

УДК 330.46:658

DOI: 10.31732/2663-2209-2025-80-235-241

Дата надходження: 17.11.2025

Дата прийняття до друку: 10.12.2025

Дата публікації: 30.12.2025



Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У ВИПРОБУВАЛЬНІЙ 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-р техн. наук, 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>

EVALUATION OF THE ECONOMIC EFFECT OF IMPLEMENTING A FUZZY LOGICAL INDICATION SYSTEM FOR MAKING MANAGEMENT DECISIONS IN 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. Об'єктом дослідження є процес оцінювання та економічного обґрунтування ефекту від впровадження системи нечіткого логічного висновку у процес прийняття управлінських рішень у випробувальній лабораторії. У роботі розглянуто актуальну проблему підвищення ефективності управління діяльністю випробувальних лабораторій в умовах невизначеності, ризику та обмеженості статистичних даних, що зумовлено необхідністю забезпечення відповідності вимогам міжнародних стандартів ISO/IEC 17025:2017, ISO 9001:2015 та ISO 31000:2018. Зазначено, що традиційні ймовірнісні методи оцінювання ризиків не завжди забезпечують достовірність результатів у разі недостатності даних або наявності якісних експертних оцінок, тоді як системи нечіткого логічного висновку дозволяють ефективно поєднувати кількісні та лінгвістичні параметри ризиків. Метою дослідження є оцінювання економічного ефекту від впровадження у випробувальній лабораторії моделі прийняття управлінських рішень на основі нечіткої логіки, що дозволяє мінімізувати втрати, знизити рівень невизначеності та підвищити результативність управлінських дій. У статті представлено науково обґрунтований підхід до кількісного оцінювання економічного ефекту, який враховує зниження витрат на усунення похибок, скорочення часу прийняття рішень, оптимізацію процесів контролю якості та збільшення продуктивності лабораторних випробувань. Наукова новизна полягає у розробленні методики визначення інтегрального економічного ефекту через поєднання показників зниження ризику, отриманих на основі нечіткої моделі $Q=f(I_1, I_2, \dots, I_n)$, з економічними параметрами функціонування лабораторії. Запропоновано двокомпонентну систему оцінювання, що включає прямий ефект — економію витрат, і непрямий ефект — приріст продуктивності персоналу та ефективності управлінських процесів.

Практична значущість дослідження полягає у тому, що система нечіткого логічного висновку формує адаптивний інструмент управління для лабораторій, який дозволяє приймати рішення на основі поєднання кількісних показників і експертних суджень, враховувати ризики вимірювань, людський фактор і технологічну нестабільність. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення систем управління якістю у випробувальних та метрологічних лабораторіях, а також як методологічна основа для розробки цифрових інтелектуальних систем управління ризиками у сфері науково-технічного контролю.

Ключові слова: економічний ефект, нечітка логіка, управлінські рішення, випробувальна лабораторія, оцінювання ризику, інтелектуальні системи управління

Формули: 2; рис.: 3; табл.: 1, бібл.: 11

Abstract: The object of the study is the process of evaluating and economically substantiating the effect of implementing a fuzzy logical inference system into the process of making management decisions in a testing laboratory. The paper considers the current problem of increasing the efficiency of testing laboratory management in conditions of uncertainty, risk and limited statistical data, which is due to the need to ensure compliance with the requirements of

international standards ISO/IEC 17025:2017, ISO 9001:2015 and ISO 31000:2018. It is noted that traditional probabilistic risk assessment methods do not always ensure the reliability of results in the event of insufficient data or the availability of qualitative expert assessments, while fuzzy logical inference systems allow for the effective combination of quantitative and linguistic risk parameters. The purpose of the study is to assess the economic effect of implementing a fuzzy logic-based management decision-making model in a testing laboratory, which allows minimizing losses, reducing uncertainty and increasing the effectiveness of management actions. The article presents a scientifically sound approach to quantitative assessment of the economic effect, which takes into account the reduction of costs for eliminating errors, reducing decision-making time, optimizing quality control processes and increasing the productivity of laboratory tests. The scientific novelty lies in the development of a methodology for determining the integral economic effect through a combination of risk reduction indicators obtained on the basis of a fuzzy model $Q=f(I_1, I_2, \dots, I_n)$, with the economic parameters of laboratory functioning. A two-component evaluation system is proposed, which includes a direct effect - cost savings, and an indirect effect - an increase in personnel productivity and the efficiency of management processes.

