

УДК 330.46:658.012

DOI: 10.31732/2663-2209-2024-73-188-194

РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКУ В ДІЯЛЬНОСТІ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

Олександр Кузьменко¹, Леонід Віткін²

¹Аспірант кафедри управлінських технологій, ВНЗ «Університет економіки та права «КРОК», м. Київ, Україна, e-mail: aleksandr.kuzmenko.1273@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4451-6753>

²Д.т.н., професор кафедри управлінських технологій, ВНЗ «Університет економіки та права, м. Київ, Україна, e-mail: lmvitkin@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0731-1333>

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL BASED ON FUZZY LOGIC FOR RISK ESTIMATION IN THE ACTIVITY OF A TESTING LABORATORY

Oleksandr Kuzmenko¹, Leonid Vitkin²

¹Postgraduate student, “KROK” University, Kyiv, Ukraine, e-mail: aleksandr.kuzmenko.1273@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6753>

²Doctor of sciences (Engineering), professor of management technologies department, “KROK” University, Kyiv, Ukraine, e-mail: lmvitkin@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0731-1333>

Анотація. В статті розглядається проблема оцінки ризиків в діяльності випробувальної лабораторії для прийняття управлінських рішень. Зазначено, що існуючі моделі управління діяльністю випробувальних лабораторій та методи аналізу ризику обмежують достовірність визначення ризику за рахунок неврахування лінгвістичної складової невизначеності та дозволяють оцінити вплив лише стохастичної складової невизначеності інформації. Метою дослідження є удосконалення механізму прийняття управлінських рішень на основі аналізу ризиків із застосуванням нечіткої логіки у випробувальній лабораторії. Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі: провести аналіз існуючих наукових і методичних підходів для прийняття управлінських рішень у випробувальній лабораторії; розробити математичну модель для визначення ризику в діяльності випробувальної лабораторії з використанням математичного апарату нечіткої логіки. Теорія нечіткої логіки коротко описана як метод, що дозволяє підвищити достовірність аналізу ризиків через врахування лінгвістичних факторів. Зазначено, що достовірність аналізу ризиків для своєчасного прийняття управлінських рішень, спрямованих на обмеження впливу негативних факторів на діяльність випробувальних лабораторій, може бути підвищена за рахунок використання нечітких моделей. Враховуючи доведену здатність нечітких моделей до опису лінгвістичної складової невизначеності, використання нечітких моделей призведе до підвищення достовірності результатів аналізу ризику. Запропоновано математичну модель для визначення ризику в діяльності випробувальної лабораторії з використанням математичного апарату нечіткої логіки. Подальші дослідження будуть спрямовані на експериментальне підтвердження достовірності запропонованої моделі.

Ключові слова: випробувальна лабораторія, стандарт, методи управління, ризик-менеджмент, невизначеність, математична модель, лінгвістична складова невизначеності, нечітка логіка, нечіткі множини, достовірність аналізу

Формул: 6; рис.: 1, табл.: 0, бібл.: 10

Abstract. The article discusses the issue of risk assessment in the operations of a testing laboratory for making management decisions. It is highlighted that existing models of managing testing laboratory activities and risk analysis methods limit the accuracy of risk determination due to the lack of consideration for the linguistic component of uncertainty, and only allow for the assessment of the stochastic component of information uncertainty. The purpose of the study is to improve the decision-making mechanism based on risk analysis through the application of fuzzy logic in the testing laboratory. To achieve this objective, the following tasks are set: to analyze existing scientific and methodological approaches for making management decisions in a testing laboratory; to develop a mathematical model for risk determination in the operations of a testing laboratory using the mathematical apparatus of fuzzy logic. The theory of fuzzy logic is briefly described as a method that enhances the reliability of risk analysis by accounting for linguistic factors. It is noted that the reliability of risk analysis for timely management decisions, aimed at limiting the impact of negative factors on the operations of testing laboratories, can be increased through the use of fuzzy models. Considering the proven ability of fuzzy models to describe the linguistic component of uncertainty, the use of fuzzy models will lead to improved reliability of risk analysis results. A mathematical model for risk determination in the operations of a testing laboratory using the mathematical apparatus of fuzzy logic is proposed. Further research will be directed towards experimental verification of the proposed model's reliability.

