крім того, складові якості не завжди можуть бути сформульовані в чіткому вигляді.

Метою статті є розроблення методики і алгоритму оцінювання якості оборонних проєктів в умовах невизначеності, а також ризиків якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам оцінювання якості проєктів присвячено багато наукових досліджень у різних сферах життєдіяльності людини. Зокрема, у дослідженні [3] автори розглядають побудову індикатора якості медичної допомоги для вимірювання якості в країнах Організації економічного співробітництва і розвитку. Цей індикатор поєднує кілька показників ефективності, прийнятих у різних країнах.

Багато уваги приділяється вимірюванню якості систем логістичного обслуговування. Зокрема, в роботі [4] наведено достатньо широкий огляд моделей та методів вимірювання якості обслуговування. Ці моделі можуть бути корисними для проєктів з розроблення логістичних систем.

Дослідження [5] розглядає якість програмного забезпечення скрізь призму пошуку загальної моделі показників якості. Але дослідники роблять висновок, що такої

моделі для всього спектру програмної продукції не існує, що підтверджує нашу аналогічну тезу (див. вище). Інше дослідження [6] містить достатньо представницький огляд показників вимірювання якості програмного забезпечення. У цьому дослідженні на основі факторного аналізу вивчається залежність між показниками якості програмного забезпечення і маркетинговими властивостями попиту.

Для вимірювання якості широко використовуються багатокритеріальні методи прийняття рішень (БКМПР), які враховують умови невизначеності. Зокрема, дослідження [7] застосовує нечіткі числа для вимірювання якості обслуговування літаків. Аналогічну методологію використовують автори роботи [8] для вимірювання якості медичного обслуговування. Дослідження [9] використовує середньозважене для узагальнення часткових індексів. Але більшість відомих робіт, наприклад, дослідження якості проектування [10], використовують відомий метод аналізу ієрархій Сааті [11].

Слід зазначити, що використання нечітких чисел має низку серйозних недоліків, головним з яких є дуже швидке зростання невизначеності під час виконання послідовності арифметичних операцій з нечіткими операндами. На практиці, лише кілька операцій (5-6) призводять до результату, за яким неможливо прийняти рішення взагалі [12]. Недоліки методу аналізу ієрархій також добре відомі. Це нечутливість середньозваженого у разі збільшення кількості часткових показників.

Отже, аналіз відомих методів висвітлює необхідність застосування в рамках БКМПР дещо інших математичних інструментів.

Виклад основного матеріалу.

Методичний підхід. Стандарт ISO-8402 визначає якість як сукупність властивостей і характеристик товарів або послуг, які надають їм спроможність задовольнити певні потреби. Тлумачні словники визначають якість приблизно аналогічним чином. Тому якість результату оборонного проекту вважатимемо сукупність властивостей, які обумовлюють спроможність результату задовольняти відповідні оборонні потреби, а також відповідати своєму призначенню і вимогам.

Якість результату оборонного проекту є інтегрованою, складною, багатокомпонентною категорією, яка не піддається прямому оцінюванню. Безумовно, є можливим поставити експертові питання з проханням оцінити величину якості, наприклад,

результату огляду спроможностей як результату відповідного проекту. Утім навряд чи можна розраховувати на обґрунтовану відповідь, оскільки людина спроможна одночасно врахувати лише до 7-9 факторів, що є набагато меншим, ніж системний розмір проекту. Тому категорія якості потребує декомпозиції на часткові категорії, які самі можуть потребувати декомпозиції і так далі, до рівня, коли найбільш деталізовані категорії будуть визначатись неподільними, усім зрозумілими категоріями, легко вимірюваними за допомогою елементарних шкал. Таким чином, модель якості – це ієрархічна сукупність взаємопов'язаних категорій і зв'язків між ними, які вимірюються у сенсі важливості.

Подібні моделі якості будуються і вирішуються широко розповсюдженими БКМПР, яких на сьогодні відомо досить багато. Вони відрізняються способом опису поточних оцінок, важливості часткових показників і методом їх узагальнення, від чого залежить адекватність моделі, її переваги та недоліки, особливості застосування. Пропонується використовувати нечітко-інтегральне числення для вирішення подібних задач, оскільки воно має кілька відчутних переваг, які в деталях обговорюються далі. Розглянемо, як математичні конструкції цього методу враховують невизначеність і одночасно порівнюємо запропонований метод з іншими.

Різні БКМПР мають схожі схеми оцінювання об'єкта, в ролі якого тут виступає якість результату оборонного проекту.

Схема оцінювання. Отже, якість результату оборонного проекту може бути описана за допомогою часткових категорій якості, а значення кожної категорії може бути завдано або на множині підпорядкованих категорій, або на множині градацій (якщо категорія не визначається через інші категорії). Наприклад, в оборонному проекті “Створення зенітного ракетного комплексу” часткова категорія “Метод наведення ракети” може бути завдана на множині градацій {три точки, погони, постійний кут упередження, пропорційне зближення, паралельне зближення}, оскільки різним методам притаманна різні помилки наведення і навантаження на ракету, що є факторами якості комплексу. Градації також можуть бути сформульовані в термінах бажаності, наприклад {поганий, задовільний, добрий}, оскільки сенс оцінки якості може бути виражений у цих термінах. Від кількості

градацій залежатиме точність оцінювання часткової категорії і чутливість оцінки. Процес оцінювання полягає у виборі однієї чи кількох градацій. Після оцінювання усіх часткових категорій, завданих через градації, алгоритм БКМПР рухається вверх по ієрархії, узагальнюючи часткові оцінки з урахуванням важливості категорій, до досягнення найбільш узагальненої категорії. Оцінка в цій категорії є узагальненою оцінкою якості результату оборонного проєкту. Отже, адекватність

оцінювання якості значною мірою залежить від методу агрегування часткових оцінок.

Властивості нечітко-інтегрального числення. У цьому контексті розглянемо властивості нечітко-інтегрального числення, насамперед, властивості інтегралів Сугено і Шоке.