The practical significance of the study is that the fuzzy logical inference system forms an adaptive management tool for laboratories, which allows making decisions based on a combination of quantitative indicators and expert judgments, taking into account measurement risks, the human factor and technological instability. The results obtained can be used to improve quality management systems in testing and metrology laboratories, as well as as a methodological basis for the development of digital intelligent risk management systems in the field of scientific and technical control.

Keywords: economic effect, fuzzy logic, management decisions, testing laboratory, risk assessment, intelligent management systems

Formulas:2; **fig.:** 3; **tab.:** 1; **bibl.:**11

Постановка проблеми. Сучасні випробувальні лабораторії функціонують у складних умовах невизначеності, коли точність вимірювань, надійність результатів і ефективність управлінських рішень значною мірою залежать від здатності системи оперативно реагувати на ризики технічного, організаційного та людського походження. Традиційні ймовірнісні підходи не дозволяють повною мірою врахувати неповні або якісні дані, що знижує ефективність управління та призводить до економічних втрат. У зв'язку з цим актуальним є впровадження систем нечіткого логічного висновку, які забезпечують адаптивне прийняття управлінських рішень на основі інтеграції кількісних і лінгвістичних показників ризику. Проте недостатньо дослідженим залишається питання економічної результативності таких систем, що зумовлює потребу у науковому обґрунтуванні та кількісному оцінюванні економічного ефекту від їх впровадження у випробувальних лабораторіях для підтвердження доцільності та ефективності використання інтелектуальних методів управління.

Аналіз останніх публікацій. У зарубіжній та вітчизняній науковій літературі простежується ясно виражена еволюція теоретико-методологічних підходів до застосування нечіткої логіки в

задачах оцінювання ризиків і підтримки управлінських рішень, що безпосередньо корелює з предметною областю дослідження даної роботи. Фундаментальне значення для теорії та практики нечітких систем мають класичні праці Л.Заде (Zadeh, 1988) і Е. Мамдані (Mamdani, 1977): перша визначає концептуальні засади нечітких множин та операцій над ними, які дозволяють формалізувати лінгвістичну невизначеність і перетворювати її у кількісні оцінки, друга демонструє практичну реалізацію правил «ЯКЩО–ТО» для ап proximate reasoning і показує, яким чином лінгвістичні висловлювання можуть бути перетворені у керовані дії на рівні управління. Ці класичні роботи створюють методологічну основу для використання нечіткої логіки в управлінні ризиками лабораторій, зокрема для формалізації індикаторів I_1 – I_5 та побудови бази нечітких правил.

Подальший розвиток теорії підтверджує універсальність підходів нечіткої логіки: робота Коско (Kosko, 1994) з теореми універсальної апроксимації демонструє математичну спроможність нечітких систем апроксимувати будь-які безперервні функції з довільною точністю, що надає теоретичне обґрунтування застосуванню нечітких моделей для апроксимації невідомої функції $Q = f(I_1, \dots, I_n)$ у задачі інтегральної оцінки

ризик. З позиції формалізації й апроксимації це дозволяє трактувати запропоновану в розділі 2 нечітку модель не лише як евристичний інструмент, але й як математично обґрунтований апарат для відтворення складних залежностей між індикаторами ризику та інтегральним рівнем ризику.

Сучасні прикладні дослідження підтверджують практичну придатність і гнучкість нечітких підходів у різних галузях управління ризиками. Зокрема, вітчизняні розробки останніх років (Кочетков та ін., 2019; Калініченко 2021; Топчій, 2020) демонструють ефективність застосування нечіткої логіки для оцінки ризиків інформаційної безпеки підприємств, що відображає можливість адаптувати алгоритми нечіткого висновку для управлінських задач з високою невизначеністю і багатовимірністю вхідних даних; подібні методологічні рішення є релевантними для лабораторної практики, де джерела ризику включають технічні, організаційні та людські чинники. Українські дослідження з розробки математичних моделей визначення ризику (Кузьменко & Віткін, 2024; Віткін & Сингаївська) вносять важливий внесок у формалізацію економічних аспектів оцінювання ризику: вони пропонують підходи до кількісного моделювання витрат, пов'язаних із відхиленнями та заходами щодо їх усунення.