Keywords: testing laboratory, standard, management methods, risk management, uncertainty, mathematical model, linguistic component of uncertainty, fuzzy logic, fuzzy sets, reliability of analysis

Formulas: 6; *fig.:* 1, *tab.:* 0, *bibl.:* 10

Постановка проблеми. Сучасні методи управління якістю випробувальних лабораторій базуються на реалізації процесу управління ризиком. Це обумовлено можливістю прийняття управлінських рішень з мінімізацією втрат на основі аналізу ризиків та наявністю загальних вимог до компетентності, неупередженості та стійкого функціонування лабораторій, які визначені в стандарті ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 [1]. Лабораторії, які відповідають цьому стандарту, також діятимуть у цілому відповідно до принципів ДСТУ EN ISO 9001:2018 [2], згідно з яким використовується принцип «Плануй – Виконуй – Перевірай – Дій» та ризик-орієнтоване мислення, засноване на оцінці ризиків.

До випробувальних лабораторій згідно з [1] висувається нова вимога – запровадження ризик-менеджменту. Метою ризик-менеджменту є захист цінності будь-якої організації, в тому числі і випробувальних лабораторій. Сучасні методи визначення ризику для управління діяльністю випробувальних лабораторій базуються на моделях процесу управління ризиком, які встановлені в стандартах ДСТУ ISO 31000:2018 [3] та ДСТУ IEC/ISO 31010:2013 [4]. Застосування рекомендацій стандартів [3] та [4] дозволяє розробити та інтегрувати систему ризик-менеджменту в усі процеси діяльності випробувальної лабораторії. Відповідно до положень стандартів ДСТУ ISO 31000 [2] та ДСТУ ISO Guide 73:2013 [5] ризик – це ефект невизначеності в задачах (цілях). При цьому, під невизначеністю розуміється такий стан, в якому частково або повністю відсутня інформація, що стосується розуміння або знання подій та їх наслідків. Зазначимо, що наслідки подій можуть бути як негативні так і позитивні. Управління як ризиками, так і можливостями створює основу для підвищення ефективності діяльності випробувальної лабораторії. Під час прийняття управлінських рішень ризик

визначається як поєднання ймовірності настання події і можливого позитивного або негативного ефекту від цієї події. В той же час процес управління ризиком передбачає послідовну реалізацію наступних ключових етапів: аналіз предметної галузі, тобто факторів, які впливають на діяльність випробувальної лабораторії, та встановлення переліку ризиків; визначення ймовірності настання події і можливих наслідків цієї події (визначення ризику); оцінювання рівня кожного визначеного ризику (оцінка прийнятності ризику); та реалізацію заходів, що спрямовані на попередження настання негативної події або реалізацію можливостей для розвитку випробувальної лабораторії, моніторинг усієї доступної інформації про фактори, які впливають на її діяльність. Основні ризики, які впливають на діяльність випробувальної лабораторії, пов'язані з: неупередженістю, недостатньою кваліфікацією інженерів-випробувачів, недотриманням термінів проведення випробувань, виходом з ладу випробувального обладнання, використанням некаліброваного обладнання, пошкодженням наданих на випробування виробів при недбалому поводженні та інше.