Нечіткий інтеграл Сугено [13] $(s)\int$ від нечіткої функції належності $h: X \rightarrow [0,1]$, завданої на дискретній множині $X = \{x_i, i = \overline{1, N}\}$, по нечіткій мірі $g(\cdot)$ представляється таким чином:

$$(s)\int_X h(x) \circ g(\cdot) = \max_{i=1, N} (\min(h(x_i), g(H_i))), \quad (1)$$

де $H_i = \{x_j \mid h(x_j) \geq h(x_i), j = \overline{1, N}\}$.

Нечіткий інтеграл Шоке $(c)\int$ є схожою конструкцією [0]:

$$(c)\int_X h(x) \circ g(\cdot) = \sum_{i=1}^N [h(x_i) - h(x_{i-1})] \cdot g(H_i), \quad h(x_0) = 0.$$

Фізичний смисл обох інтегралів полягає у визначенні нечіткого поєднання двох розподілів: нечіткої функції належності і нечіткої міри Сугено. Перший розподіл описує поточні оцінки підпорядкованих категорій, а другій – їх важливості. При цьому другій розподіл є мірою, тобто своєрідною “лінійкою”, неспадною функцією. Нечітке інтегрування узагальнює поточні оцінки в підпорядкованих категоріях по мірі їх важливості. Результат трактується як нечітке очікуване значення.

Для визначення нечіткої міри Сугено використовується наступне правило. Нехай $A, B \subseteq X, A \cap B = \emptyset$. Тоді

$$g(A \cup B) = g(A) + g(B) + \lambda \cdot g(A) \cdot g(B),$$

де параметр $\lambda \in [-1, +\infty[$ є параметром нормалізації нечіткої міри $g(\cdot)$.

У випадку дискретної множини $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, (де N – потужність множини X), на якій завдана щільність нечіткої міри $g(\{x_i\}) = g_i \in [0,1], i = \overline{1, N}$, нечітка міра довільної множини $A \subseteq X$ може бути розрахована з виразу

$$g(A) = \frac{1}{\lambda} \cdot \left[\prod_{x_i \in A} (1 + \lambda \cdot g(\{x_i\})) - 1 \right],$$

де параметр λ має бути визначено, виходячи з умови нормалізації $g(X) = 1$ і з урахуванням виключної точки $\lambda = 0$.

Результати розрахунків за цими інтегралами відрізняються один від одного незначно. Унаслідок використання операцій максимуму і мінімуму, інтеграл Сугено має певну нечутливість результату до змін функції належності. Утім ця нечутливість є корисною – вона моделює природну байдужість результуючої оцінки до незначних змін вхідних даних, тобто природні пороги в системах. Крім того, техніка розрахунку інтеграла Сугено дозволяє з множини часткових категорій визначити ті, які вплинули на результуючу оцінку, тобто використання інтеграла Сугено дозволяє надати додаткову інформацію для прийняття рішення (далі ця властивість буде обговорена більш детально). Тому далі буде використано саме інтеграл Сугено.

λ -параметр визначає модальність нечіткої міри, тобто відношення змісту висловлення (що модельовано мірою) до дійсності. Наприклад, якщо $\lambda > 0$, нечітка міра є суперадитивною мірою довіри. Якщо $\lambda \gg 0$, нечітка міра є мірою необхідності. Якщо $-1 < \lambda < 0$, нечітка міра є субадитивною мірою або мірою правдоподібності. Якщо $\lambda = -1$, нечітка міра є мірою можливості. Якщо $\lambda = 0$, нечітка міра є мірою ймовірності. Як довів Д. Поспелов [15], нечітка міра є параметричним розширенням міри ймовірності. Тому найбільш розповсюджений метод агрегування – середньозважене – є лише частковим випадком нечіткого інтеграла. Інший частковий випадок – максимін – наближений до умови $\lambda = -1$.

Головною корисною відмінністю нечіткого інтеграла (і Сугено, і Шоке) є залежність властивостей результату від λ -параметра нечіткої міри Сугено. Нечітка міра Сугено $g(\cdot)$ є неадитивною функцією множини $g(\cdot): 2^X \rightarrow [0,1]$, де 2^X – множина усіх підмножин універсальної множини X .

З цього слідує, що нечіткий інтеграл є більш гнучким інструментом для оцінювання якості БКМПП-методом, ніж інші. Зокрема, змінюючи λ -параметр нечіткої міри, можна змінювати логіку оцінювання якості. Наприклад, якщо побудувати нечітку міру важливості категорій з $\lambda = -1$ (нечітка міра можливості), то результуюча оцінка буде максимальною у випадку, коли оцінка хоча б однієї часткової категорії буде максимальною. Таку логіку можна умовно назвати “логікою меншості”. Навпаки, якщо $\lambda \rightarrow \infty$ (нечітка міра необхідності), то результуюча оцінка буде максимальною лише у тому випадку, коли оцінки усіх часткових категорій будуть максимальними. Таку логіку можна умовно назвати “логікою більшості”.

Отже, перевага у використанні нечіткого інтеграла Сугено полягає у забезпеченні гнучкості процедурі агрегування часткових категорій. Ця гнучкість є необхідною, оскільки в різних фрагментах ієрархії категорій може потребуватись різна логіка агрегування.

Модель оцінювання якості. Результати оборонних проектів за природою можуть бути найрізноманітнішими. Тому єдиної моделі для оцінювання їх якості бути не може. Виходячи

з цього, далі розглянута концептуальна математична основа, на якій мають будуватись моделі для оцінювання якості, а після цього – приклад моделі оцінювання якості.

Як слідує з описаної вище схеми оцінювання за допомогою БКМПП, модель оцінювання якості (рис. 1) складається з ієрархічно підпорядкованих категорій двох типів: категорій, які визначаються через інші категорії, і категорій, які визначаються кожна на своїй універсальній множині. Перший тип категорій назвемо складеними, другий тип – простими. Кожна категорія (окрім тієї, через яку не визначається жодна інша категорія) може розглядатись у кількох контекстах, які описуються тими категоріями, яким підпорядкована категорія, що розглядається. Контекст є важливою властивістю будь-якої частини складної системи. Він визначає погляд або точку зору на цю частину. Співвідношення та єдність категорії і контексту приблизно теж саме, що й об'єкта і предмета дослідження. Тобто, в рамках кожної категорії може існувати кілька оцінок якості, які відповідають контекстам розгляду цієї категорії.