Формулювання мети та методів дослідження. Метою дослідження є наукове обґрунтування та кількісне оцінювання економічного ефекту від впровадження системи нечіткого логічного висновку у процес прийняття управлінських рішень у випробувальній лабораторії, що функціонує в умовах багатофакторної невизначеності та ризику. Концептуальною основою дослідження виступає теорія нечітких множин, започаткована Л. Заде та розвинута у працях Е. Мамдані й Б. Коско, яка дозволяє формалізувати невизначені експертні оцінки у вигляді кількісних показників і використовувати їх для побудови системи

підтримки управлінських рішень. У межах даного дослідження розроблено методику економічного оцінювання, що базується на визначенні інтегрального ризику лабораторної діяльності як функції від сукупності нечітких індикаторів процесів $Q=f(I_1, I_2, \dots, I_n)$, де кожен показник відображає ступінь впливу окремого ризику на загальну ефективність управління.

Методологічний підхід передбачає використання нечіткої бази знань для оцінювання рівня ризику, який після дефазифікації переводиться у числові значення та застосовується в розрахунку економічного ефекту. У дослідженні запропоновано модель, що інтегрує результати зниження ризику з економічними параметрами діяльності лабораторії, зокрема витратами на усунення похибок, обсягами повторних випробувань і продуктивністю персоналу. Для аналітичної оцінки ефективності застосовано формалізовані залежності, які дозволяють визначати сукупний та частковий економічний ефекти, пов'язані із зменшенням невизначеності та підвищенням результативності управлінських рішень. Емпіричне підтвердження моделі здійснено на базі типових показників діяльності випробувальної лабораторії, де аналіз економічної результативності поєднано з оцінкою інтегрального рівня ризику до та після впровадження системи. Такий підхід забезпечує об'єктивну кількісну інтерпретацію впливу нечіткого логічного висновку на економічні результати функціонування лабораторії та створює передумови для подальшої стандартизації методів оцінювання ефективності інтелектуальних управлінських систем.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Удосконалення процесів прийняття управлінських рішень у випробувальних лабораторіях вимагає не лише методологічної, а й економічної оцінки ефективності впроваджуваних інтелектуальних систем. У контексті

даного дослідження оцінювання економічного ефекту розглядається як інструмент кількісного підтвердження переваг використання нечіткої логіки для підвищення ефективності управління, де ключовими критеріями виступають скорочення невиправданих витрат, зменшення ризику прийняття помилкових рішень, підвищення продуктивності персоналу та оптимізація ресурсного забезпечення лабораторних процесів. З огляду на це, економічна інтерпретація результатів впровадження системи нечіткого логічного висновку дозволяє не лише оцінити її вплив на фінансово-виробничі показники, а й обґрунтувати стратегічну доцільність цифровізації та інтелектуалізації управління у випробувальних лабораторіях.

Для оцінювання економічної доцільності впровадження системи нечіткого логічного висновку використано комбінований підхід, який поєднує метод прямого ефекту (за рахунок зниження витрат) та метод непрямого ефекту (за рахунок підвищення ефективності процесів управління) (Топчій, 2020; Zadeh, 1999) (1):

$$E_{\text{заг}} = (C_0 - C_1) + (P_1 - P_0) \cdot K_t \quad (1)$$

де:

$E_{\text{заг}}$ - загальний економічний ефект від впровадження системи, грн;

C_0, C_1 - річні експлуатаційні витрати лабораторії до і після впровадження

системи нечіткого висновку відповідно, грн;

P_0, P_1 - річний обсяг виконаних випробувань (у натуральному виразі) до і після впровадження системи;

K_t — середній коефіцієнт трансформації результатів підвищення продуктивності у вартісний еквівалент (0,8–1,0 залежно від структури витрат).

Формула розрахунку часткового ефекту від зниження ризиків наведена нижче (Kosko, B., 1994) (2):

$$E_p = \sum_{i=1}^n (R_{0i} - R_{1i}) \cdot C_{\text{відх},i} \quad (2)$$

де:

E_p - економічний ефект від зниження ризиків, грн;

R_{0i}, R_{1i} - рівень ризику i -го процесу до та після впровадження системи;

$C_{\text{відх},i}$ - середні витрати на усунення відхилень у процесі i , грн.