Існуючі моделі управління діяльністю випробувальних лабораторій та методи аналізу ризику обмежують достовірність визначення ризику за рахунок неврахування лінгвістичної складової невизначеності і дозволяють оцінити вплив лише стохастичної складової невизначеності інформації. Таким чином, моделі управління ризиком, що використовуються для випробувальних лабораторій, не забезпечують в повній мірі достовірність визначення і оцінки ризику, що обмежує можливості для сучасного прийняття управлінських рішень, спрямованих на обмеження впливу негативних факторів на діяльність випробувальних лабораторій або реалізації можливостей для їх розвитку. При цьому,

проведення теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на підвищення достовірності визначення і оцінки ризику для прийняття управлінських рішень в умовах лінгвістичної складової невизначеності інформації на основі використання сучасних інтелектуальних технологій обробки інформації, є актуальною науково-прикладною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На теперішній час стандарт ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019, який регламентує діяльність випробувальних та калібрувальних лабораторій, містить загальні вимоги стосовно застосування процесу управління ризиком без визначення методології його застосування, що обмежують ефективність прийняття управлінських рішень. Попередній аналіз наукових робіт (Gallab M. etc, 2019; Nurutdinova, I.& Dimitrova, L., 2021; Shang, K.& Hossen, Z., 2013) свідчить, що наявні роботи обмежуються вирішенням питань стосовно загальної можливості застосування нечіткої логіки для визначення ризику і, насамперед, обмежуються тільки визначенням значення ризику на підставі нечіткого множення. В той же час, питання розробки методології практичного застосування у діяльності випробувальних лабораторій та підтвердження ефективності застосування моделей, заснованих на математичному апараті нечітких множин залишається відкритим. В роботах дослідників Л. Заде (Zadeh L. A., 1999), Б. Коско (Kosko B., 1994) та інших показано, що використання систем нечіткого логічного висновку дозволяє врахувати вплив лінгвістичної складової невизначеності інформації при моделюванні процесів різноманітної фізичної природи. Тому одним із шляхів підвищення достовірності визначення ризику для прийняття управлінських рішень є удосконалення існуючих методів аналізу і оцінки ризику на основі застосування нечіткого моделювання.

Невизначеність в математичних моделях описується на основі теорії ймовірності. Внаслідок цього

невизначеність будь-якої природи при аналізі ризику вважається стохастичною і характеризується властивостями випадкової величини. В той же час, при реалізації імовірнісного підходу можливе отримання точного опису тільки статистичних оцінок усереднених характеристик випадкового процесу. На практиці це означає отримання достовірних даних після аналізу одного і того ж процесу в одних і тих же умовах. При цьому, лінгвістична невизначеність характеризує наступні аспекти опису невизначеності при аналізі ризику: неясність або нечіткість меж системи. Під системою в даному випадку розуміється сукупність об'єктів, компонентів або елементів довільної природи, що утворюють об'єкт, що вивчається, або процес. Нечіткість меж системи може бути виражена, наприклад, у використанні дихотомічних ознак «великий – малий», «швидкий – повільний» і т.д.; неповноту модельних уявлень про певну складну систему, особливо у зв'язку з вирішенням слабоформалізованих проблем; суперечливість окремих компонентів модельних уявлень чи вимог, яким повинна відповідати модель складної системи; невизначеність настання тих чи інших подій, що відносяться до можливості перебування системи в тому чи іншому стані в майбутньому.

Лінгвістичній невизначеності притаманні дві особливості – використання суб'єктивних категорій та кількісне відображення ймовірності. Встановлено, що суб'єктивні категорії дозволяють кваліфікувати об'єкти, які характеризуються такими якостями, як висота, вага, температура і т.д., на основі приблизних оцінок. Таким чином, суб'єктивні категорії можуть бути використані для отримання комплексних оцінок і рішень, які ґрунтуються на врахуванні безлічі різноманітних факторів. Одним з перспективних інструментів удосконалення методів аналізу ризиків є теорія нечіткої логіки, яка використовує суб'єктивні категорії при побудові математичних моделей процесів. Математичний апарат теорії нечіткої логіки