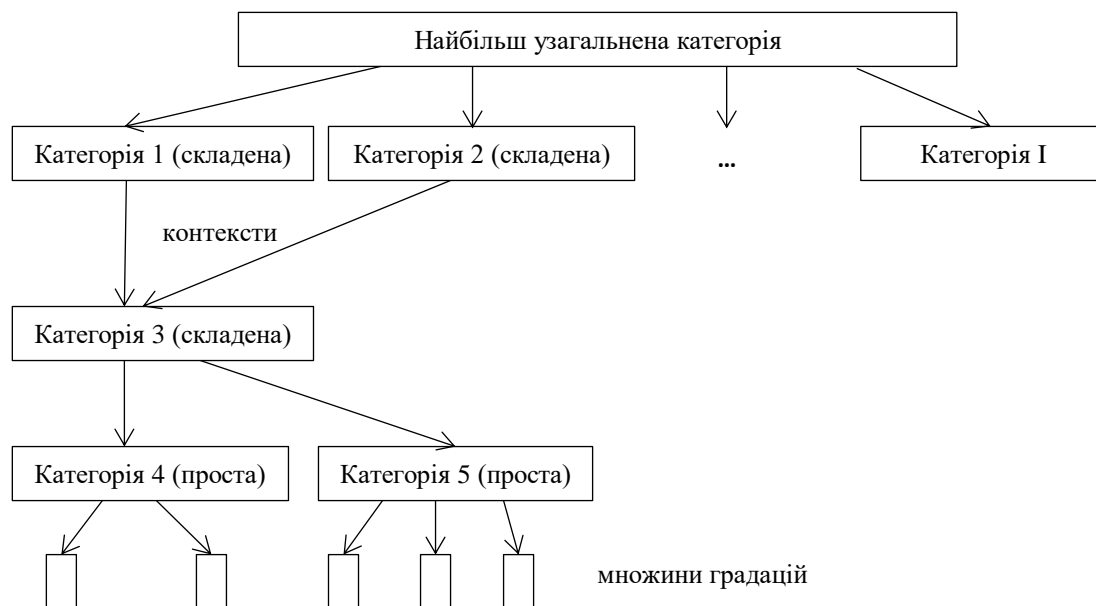


Рис. 1. Узагальнена модель оцінювання якості

Процедура застосування моделі полягає у послідовному обчисленні часткових оцінок якості за усіма контекстами: спочатку в простих категоріях, потім – в складених. Обчислення в складеній категорії відбувається за умови наявності оцінок якості в усіх підпорядкованих за ієрархією категоріях. Обчислення закінчується, коли отримана оцінка в категорії, яка позначає узагальнену

оцінку якості результату оборонного проекту, тобто в тій категорії, через яку не визначається жодна інша категорія. Цей принцип обчислення притаманний для усіх процедур обчислення ієрархій, наприклад Сааті [11].

Для обчислення оцінки якості в будь-якій категорії (складеній або простій)

виконується розрахунок нечіткого інтеграла Сугено

$$q_{ij} = (s) \int_{X_i} h(x) \circ g_A^j(\cdot),$$

де $g_A^j(\cdot)$ – нечітка міра, яка описує важливість підпорядкованих $x \in X_i$ категорій (для складених категорій) або градацій (для простих категорій) в j -му контексті;

$h(x)$ – функція належності, яка описує часткові оцінки якості;

q_{ij} – оцінка якості в i -ї категорії, в j -му контексті.

Нечітка міра $g_A^j(\cdot)$ формалізує поняття контексту розгляду і може бути побудована за допомогою різних процедур [16]. Функція належності $h(x)$ формалізує поточні часткові оцінки якості та для різних типів категорій якості формується по-різному. Для складених категорій функція належності формується з оцінок якості, які обчислені в підпорядкованих категоріях та в контексті, який відповідає категорії, що розглядається. Для простих категорій функція належності формалізує часткові оцінки якості отриманого результату проекту, які вимірюються під час приймання (аналізу) результату. У такому разі функція належності може бути побудована

також різними методами. Результат інтегрування може бути інтерпретований як нечітке очікуване значення (Fuzzy Expected Value) якості, сформоване на основі значень часткових категорій з врахуванням їх важливості.

Для побудови функцій належності пропонується використати підхід, заснований на функції Харрінгтона [17]. Ця функція встановлює відповідність між натуральними значеннями показників у фізичних шкалах і психофізичними параметрами – суб’єктивними оцінками цінностей цих значень. Вона вперше була застосована в задачах контролю якості масових продуктів, де було необхідно порівняти об’єкти за сукупністю різновимірюваних показників.

Припустимо, що оцінювання якості в частковій категорії здійснюється кількома експертами. Позначимо множину експертів як $F = \{f_m, m = \overline{1, M}\}$, де M – кількість експертів. Відповідно до роботи [18], шкала і процедура оцінювання якості призначені для визначення кожним експертом значень $\varepsilon(e_\beta | f_m)$ часткових категорій $e_\beta \in E$, де E – множина категорій. На рис. 2 побудовано шкалу оцінювання на основі функції “бажаності” Харрінгтона.