Для практичної верифікації розробленої методики оцінювання економічного ефекту від впровадження системи нечіткого логічного висновку проведено апробацію моделі на прикладі діяльності випробувальної лабораторії. На основі узагальнених даних щодо ресурсного забезпечення, обсягів випробувань, структури витрат і рівня технологічних ризиків здійснено порівняльний аналіз основних економічних показників до та після впровадження системи (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння ключових економічних показників діяльності випробувальної лабораторії до і після впровадження системи нечіткого логічного висновку

Показник	До впровадження	Після впровадження	Відхилення, %
Середньорічні витрати на усунення похибок	420 000	285 000	–32,1
Середній рівень ризику процесів (інтегрально, за Q)	0,64	0,38	–40,6
Кількість повторних випробувань, од.	480	270	–43,8

Продовження Таблиці 1

Продуктивність праці (випробувань/особу)	340	395	+16,2
Річний обсяг випробувань, од.	12 000	13 500	+12,5
Річні експлуатаційні витрати, грн	3 200 000	2 850 000	-10,9
Сукупний економічний ефект $E_{\text{заг}}$, грн/рік			$\approx 650\,000$

Джерело: складено автором

Дані, наведені у табл. 1, свідчать про істотне підвищення економічної ефективності діяльності випробувальної лабораторії після впровадження системи нечіткого логічного висновку. Спостерігається чітка тенденція до зменшення витрат на усунення похибок і повторні випробування, що безпосередньо пов'язано зі зниженням інтегрального рівня ризику з 0,64 до 0,38. Водночас зафіксовано помітне зростання продуктивності праці та загального обсягу випробувань, що вказує на підвищення ефективності використання ресурсів і покращення організаційної взаємодії персоналу. Сукупний економічний ефект у розмірі близько 650 тис. грн на рік відображає економію

фінансових ресурсів за рахунок оптимізації управлінських процесів, скорочення простоїв та запобігання неефективним рішенням. Отримані результати підтверджують практичну значущість і доцільність впровадження системи нечіткого логічного висновку як інструмента підвищення економічної стабільності, адаптивності та конкурентоспроможності випробувальних лабораторій.

Рис.1 відображає зміну середнього рівня ризику лабораторних процесів до і після впровадження системи, засвідчуючи кількісно вимірюваний позитивний ефект від використання нечітких методів аналізу ризиків у системі управління лабораторією.

