

УДК 330.46:658

DOI: 10.31732/2663-2209-2025-78-275-285

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ

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, Віткін Леонід Михайлович, ВНЗ «Університет економіки та права, м. Київ, Україна, e-mail: lmvitkin@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0731-1333>

DEVELOPMENT OF A FUZZY LOGICAL INFERENCE SYSTEM FOR MANAGEMENT DECISION MAKING IN TESTING LABORATORIES

Oleksandr Kuzmenko¹, Leonid Vitkin²

¹Postgraduate student, “KROK” University, Kyiv, Ukraine, email: 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: Метою статті є розробка системи нечіткого логічного висновку прийняття управлінських рішень у випробувальних лабораторіях. Відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 система управління ризиками та можливостями має бути елементом системи управління лабораторією. Для оптимізації процесу управління ризиками застосовано експертну систему на основі нечіткого моделювання висновку оцінки величини ризику. У процесі аналізу факторів ризику виявлені показники, які можуть бути визначені як індикатори ризику для випробувальних лабораторій: інтервал калібрування застосованого вимірювального обладнання; результат калібрування застосованого вимірювального обладнання; кількість помилок у протоколах випробування виробів; результат участі в порівняльних випробуваннях; час, який відведено для проведення випробувань виробів. Модель містить базу правил і дозволяє проводити лінгвістичний аналіз ризиків для діяльності випробувальної лабораторії. Розроблена база правил містить 243 нечітких правила. Основне з них: якщо один із ризиків високий, то й загальний результат також характеризується високим рівнем ризику. Реалізація процесу моделювання бази правил відбувається за допомогою застосування спеціалізованого пакета Fuzzy Logic Toolbox програмного засобу MATLAB. Виконання нечіткого висновку реалізується на основі алгоритму Мамдані (Mamdani). Отримано поверхню залежності вихідної лінгвістичної змінної від двох вхідних факторів ризику: інтервал калібрування застосованого вимірювального обладнання та результат калібрування цього вимірювального обладнання. Поверхня чітко демонструє логічну узгодженість та обґрунтованість розробленої системи продукційних правил. Процедура дефазифікації проводилася методом «центру тяжкості», результати для кількох комбінацій вхідних даних представлені в таблиці.

Результати цього процесу моделювання дозволяють визначити необхідність проведення запобіжних заходів або коригуючих дій. Наявність приведеної експертної системи визначення величини ризиків у випробувальних лабораторіях забезпечить постійний моніторинг стану системи управління ризиками. Подальшою перспективою розвитку запропонованої моделі є створення адаптивної нечіткої продукційної моделі, що дозволить при виникненні нових ризиків проводити їх переоцінку.

Ключові слова: оцінка ризиків, експертна система, нечітке моделювання, нечіткий висновок, випробувальна лабораторія.

Формули: 0, рис.: 5, табл.: 2, бібл. 20

Abstract: The purpose of the article is to develop a fuzzy logic inference system for making management decisions in testing laboratories. In accordance with the requirements of DSTU EN ISO/IEC 17025:2019, the risk and capability management system shall be an element of the laboratory management system. To optimize the risk management process, an expert system based on fuzzy modeling of the risk significance assessment output was used. In the process of analyzing risk factors, indicators were identified that can be defined as risk indicators for testing laboratories: calibration interval of the applied measuring equipment; calibration result of the applied measuring equipment; number of errors in product test protocols; result of participation in comparative tests; time allocated for product testing. The model contains rule base and allows for linguistic analysis of risks for the activities of a testing laboratory. The developed rule base contains 243 rules. The main rule: when one of the risks is high, then the result also has a high risk. The implementation of the rule base modeling process is carried out using the specialized Fuzzy Logic Toolbox package of the MATLAB software. The fuzzy inference is implemented based on the Mamdani algorithm.. The resulting surface of the dependence of the

output linguistic variable on two input risk factors: the calibration interval of the applied measuring equipment and the calibration result of this measuring equipment. The surface clearly demonstrates the validity and consistency of the developed system of production rules. The defuzzification procedure was carried out using the "center of gravity" method, the results for several combinations of input data are presented in the table.

The results of this modeling process allow determining the need for preventive measures or corrective actions. The presence of the specified expert system for determining the significance of risks in testing laboratories will ensure constant monitoring of the state of the risk management system. A further perspective for the development of the proposed model is the creation of an adaptive fuzzy production model, which will allow for their reassessment when new risks arise.

Keywords: risk assessment, expert system, fuzzy modeling, fuzzy inference, testing laboratory.