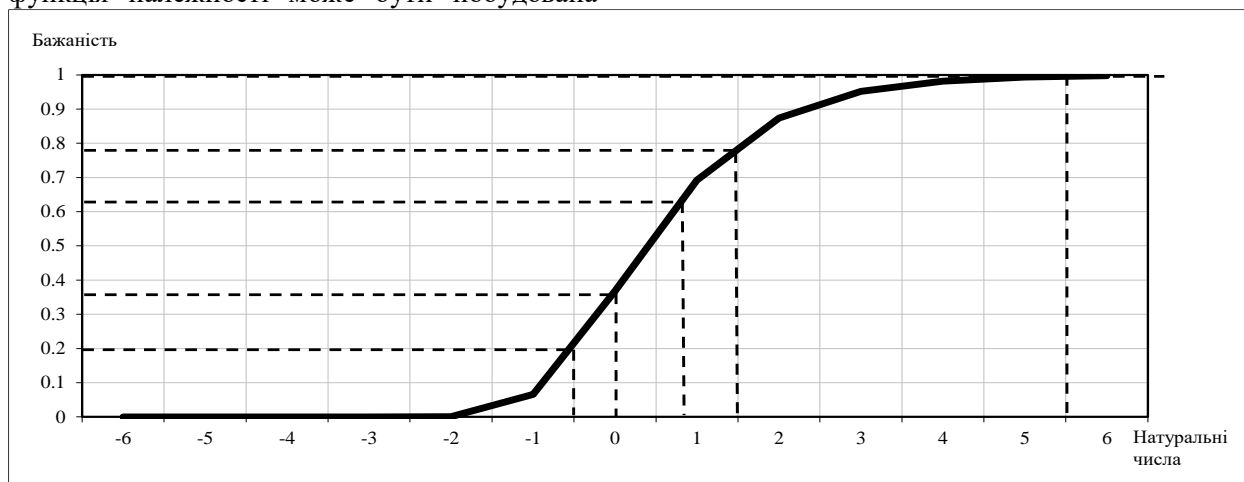


Рис. 2. Функція “бажаності” Харрінгтона

Область значень цієї функції розділена на п’ять інтервалів, які мають лінгвістичні значення, які наведено в Табл. 1.

Таблиця 1

Шкала оцінки за Харрінгтоном

№ з/п	Лінгвістична оцінка характеристичного значення	Інтервали функції Харрінгтона $H_k = \{h_k, k = \overline{1, 5}\}$
1	Кращий	0.8 – 1
2	Добрий	0.63 – 0.79
3	Задовільний	0.37 – 0.62
4	Поганий	0.2 – 0.36
5	Дуже поганий	0 – 0.19

Процедура отримання оцінки полягає у такому, – щоб отримати оцінку $\varepsilon(e_\beta|f_m)$, експерт f_m має вивчити проектну документацію і обрати з Табл. 1 лінгвістичне значення k , яке найкращим чином відповідає його думці. Потім експерт має обрати чисельну оцінку $\varepsilon(e_\beta|f_m) \in h_k$ з відповідного інтервалу. Ця двоетапна процедура дозволяє збільшити точність відображення думок експертів в числових оцінках і, за рахунок

цього, також збільшити точність вимірювання оцінок в простих категоріях.

Приклад алгоритму розрахунку якості.
На рис. 3 наведено лише невеликий фрагмент моделі оцінювання якості результату умовного спрощеного проекту, наприклад розробки зенітного ракетного комплексу (ЗРК). Цей фрагмент доводить складність і розмір робіт та розрахунків, які потрібні для оцінювання якості. Розглянемо алгоритм розрахунку узагальненої якості на цьому прикладі.

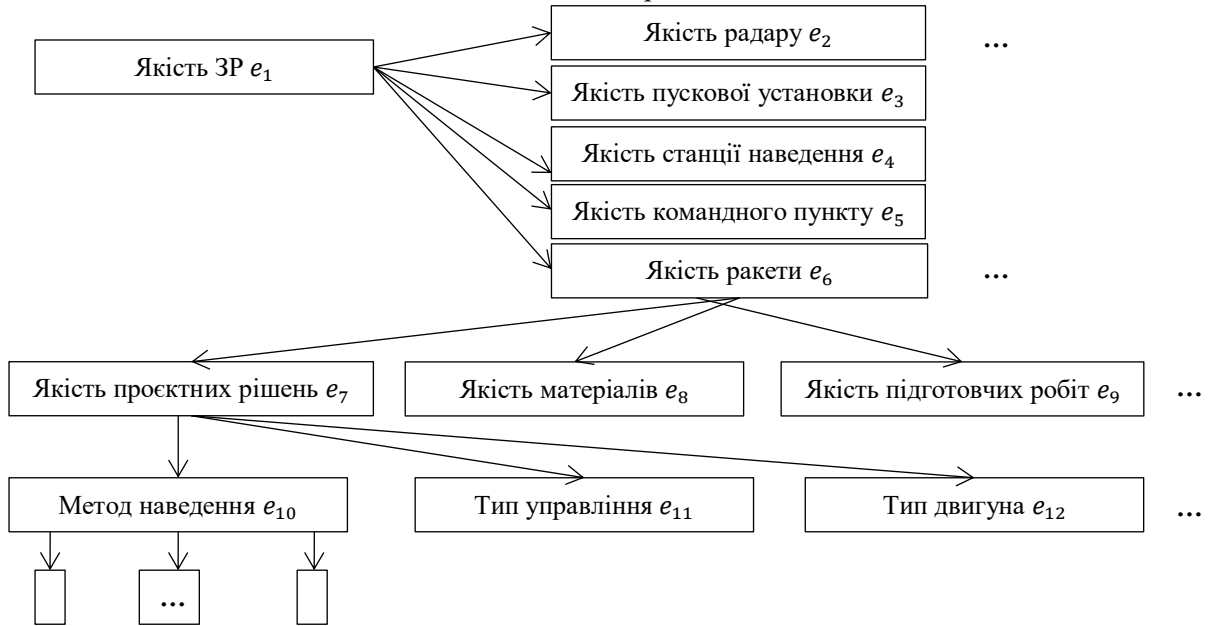


Рис. 3. Фрагмент моделі для оцінювання якості ЗРК

Крок 1. Агрегування оцінок кількох експертів з врахуванням їх компетентності.
Припустимо, що всі експерти зробили свої оцінки в усіх простих категоріях, в цьому випадку – у категоріях e_{10}, e_{11}, e_{12} . Експерти мають різний рівень кваліфікації, який априорно може бути описаний нечіткою мірою компетентності експертів $f_m \in F, m = \overline{1, M}$ у вигляді $g_F(\cdot): 2^F \rightarrow [0,1]$.