дозволяє використовувати для опису процесу досвід і інтуїцію людини – якості людського мислення, які є необхідними для розуміння складних явищ і прийняття адекватних рішень. Нечіткими моделями є моделі динамічних і статистичних систем, які побудовані на теорії нечіткої логіки. Основною метою нечіткого моделювання є апроксимація певної функції, яка описує залежність між входами модельованої системи і її виходами $Y = f(X)$, де Y – вихідна лінгвістична змінна, X – вектор вхідних лінгвістичних змінних і f – залежність між X і Y , яка описується за допомогою нечітких правил продукції. В основі нечітких правил продукції лежить використання правил виду «ЯКЩО–ТО», які описують залежність між нечіткими змінними досліджуваної системи. Модель опису поведінки досліджуваної системи у вигляді приблизних обчислень називають системою нечіткого логічного висновку. Виходячи з наведеного опису теорії нечіткої логіки можна припустити, що достовірність аналізу ризиків для своєчасного прийняття управлінських рішень, спрямованих на обмеження впливу негативних факторів на діяльність випробувальних лабораторій, може бути підвищена за рахунок використання нечітких моделей. Таким чином, існує можливість розроблення системи нечіткого логічного висновку, де вхідні лінгвістичні змінні використовуються для опису джерел ризику (небезпек) та можливих наслідків

настання події, які викликані потенційними небезпеками, а вихідна лінгвістична змінна формує можливі управлінські рішення для зменшення ризику.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є удосконалення механізму прийняття управлінських рішень на основі аналізу ризиків із застосуванням нечіткої логіки у випробувальній лабораторії. Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- провести аналіз існуючих наукових і методичних підходів для прийняття управлінських рішень у випробувальній лабораторії;
- розробити математичну модель для визначення ризику в діяльності випробувальної лабораторії з використанням математичного апарату нечіткої логіки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Введемо поняття індикатора ризику I_i , під яким розуміється показник діяльності випробувальної лабораторії, відхилення якого від заданих критеріїв може свідчити про наявність високого рівня ризику R . При цьому індикатор ризику I_i належить множині I , яка визначається як «джерело ризиків» відповідно до визначення 2.16 стандарту ДСТУ ISO 31000:2018 [3]. Тоді підмножина чисел, яка належить множині чисел «джерело ризиків», може бути визначена наступним чином:

$$I \{I_1, I_2, \dots, I_i\}, \quad (1)$$

де I – множина «джерело ризиків»; I_i – значення i -го індикатора ризику діяльності лабораторії.

При цьому критерії відповідності індикаторів ризику можуть бути визначені на основі вимог системи управління якістю випробувальної лабораторії, вимог стандарту ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 [1] і можуть бути виражені наступним чином: «відповідає встановленим вимогам (ВВ)», «не відповідає встановленим вимогам (НВ)» та «необхідність проведення попереджувальних дій (ПД)». Останній випадок характеризує ситуацію,

коли значення індикатора ризику відповідає встановленим вимогам, але, в той же час, є достатньо високим, що обумовлює необхідність виконання попереджувальних дій для унеможливлення збільшення його значення до рівня НВ.

Нехай відповідність i -го індикатора ризику I_i може бути встановлена на основі одного з трьох вищезазначених критеріїв оцінки: ВВ, НВ та ПД.

Представимо можливі значення випробувальної лабораторії у вигляді величини ризику R у діяльності множини чисел.

$$R \{r_i; r_j; r_k\}, \quad (2)$$

де $\{r_i\}$ – підмножина чисел, які відповідають прийнятному ризику за критерієм ВВ; $\{r_j\}$ – підмножина чисел, які відповідають неприйнятному ризику за критерієм НВ; $\{r_k\}$ – підмножина чисел, які відповідають величина ризику, що вимагає реалізації засобів управління ризиком за критерієм ПД.