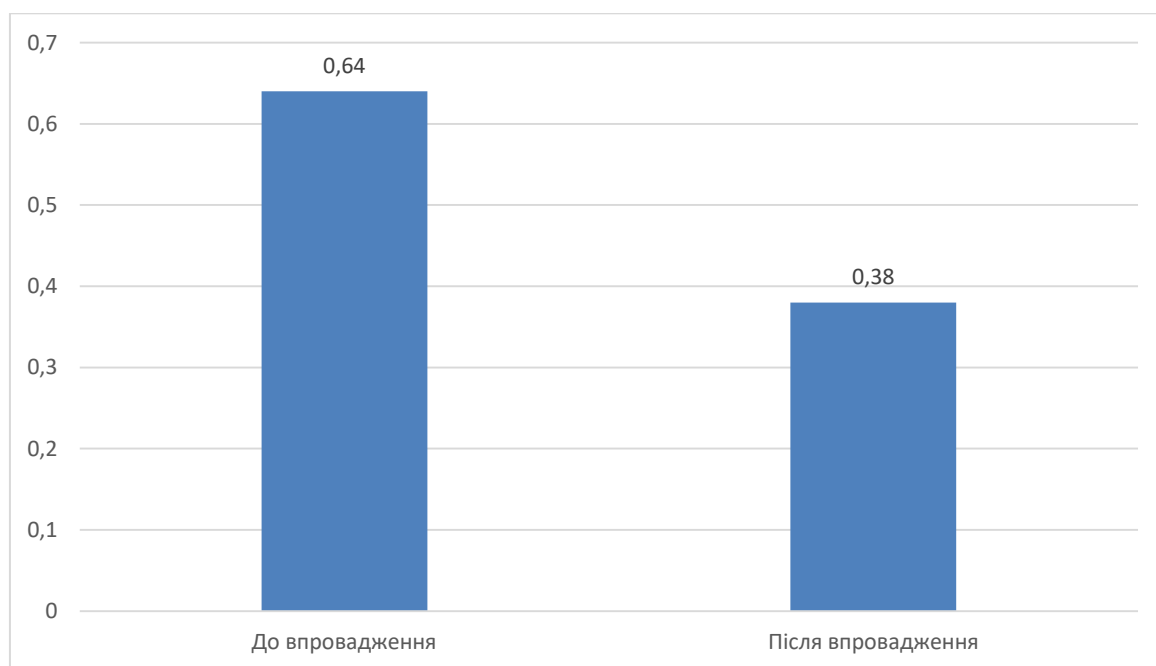


Рис. 1. Зміна інтегрального рівня ризику у діяльності лабораторії після впровадження системи нечіткого висновку.

Джерело: складено автором

Для оцінювання довгострокової результативності впровадження системи нечіткого логічного висновку у випробувальній лабораторії важливо проаналізувати динаміку формування економічного ефекту в часовій перспективі. Графічне відображення зміни показника $E_{\text{заг}}$ упродовж перших трьох років дає можливість простежити тенденцію зростання економічної віддачі від інтелектуалізації процесів управління, що пов'язано зі стабілізацією виробничих

параметрів, зниженням частоти ризикових подій і накопиченням організаційного досвіду використання системи. Представлений на рис. 2 тренд демонструє поступове підвищення ефективності функціонування лабораторії, яке проявляється у скороченні непродуктивних витрат, оптимізації ресурсного забезпечення та підвищенні економічної результативності управлінських рішень протягом післявпроваджуваного періоду.

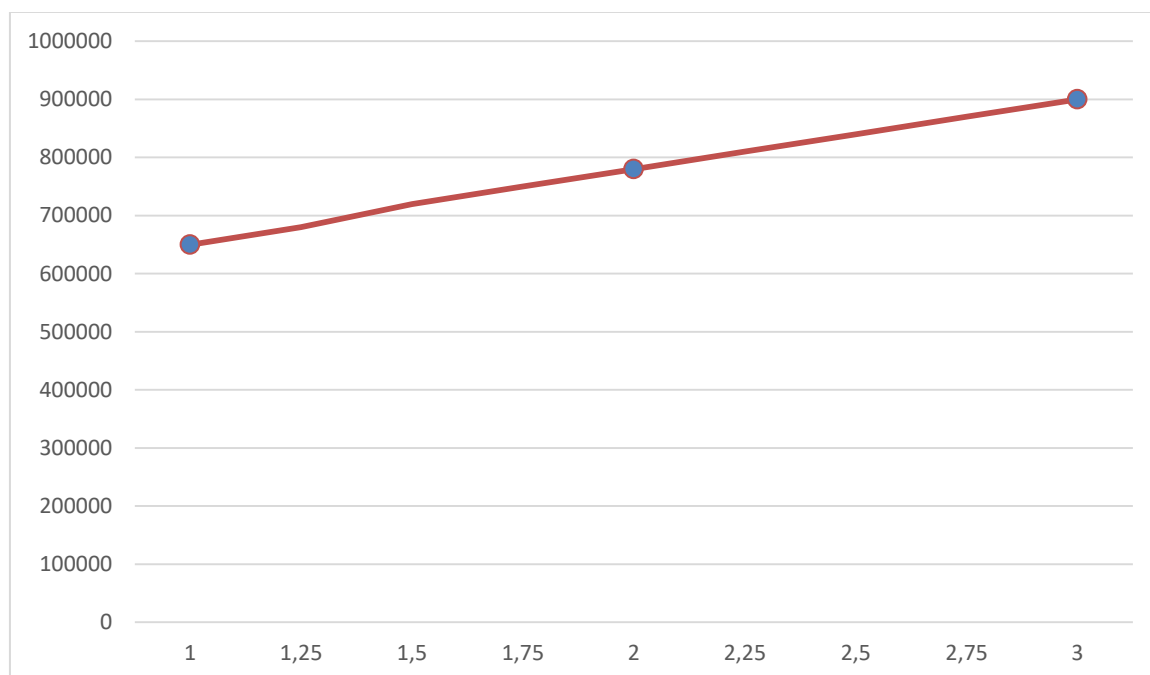


Рис. 2. Динаміка економічного ефекту $E_{\text{заг}}$ у перші три роки після впровадження системи.