Тоді нечіткий інтеграл Сугено від функції належності $\varepsilon(e_{10}|f_m)$ по нечіткій мірі $g_F(\cdot)$ буде розраховувати оцінку якості в категорії e_{10} :

$$w(e_{10}) = (s) \int_F \varepsilon(e_{10}|f_m) \circ g_F(\cdot).$$

Аналогічно розраховуються оцінки в категоріях e_{11}, e_{12} .

Крок 2. Розрахунок оцінки якості в категорії e_7 .

Позначимо множину часткових категорій $C_1 = \{e_{10}, e_{11}, e_{12}\}$, їх важливість як нечітку міру $g_{C_1}(\cdot): 2^{C_1} \rightarrow [0,1]$, а оцінки в часткових категоріях як функцію належності

$w_{C_1}(e_i): \{w(e_{10}), w(e_{11}), w(e_{12})\} \rightarrow [0,1]$. Тоді нечіткий інтеграл Сугено від функції належності, що описує часткові оцінки якості, по нечіткій мірі важливості часткових категорій розраховуватиме більш узагальнену оцінку якості в категорії e_7 :

$$w(e_7) = (s) \int_{C_1} w_{C_1}(e_i) \circ g_{C_1}(\cdot).$$

Аналогічно розраховуються оцінки в категоріях e_8, e_9 .

Крок 3. Розрахунок оцінки якості в категорії e_6 .

Позначимо множину часткових категорій $C_2 = \{e_7, e_8, e_9\}$, їх важливість як нечітку міру $g_{C_2}(\cdot): 2^{C_2} \rightarrow [0,1]$, а оцінки в часткових категоріях як функцію належності $w_{C_2}(e_i): \{w(e_7), w(e_8), w(e_9)\} \rightarrow [0,1]$. Тоді нечіткий інтеграл Сугено від функції належності, що описує часткові оцінки якості, по нечіткій мірі важливості часткових категорій розраховуватиме більш узагальнену оцінку якості в категорії e_6 :

$$w(e_6) = (s) \int_{C_2} w_{C_2}(e_i) \circ g_{C_2}(\cdot).$$

Аналогічно розраховуються оцінки в категоріях e_2, e_3, e_4, e_5, e_6 .

Крок 4. Розрахунок узагальноної оцінки якості в категорії e_1 .

Позначимо множину часткових категорій $C_3 = \{e_2, e_3, e_4, e_5, e_6\}$, їх важливість як нечітку міру $g_{C_3}(\cdot): 2^{C_3} \rightarrow [0,1]$, а оцінки в часткових категоріях як функцію належності $w_{C_3}(e_i): \{w(e_2), w(e_3), w(e_4), w(e_5), w(e_6)\} \rightarrow [0,1]$. Тоді нечіткий інтеграл Сугено від функції належності, що описує часткові оцінки якості, по нечіткій мірі важливості часткових категорій розраховуватиме більш узагальнену оцінку якості в категорії e_1 :

$$w(e_1) = (s) \int_{C_3} w_{C_3}(e_i) \circ g_{C_3}(\cdot). \quad (2)$$

Зазначимо, що зв'язки між категоріями моделі мають визначатись на етапі планування проєкту. Вхідні дані у вигляді функцій належності для простих категорій визначаються на етапі виконання в контрольних точках проєкту. Джерелами даних для оцінювання є проєктна документація, оцінки експертів, які здійснюють нагляд, і сертифікати якості матеріалів та процедур.

Ризики якості. У вимірюванні ризиків якості проєкту, який представлено ієрархічною моделлю, мають місце два головних питання. Перше питання – як розуміти ризики якості простих категоріях, де якість вимірюється безпосередньо? Друге питання – яким чином ризик якості проєкту у цілому (узагальнена якість) залежить від ризику якості в кожній простій категорії? Це

$$R_i = \varepsilon(e_i^S) \pm \Delta\varepsilon(e_i^S), \Delta\varepsilon(e_i^S) \geq 0, R_i = 0 \forall (e_i^S) - \Delta\varepsilon(e_i^S) < 0, R_i = 1 \forall (e_i^S) + \Delta\varepsilon(e_i^S) > 1.$$

Вирішення другого питання. Тут можливо два підходи, які залежать від вибору логіки узагальнення часткових ризиків.

Відповідно до *першого підходу*, логіка узагальнення часткових ризиків якості (ризиків в простих категоріях) є аналогічною

$$R^{generalized} = F(\varepsilon(e_1^S), \dots, \varepsilon(e_{I^S}^S)) - F(\varepsilon(e_1^S) \pm \Delta\varepsilon(e_1^S), \dots, \varepsilon(e_{I^S}^S) \pm \Delta\varepsilon(e_{I^S}^S)), \\ \varepsilon(e_i^S) + \Delta\varepsilon(e_i^S) \leq 1, \varepsilon(e_i^S) - \Delta\varepsilon(e_i^S) \geq 0,$$

де $\Delta\varepsilon(e_i^S)$ – зміна оцінки якості в простій категорії (реалізація ризику);

F – той же функціонал, що й в (3).

Тоді узагальнений ризик якості проєкту $R^{generalized}$ трактується як нечітке очікуване значення ризику узагальноної якості.

Другий підхід передбачає, що логіка узагальнення часткових ризиків якості

питання виникає аналогічним чином для якості в будь-якій складеній категорії. Вирішення цього питання дозволить пов'язати ризик узагальноної якості з ризиками якості в простих категоріях.

Вирішення першого питання.