Представимо можливий діапазон значень індикатора ризику I_i у вигляді множини Z_i :

$$Z_i = \{X_i; X_j; X_k\}, \quad (3)$$

де $\{X_i\}$ – підмножина вимірних значень I_i індикатора ризику, які відповідають ВВ; $\{X_j\}$ – підмножина вимірних значень I_i індикатора ризику, які відповідають НВ; $\{X_k\}$ – підмножина вимірних значень I_i індикатора ризику, які відповідають ПД.

Тоді для визначення ризику в діяльності випробувальної лабораторії необхідно отримати множину L , яка

містить результат мінімізації значень індикаторів ризику I :

$$L = \min \{I_1\{Z_1\}, I_2\{Z_2\}, \dots, I_i\{Z_i\}\}, \quad (4)$$

де $I_i\{Z_i\}$ – вимірне та задане на просторі однією з трьох визначених терм-множин ВВ, НВ, ПД, які задовольняють встановленим критеріям для i -го індикатора ризику.

При цьому, з урахуванням отриманої множини L , необхідно знайти множину

чисел Q , яка містить значення рівня ризику в діяльності випробувальної лабораторії:

$$Q (L \supset R) = \max \{L; R\} \quad (5)$$

Таким чином, множина Q , яка отримана відповідно до формули (5), містить значення ризику в діяльності випробувальної лабораторії, отримане на основі вимірювання чисельних значень для індикаторів ризику з використанням трьох критеріїв ВВ, НВ, ПД

Для знаходження множини Q згідно з формулою (5) необхідна реалізація нечіткого логічного перетворення. На рис. 1, представлена структурна схема запропонованої нечіткої моделі для визначення ризику діяльності випробувальної лабораторії, яка використовується для реалізації нечіткого логічного перетворення [10].

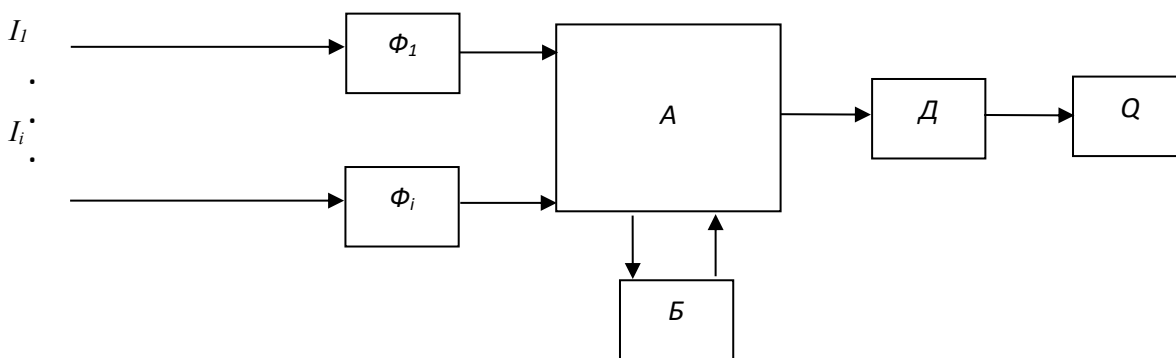


Рис. 1. Структурна схема нечіткої моделі визначення ризику у діяльності випробувальної лабораторії

Джерело: [12]

На рис. 1 використано такі позначення: I_1, I_i – вимірні значення індикаторів ризику; $\Phi_1-\Phi_i$ – фазифікація; A – алгоритм нечіткого висновку; B – база даних нечітких правил продукції; D – дефазифікація; Q – рівень ризику у діяльності випробувальної лабораторії.

У запропонованій моделі (рис.1) отримані значення індикаторів ризику I перетворюються на нечіткий формат за

$$(i): Y; P; A \Rightarrow B; S; F; N \quad (6)$$

де (i) – назва нечіткої продукції; Y – сфера застосування нечіткої продукції; P – умова застосування ядра нечіткої продукції; $A \Rightarrow B$ – ядро нечіткої продукції, в якому: A – умова ядра; B – завершення; \Rightarrow – логічна секвенція; S – метод визначення кількісного значення ступеня дійсності завершення ядра; F – коефіцієнт упевненості завершення; N – пост-умова продукції.