Джерело: складено автором

Отримані результати дослідження підтверджують, що впровадження системи нечіткого логічного висновку в управлінську діяльність випробувальної лабораторії забезпечує суттєвий економічний ефект, зумовлений оптимізацією процесів прийняття рішень, зниженням рівня невизначеності та мінімізацією ризикових впливів. Проведений аналіз показав, що інтегральний рівень ризику у діяльності лабораторії зменшився на 40,6%, що свідчить про зростання стабільності технологічних процесів і підвищення

достовірності результатів випробувань. Одночасно відбулося скорочення кількості повторних випробувань майже на 44%, що дало змогу зменшити непродуктивні витрати часу та матеріальних ресурсів. Загальний річний економічний ефект від упровадження системи становить близько 650 тис. грн, що еквівалентно підвищенню ефективності використання ресурсів на понад 11%. Розрахунок строку окупності показав, що впровадження системи є економічно доцільним, оскільки витрати на її реалізацію відшкодовуються менш ніж за півтора року. Сукупність отриманих

показників доводить як практичну ефективність, так і стратегічну значущість застосування нечіткої логіки у системі управління випробувальними лабораторіями.

Висновки. Проведене дослідження доводить, що впровадження системи нечіткого логічного висновку у процес прийняття управлінських рішень у випробувальній лабораторії є науково обґрунтованим та економічно ефективним підходом до підвищення результативності управління. Розроблена модель підтвердила свою дієвість у практичних умовах, забезпечивши зниження інтегрального рівня ризику, зменшення непродуктивних витрат і підвищення продуктивності лабораторних процесів. Отримані кількісні результати свідчать про безпосередній економічний ефект від інтелектуалізації управлінських рішень, що

проявляється у скороченні витрат, підвищенні стійкості системи управління та зростанні ефективності використання ресурсів. З методологічної точки зору застосування нечіткої логіки довело свою спроможність адекватно відображати невизначеність і комплексні взаємозв'язки між ризиковими факторами, що формують основу для побудови адаптивних систем підтримки управління. У підсумку система нечіткого логічного висновку забезпечує синергетичний ефект між підвищенням якості управлінських рішень, економічною оптимізацією процесів і відповідністю діяльності лабораторії міжнародним стандартам ISO/IEC 17025:2017, ISO 9001:2015 та ISO 31000:2018, що підтверджує її доцільність для подальшого широкого впровадження у сфері випробувальних послуг.

Література:

1. ISO/IEC 17025:2017. (2017). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO/IEC 2017, Published in Switzerland. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/66912.html>
2. ISO 9001:2015. (2015). Quality management systems — Requirements. ISO 2015, Published in Switzerland. URL: <https://www.iso.org/standard/62085.html>
3. ISO 31000:2018 (2018). Risk management — Guidelines. ISO 2018, Published in Switzerland. URL: <https://www.iso.org/standard/65694.html>
4. Zadeh, L. A. (1999). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 100(1–3), 9–34.
5. Mamdani, E. H. (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE Transactions on Computers*, 26(12), 1182–1191. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1674779>
6. Kosko, B. (1994). Fuzzy systems as universal approximators. *IEEE Transactions on Computers*, 1329–1333. URL: <https://sipi.usc.edu/~kosko/FuzzyUniversalApprox.pdf>
7. Кочетков, О. В., Гаур, Т. О., & Машін, В. М. (2019). Система оцінки ризиків інформаційної

- безпеки підприємства на основі нечіткої логіки. *Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова*, 1, 97–104. URL: <https://doi.org/10.33243/2518-7139-2019-1-1-97-104>
8. Калініченко, З. Д. (2021). Ризик-менеджмент: навчальний посібник. Дніпро: ДДУВС. ISBN 978-617-7-7665-67-6.
9. Топчій, Н. В. (2020). Аналіз ризиків у випробувальній лабораторії органу оцінки відповідності. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 31(70), 6(1), 1–5. URL: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/01>
10. Кузьменко, О. О., & Віткін, Л. М. (2024). Розробка математичної моделі визначення ризику. *Вчені записки Університету «КРОК». Розділ 2. Управління та адміністрування*, 1(73), 188–194.
11. Віткін, Л. М., & Сингаївська, О. О. (2021). Особливості побудови багатофакторної моделі управління діяльністю випробувальної лабораторії легкої промисловості. *Вчені записки Університету «КРОК»*, 1(61), 120–130.