Зауважимо, що оцінки якості в простих категоріях визначаються за допомогою експертизи, а в складених категоріях – за допомогою нечітко-інтегрального узагальнення відповідно до ієрархічної структури моделі. Якщо позначити множину простих категорій моделі як $C^S = \{e_i^S\}, i = \overline{1, I^S}$ (де I^S – кількість простих категорій), то алгоритмічну залежність узагальноної оцінки якості $w(e_1)$ від оцінок якості в кожній простій категорії можна описати функціоналом

$$w(e_1) = F(\varepsilon(e_1^S), \dots, \varepsilon(e_{I^S}^S)). \quad (3)$$

Для узагальноної оцінки якості результату проєкту множина C^S є універсальною множиною міркувань або областю визначення, а сама узагальнена оцінка змінюється на інтервалі $[0,1]$: 0 відповідає найгіршій якості, 1 – найкращій якості. У нашому випадку функціонал F описує алгоритм розрахунку $w(e_1)$ в ієрархічній моделі оцінювання узагальноної якості.

Відповідно до стандарту ISO-31000:2009 [19], ризик – це “вплив невизначеності на цілі”, що робить можливим вимірювати ризик як відхилення від цілей. Іншими словами, якщо за ціль прийняти поточну оцінку якості, то ризик якості в простій категорії може вимірюватись як відхилення

логіці узагальнення часткових оцінок якості в ієрархії моделі якості. Тому, виходячи від визначення ризику, для розрахунку узагальноного ризику якості можна використати вираз (3) таким чином:

відрізняється від логіки узагальнення якості. Таке припущення може мати місце, враховуючи, що складені категорії в моделі є результатом міркувань експерта-розробника моделі якості і оцінки в цих категоріях отримуються не як результат безпосереднього вимірювання.

У цьому випадку є можливими такі міркування. Будь-яке поєднання (комплексування) змін оцінок якості в простих категоріях (часткових ризиків) викликати ме відхилення узагальненої оцінки якості. Зауважимо, що зменшення $\varepsilon(e_i^S)$ викликати ме зменшення R та навпаки, оскільки нечітка міра Сугено є функцією, що не зменшується. Ця властивість R повністю узгоджується з

$$R = \{R_i\}, i = \overline{1, I^S}, R_i = w(e_1) - w'(e_1), w'(e_1) = w(e_1) \forall \varepsilon(e_i^S) = 0,$$

а важливості часткових ризиків – нечіткою мірою $g_R(\cdot)$. Тоді нечіткий інтеграл

$$R^{generalized} = (s) \int_R R(e_i) \circ g_R(\cdot)$$

визначати ме узагальнений ризик проекту безпосередньо в залежності від часткових ризиків. Нечітка міра $g_R(\cdot)$ визначати ме логіку узагальнення. Якщо узагальнена якість розуміється як така, що не може бути вище за мінімальну якість серед усіх складових, то функціонал міра $g_R(\cdot)$ має бути мірою необхідності або довіри (див. далі). Можливі також інші модальності нечіткої міри.

Крім того, оцінки R_i можуть бути впорядковані за зменшенням i , після вибору порогу відсікання, вся множина R може бути розділена на дві частини: найбільш актуальні ризику і менш актуальні ризику. Це надає додаткові дані для рішень щодо забезпечення протидії ризикам якості.

Обговорення. Розглянемо кілька додаткових питань, що торкаються особливостей зроблених нами пропозицій.

Питання про використання нечіткого інтеграла Сугено для узагальнення часткових категорій.

Як було зазначено, логіка узагальнення часткових категорій за допомогою нечіткого інтеграла Сугено залежить від λ -параметра нечіткої міри важливості. Розглянемо верхній рівень категорій в ієрархії (див. рис. 3). Розрахуємо узагальнену оцінку якості $w(e_1)$ за допомогою виразу, аналогічного виразу (2),

міжнародним визначенням ризику [19]. За таким розумінням невизначеність також може призводити до позитивних результатів, якщо збіг факторів невизначеності мати ме позитивний прояв.

У цьому випадку множину часткових ризиків якості за кожною категорією можна позначити такою множиною:

для трьох значень λ -параметра нечіткої міри $g_{C_3}(\cdot)$:

значення $\lambda = -1$ відповідає нечіткій мірі правдоподібності $g_{C_3}(\cdot)_{\lambda=-1}$ і логіці меншості під час узагальнення часткових категорій якості (для забезпечення максимальної оцінки якості достатньо максимальної оцінки хоча б однієї з часткових категорій);

значення $\lambda = 0$ відповідає мірі ймовірності $g_{C_3}(\cdot)_{\lambda=0}$ і логіці середньозваженого під час узагальнення часткових категорій якості;

значення $\lambda \approx 10$ відповідає нечіткій мірі довіри $g_{C_3}(\cdot)_{\lambda \approx 10}$ і логіці більшості під час узагальнення часткових категорій якості (для забезпечення максимальної оцінки якості необхідно, щоб усі оцінки часткових категорій були максимальними).

У Табл. 2 наведено оцінки якості в часткових і в узагальненій категоріях для різних значень λ -параметра нечіткої міри $g_{C_3}(\cdot)$. При цьому, нечітка міра $g_{C_3}(\cdot)_{\lambda=-1}$ була визначена довільно, а нечіткі міри $g_{C_3}(\cdot)_{\lambda=0}$ і $g_{C_3}(\cdot)_{\lambda \approx 10}$ були визначені на основі міри $g_{C_3}(\cdot)_{\lambda=-1}$ зі збереженням пропорцій між її щільностями.

Таблиця 2

Залежність результату інтегрування від λ -параметра нечіткої міри

Показник	Значення показника					
	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	$w(e_1)$
Часткові категорії						
Оцінки якості в часткових категоріях	0.538	0.556	0.361	0.455	0.761	
$g_{C_3}(\cdot)_{\lambda=-1}$	0.376	0.5	0.29	0.667	0.667	0,667
$g_{C_3}(\cdot)_{\lambda=0}$	0.109	0.143	0.085	0.188	0.188	0,521
$g_{C_3}(\cdot)_{\lambda \approx 10}$	0.025	0.039	0.017	0.062	0.062	0,428

Як показують розрахунки, використання логіки меншості забезпечує вибір

максимальної оцінки якості з усіх часткових оцінок. Ця логіка формалізує максимальну

байдужість до оцінок в інших часткових категоріях. Використання логіки більшості формалізує навпаки, максимальну уважність. Стосовно ризиків якості можна зауважити, що логіка меншості формалізує максимальний апетит до ризиків, оскільки узагальнена оцінка буде чутливою лише до змін простих категорій, пов'язаних з категорією, яка має максимальну оцінку. Тобто інші ризики якості не матимуть впливу. Логіка більшості навпаки, формалізує мінімальний апетит до ризиків, оскільки зміна узагальненої оцінки буде можливою лише за умови зміни оцінок в усіх простих категоріях.