Formulas: 0, fig.: 5, tabl.: 2, bibl.: 20

Постановка проблеми. Останнім часом нечітке моделювання є одним із найбільш перспективних напрямків прикладних досліджень у галузі управління та прийняття рішень. Відомо, що ризик визначається як поєднання ймовірності настання події та важкості можливого збитку, спричиненого цією подією. Оцінка ризику – процес, протягом якого виконується визначення збитків у кількісному або якісному вираженні. 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 (Кузьменко & Віткін, 2024). Сучасні методи управління ризиками для аналізу кожного виду ризику передбачають ймовірність реалізації загрози та збитку від негативних наслідків, але реально оцінити загрози для репутації лабораторії та ступінь отриманого збитку складно. У більшості випадків експерти, спираючись на власний досвід, проводять оцінку у вигляді лінгвістичних оцінок, які потім зв'язуються з числовими значеннями. Відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 система управління ризиками та можливостями має бути елементом системи управління випробувальною лабораторією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До випробувальних лабораторій висувається вимога запровадження процесу управління ризиком, метою якого є захист цінності будь-якої організації. Фахівці визначають управління ризиком як процес впливу на

керований об'єкт, метою якого є пошук можливих шляхів зниження ризику. Основні методи ідентифікації ризиків та моделі управління різними об'єктами чи процесами приведені в роботах Топчія (2020), Посохова (2013), Данченко (2014) та інших. Ці методи аналізу ризику обмежують достовірність визначення ризику за рахунок неврахування лінгвістичної складової невизначеності і дозволяють оцінити вплив лише стохастичної складової невизначеності інформації.

У роботах дослідників Zadeh (1973, 1999), Kosko (1994), Mamdani (1975) 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 (Кузьменко & Віткін, 2024). Попередній аналіз наукових робіт Gallab, Bouloiz, Alaoui & Tkiouat (2019), Shang & Hossen (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. У роботах Хавіной та Цуранова (2014), Кочеткова, Гаур та Машіна (2019) приведені системи оцінки ризиків інформаційної безпеки підприємства на основі нечіткої логіки. У той же час, питання розробки методології

практичного застосування в діяльності випробувальних лабораторій та підтвердження ефективності застосування моделей, заснованих на математичному апараті нечітких множин залишається відкритим (Кузьменко & Віткін, 2024).

Формулювання мети статті. Дана стаття має на меті розробити систему нечіткого логічного висновку прийняття управлінських рішень у випробувальних лабораторіях, яка дозволить суттєво розширити можливості існуючих методів визначення ризиків, збільшити достовірність визначення ризиків та вибрати план заходів щодо зниження рівня найбільш небезпечних загроз.

Виклад основного матеріалу дослідження. У роботі Кузьменка та Віткіна (2024) на основі алгоритму нечіткого логічного висновку отримано математичний опис моделі визначення ризику в діяльності випробувальної лабораторії та введено поняття індикатора ризику I_i , під яким розуміється показник діяльності випробувальної лабораторії, відхилення якого від заданих критеріїв може свідчити про високий рівень ризику. При цьому i -індикатор (фактор) ризику належить множині I , яка визначається як «джерело ризиків» згідно з визначенням 2.16 ДСТУ ISO 31000:2018 (Кузьменко & Віткін, 2024). Тоді підмножина чисел, яка

належить множині чисел «джерело ризиків» може бути визначена наступним чином: $I\{I_1, I_2, \dots, I_i\}$, де I – множина «джерело ризиків», I_i – значення i -го індикатора ризику діяльності лабораторії (Кузьменко & Віткін, 2024). При цьому критерії відповідності індикаторів ризику можуть бути визначені на основі вимог системи управління якістю випробувальної лабораторії та вимог стандарту ДСТУ EN ISO/IEC 17025 (Кузьменко & Віткін, 2024). Як відомо, основними компонентами моделі нечіткого висновку є фазифікатор, нечітка база знань, машина нечіткого висновку та дефазифікатор. Машина нечіткого висновку створює на виході нечітку множину, дефазифікатор генерує відповідне йому чітке значення (Штовба, 2006). На рис.1 показана система нечіткого логічного висновку. Основу нечіткої логіки складає система правил нечіткого висновку «ЯКЩО – ТО». Механізм побудови правил прийняття рішень у конкретній задачі виглядає наступним чином: на основі заданої мети за допомогою механізму спрощення, що дозволяє виділити найбільш суттєві та відкинути другорядні фактори, визначається початковий стан системи, бажаний кінцевий стан та правила дій, що перетворюють систему в бажаний кінцевий стан (Хавіна & Цуранов, 2024).