В якості алгоритму нечіткого висновку у запропонованій моделі використовується алгоритм Мамдані, який набув широкого практичного поширення [10].

Результат аналізу вхідних даних формули (5) формується у вигляді нечіткої множини Q . На основі перетворення нечіткої множини Q у чітку, після реалізації процедури дефазифікації, формується величина ризику в діяльності випробувальної лабораторії з використанням вимірних значень індикаторів ризику. При цьому дефазифікація реалізується за допомогою методу центру площини [10].

Таким чином, на основі алгоритму нечіткого логічного висновку отримано математичний опис моделі визначення ризику в діяльності випробувальної лабораторії. У процесі прийняття

допомогою реалізації процедури фазифікації. При цьому встановлюється відповідність між чисельним значенням вхідної змінної та значенням функції належності відповідного терму вхідної лінгвістичної змінної. На основі бази правил нечіткої продукції формули (6) за алгоритмом нечіткого висновку проводиться аналіз вхідних даних.

управлінських рішень в діяльності випробувальної лабораторії використання запропонованої моделі підвищує достовірність ухвалення рішення на основі реалізації процесу управління ризиком, оскільки аналіз інформації щодо діяльності лабораторії виконується з урахуванням невизначеності лінгвістичної природи.

Висновки. Враховуючи доведену здатність нечітких моделей до опису лінгвістичної складової невизначеності, використання нечітких моделей призведе до підвищення достовірності результатів аналізу ризику. Запропоновано математичну модель для визначення ризику в діяльності випробувальної лабораторії з використанням математичного апарату нечіткої логіки. Подальші дослідження будуть спрямовані на експериментальне підтвердженні достовірності запропонованої моделі.

Література:

1. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. Київ, 2020. 24 с. Доступ через <https://uas.gov.ua>.
2. ДСТУ EN ISO 9001:2018 (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю. Вимоги. Київ, 2018. 44 с. Доступ через <https://uas.gov.ua>.
3. ДСТУ ISO 31000:2018 (ISO 31000:2018, IDT) Менеджмент ризиків. Принципи та настанови. Київ, 2019. 19 с. Доступ через <https://uas.gov.ua>.
4. ДСТУ IEC/ISO 31010:2013 (IEC/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. Київ, 2015. 80 с. Доступ через <https://uas.gov.ua>.
5. ДСТУ ISO Guide 73:2013 (ISO Guide 73:2009, IDT) Керування ризиком. Словник термінів. Київ, 2014. 17 с. Доступ через <https://uas.gov.ua>.
6. Maryam Gallab, Hafida Bouloiz, Youssef Lamrani Alaoui, Mohamed Tkiouat (2019). Risk Assessment of Maintenance activities using Fuzzy Logic, *Procedia Computer Science* 148, p. 226-235. [URL: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0).

7. Inna Nurutdinova and Luibov Dimitrova (2021). Risk significance assessment on the basis of a fuzzy model. E3s Web of Conferences 273, 08037 (2021). INTERAGROMASH 2021, 7 p. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127308037>.

8. Editor Kailan Shang & Zakir Hossen (Eds.). (2013). Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making. Casualty Actuarial Society. Canadian Institute of Actuaries. Society of Actuaries, 59 p. URL: <https://>

www.soa.org/493854/globalassets/assets/files/research/projects/research-2013-fuzzy-logic.pdf.

9. Zadeh L. A. (1999). Fuzzy sets as a basic for theory of possibility. and Fuzzy Sets systems, p. 9-34. URL: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(99\)80004-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)80004-9).

10. Kosko B. (1994). Fuzzy systems as universal approximates. IEE Transactions on computers, 11, p. 1329-1333. URL: <https://sipi.usc.edu/~kosko/FuzzyUniversalApprox.pdf>.