Середньозважене дає проміжний результат, але цей метод має два добре відомі недоліки. *По-перше*, це збільшення нечутливості узагальненої оцінки у випадку великої кількості часткових категорій, коли більшість оцінок нівелює навіть значні зміни однієї оцінки. На практиці ця властивість починає проявлятися вже при 5-6 часткових категоріях, що наочно доведено в роботі [20]. Реальні задачі оцінки якості на практиці можуть значно перевищувати ці значення. *І по-друге*, це значне ускладнення процедури агрегування, якщо категорії на одному рівні ієрархії залежать один від одного. Як випливає з роботи Саати [11], врахування кореляційних зв'язків категорій є дуже трудомісткою процедурою.

Таким чином, використання нечітких мір з різними модальностями і збереженням

переваг між частковими категоріям забезпечує процес прийняття рішень додатковими даними. Крім того, у разі зміни апатиту до ризику, достатньо змінити параметр нормування нечіткої міри, яка описує важливості часткових категорій, не перебудовуючи структуру переваг.

Питання про формування рекомендацій для підвищення якості результатів оборонного проекту і зниження ризиків.

Особа, яка приймає рішення, не завжди обмежується бінарною оцінкою якості результатів: придатний чи непридатний. На практиці часто трапляється так, що оцінка якості менше встановленого порогу, але не набагато, а відмова від проекту буде більш шкідливою, ніж його доопрацювання. В таких випадках доцільно виробити рекомендації щодо підвищення якості та/або зменшення її ризиків.

У нашому випадку, вироблення рекомендацій передбачає визначення таких простих категорій, підвищення якості в яких призведе до максимального підвищення узагальненої оцінки якості у цілому. Для вирішення цієї задачі ми можемо використати властивість процедури розрахунку інтеграла Сугено, яке слідує з виразу (1). Якщо впорядкувати функцію належності $h(x)$ по зменшенню, то техніка розрахунку нечіткого інтеграла Сугено може бути проілюстрована, як показано на рис. 4.

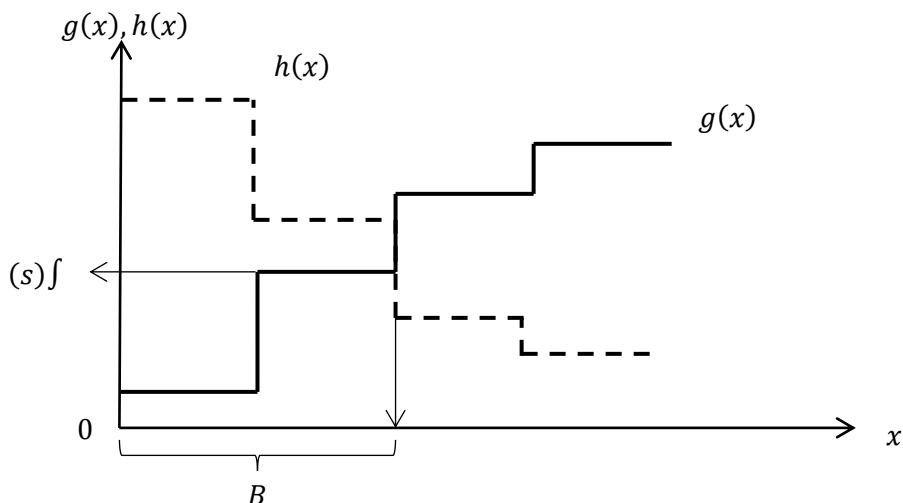


Рис. 4. Техніка розрахунку нечіткого інтеграла Сугено

Як видно з рис. 4, результат інтегрування враховує виключно категорії з підмножини $x'_i \in B$, які відсікаються точкою перетину убиваючої функції належності та зростаючої нечіткої міри. Тобто, можна зазначити, що лише ці категорії вплинули на

результат інтегрування. Зміна цих категорій забезпечить зміну узагальненої оцінки якості. Тому, якщо виявлення категорій $x'_i \in B$ почати з верхнього рівня ієрархії і продовжити, спускаючись вниз ієрархії, то в результаті ми зможемо визначити перелік

простих категорій, які вплинули на узагальнену оцінку якості. Ці категорії можна назвати “критичними” категоріями якості проєкту, які потрібно покращити, щоб збільшити узагальнену оцінку якості.

Висновки. У статті запропоновано методичний підхід до оцінювання якості результатів (у тому числі часткових) оборонних проєктів, який полягає у поєднанні нечітко-інтегрального числення і відомих багатокритеріальних методів прийняття рішень. Відповідно до цього, якість результату оборонного проєкту представляється як ієрархічна сукупність якісних категорій, де зв'язки між категоріями описано нечіткими мірами Сугено, вхідні дані щодо часткових оцінок якості описано нечіткими функціями належності, а узагальнення часткових оцінок здійснюється нечітким інтегралом Сугено від функції належності по нечіткій мірі. На відміну від інших математичних конструкцій, нечіткий інтеграл Сугено дозволяє моделювати природний поріг реагування результуючої оцінки до незначних змін вхідних даних, а техніка його розрахунку дозволяє з множини часткових категорій визначити ті, які вплинули на результуючу оцінку, тобто надати більше інформації для прийняття рішень. Крім того, нечіткий інтеграл Сугено є більш гнучким інструментом для оцінювання якості БКМІР-методом, оскільки він може бути налагоджений на різні логіки узагальнення часткових результатів, що є необхідним в різних фрагментах ієрархічної моделі якості. Також запропоновано підхід до визначення ризиків якості, який є невід'ємною частиною підходу до оцінювання якості. Ризик визначається як відхилення реальної якості від очікуваною і розглядається як результат дії факторів невизначеності. Підхід також передбачає врахування можливості позитивних ефектів замість ризику, якщо фактори невизначеності матимуть позитивний прояв, що повністю відповідає міжнародному визначенню ризиків. Запропоновано оцінювати ризики за допомогою комплексного ризику якості і часткових ризиків.

Можливим **напрямом подальших досліджень** є опис якості результатів проєктних процедур нечіткими числовими величинами.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації з управління проєктами / Міністерство оборони України. 2019. 50 с. URL: <http://surl.li/eiupre> (дата звернення: 01.12.2023).
2. A literature review on ISO 9001 standard / Lushi I. et al. // European Journal of Business, Economics and Accountancy. 2016. Т. 4, №. 2. С. 81–85. URL: <http://surl.li/ehngro> (дата звернення: 01.12.2023).
3. A conceptual framework for the OECD health care quality indicators project / Arah O. et al. // International Journal for Quality in Health Care. 2006. Т. 18., №. suppl_1. С. 5–13.
4. Gulc A. Models and methods of measuring the quality of logistic service // Procedia Engineering. 2017. Т. 182. С. 255–264.
5. Bauer H. H., Hammerschmidt M., Falk T. Measuring the quality of e-banking portals // International journal of bank marketing. 2005.
6. Swaid S. I., Wigand R. T. Measuring the quality of e-service: Scale development and initial validation // Journal of Electronic Commerce Research. 2009. Т. 10. №. 1. С. 13–28.
7. Tsaur S. H., Chang T. Y., Yen C. H. The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM // Tourism management. 2002. Т. 23, №. 2. С. 107–115.
8. The evaluation of hospital service quality by fuzzy MCDM / Akdag H. et al. // Applied Soft Computing. 2014. Т. 23. С. 239–248.
9. Modification of the water quality index (WQI) process for simple calculation using the multi-criteria decision-making (MCDM) method: a review / Akhtar N. et al. // Water. 2021. Т. 13, №. 7. С. 905.
10. Conceptual framework for potential implementations of multi criteria decision making (MCDM) methods for design quality assessment / Harputlugil T. et al. 2011.
11. Saaty T. L. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat. 102, (2008) 251–318. URL: <https://cutt.ly/AXeD53j> (дата звернення: 02.12.2023).
12. Svshnikov S., Bocharnikov V. Computational Algorithm and Tools of Fuzzy Arithmetic Based on the Principle of Maximum Entropy. 2022. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1254409/v1> (дата звернення: 02.12.2023).
13. Sugeno M. Fuzzy Measure and Fuzzy Integral // Transaction of the Society of Instrument and Control Engineers. 1972. Vol. 8. P. 95–102.
14. Choquet G. Theory of capacities // Annales de l'Institut Fourier. 1953. № 5. P. 131–295.
15. Fuzzy Sets in Management and Artificial Intelligence Models / D. A. Pospelov (edt). Moscow : Nauka, 1986. 396 p.
16. Бочарніков В. П., Свешніков С. В., Тимошенко Р. І., Павленко В. І. Технологія аналізу воєнно-політичної обстановки. Київ : НУОУ імені Івана Черняхівського, 2017. 397 с.
17. Harrington E.C. The Desirability Function // Industrial Quality Control. 1965. P. 494–498.

18. Bilal M. Ayyub, George J. Klir. Uncertainty Modeling and Analysis in Engineering and the Sciences. Published by Chapman & Hall/CRC, 2006. 368 p. URL: <http://surl.li/eiuqe> (дата звернення: 03.12.2023).
19. Purdy G. ISO 31000: 2009—setting a new standard for risk management // Risk Analysis: An International Journal. 2010. 30 (6). P. 881–886. URL: <https://cutt.ly/B1dxjoR> (дата звернення: 03.12.2023).
20. Sveshnikov S., Vocharnikov V., Pavlikovsky A. Prima A. Estimating the potential willingness of the state to use military force based on the Sugeno fuzzy integral, Yugoslav Journal of Operations Research, Vol. 32, No 3, 2022. Режим доступу: <http://surl.li/eiuqm> (дата звернення: 04.12.2023).

Стаття надійшла до редакційної колегії 21.12.2023

Assessment of the quality and risks of the implementation of defense projects based on fuzzy integral calculus

Annotation

Recently, the Ministry of Defence of Ukraine has been focusing on the implementation of defence projects to implement defence reform, which allows for more efficient use of budget funds in the face of insufficient funding. According to the 2019 Project Management Guidelines, one of the main tasks of project management is to ensure the high quality of the final result of defence projects.

The purpose of the article is to develop a methodology and algorithm for assessing the quality of defence projects under conditions of uncertainty, as well as quality risks.

The quality of a defence project result is an integrated, complex, multi-component category that cannot be directly assessed. Therefore, the quality category needs to be decomposed into partial categories, which may themselves need to be decomposed, and so on, to the level where the most detailed categories are defined by indivisible, universally understood categories that can be easily measured using elementary scales.

The article proposes a methodological approach to assessing the quality of results (including partial results) of defence projects, which is a combination of fuzzy-integral calculus and well-known multi-criteria decision-making methods. Accordingly, the quality of a defence project result is represented as a hierarchical set of quality categories, where the relationships between the categories are described by fuzzy Sugeno measures, the input data for partial quality assessments are described by fuzzy membership functions, and the generalisation of partial assessments is carried out by the fuzzy Sugeno integral of the membership function on the fuzzy measure.

The fuzzy Sugeno integral is a flexible tool for assessing project quality, as it can be configured to use different logics for summarising partial results. Risk is defined as the deviation of the actual quality from the expected quality and is considered as a result of uncertainty factors.

Keywords: quality; quality risk; defence project; hierarchical model; fuzzy measure; fuzzy integral; membership function.