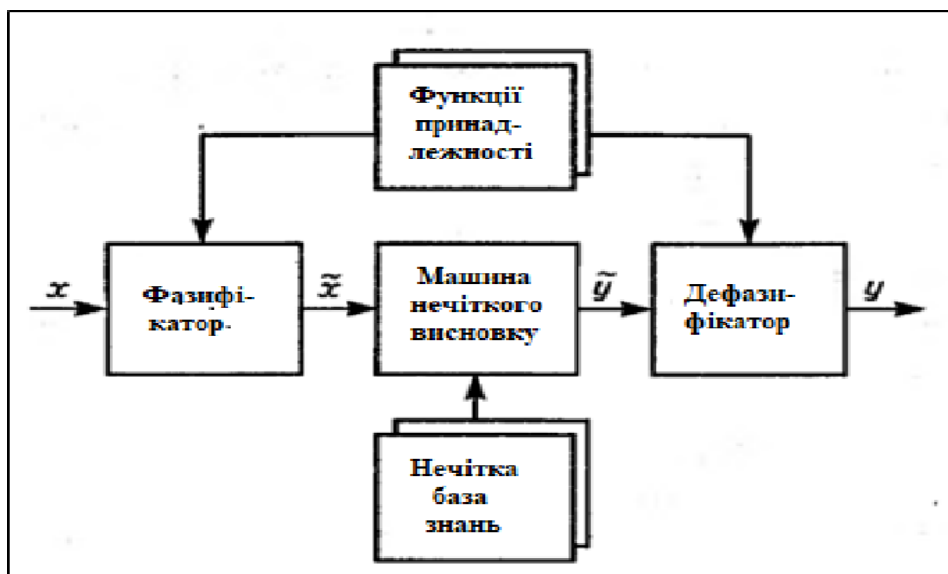


Рис. 1. Система нечіткого логічного висновку

Джерело: Штовба, 2006

У процесі аналізу факторів ризику виявлені показники, які можуть бути визначені як індикатори ризику для випробувальних лабораторій:

- інтервал калібрування застосованого вимірювального обладнання;
- результат калібрування застосованого вимірювального обладнання;
- кількість помилок у протоколах випробування виробів;
- результат участі в порівняльних випробуваннях;
- час, який відведено для проведення випробувань виробів.

Величина ризику є основною характеристикою, яка залежить від ймовірності та тяжкості наслідків реалізації ризику. На основі експертних знань побудовані лінгвістичні

описи ймовірностей та тяжкості наслідків ризику. Для ймовірності ризику була проведена процедура нормалізації, тому що значення ймовірності змінюються від 0 до 1. Для спрощення опису системи нечіткого логічного висновку вважаємо, що тяжкість наслідків ризику дорівнює 1. Загальна схема постановки задачі нечіткого висновку для оцінки величини ризику представлена на рис. 2. При завданні вхідних змінних та вихідної змінної використовуються такі терм-множини, що визначають рівні факторів: низький, середній, високий. Для зручності для функцій приналежності вибрана трикутна форма (рис. 3). Значення для низького, середнього та високого ризиків визначено на підставі експертних оцінок.

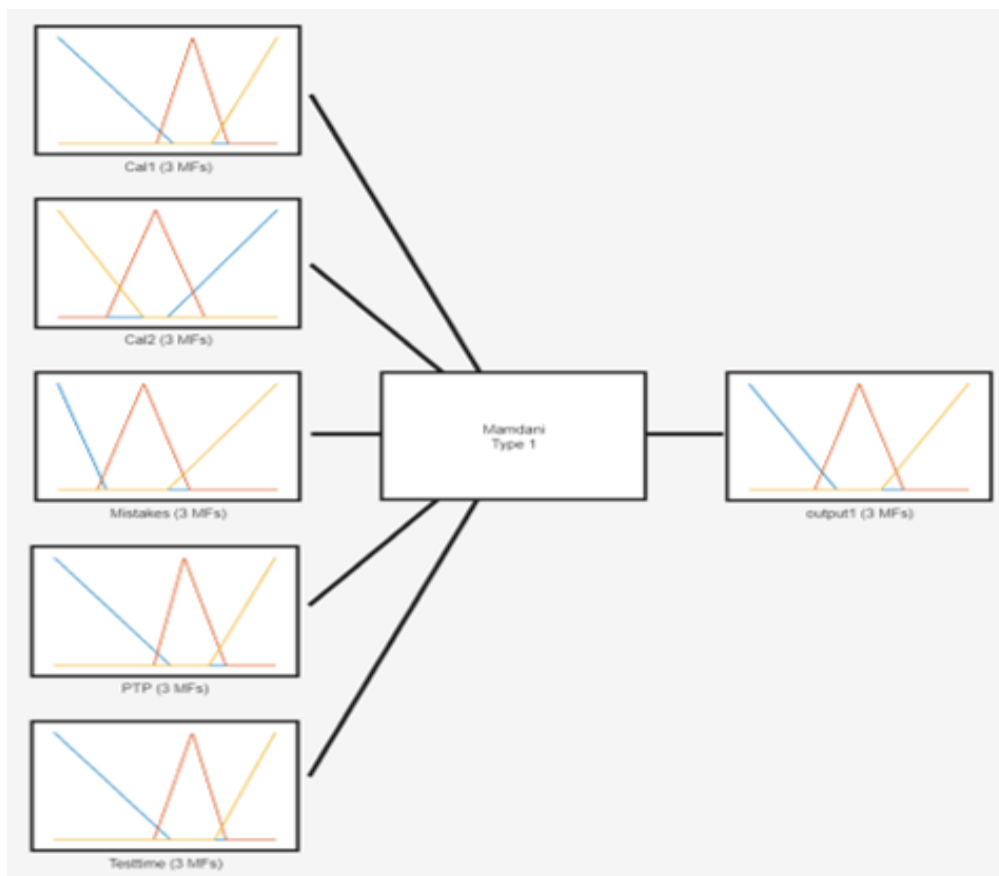
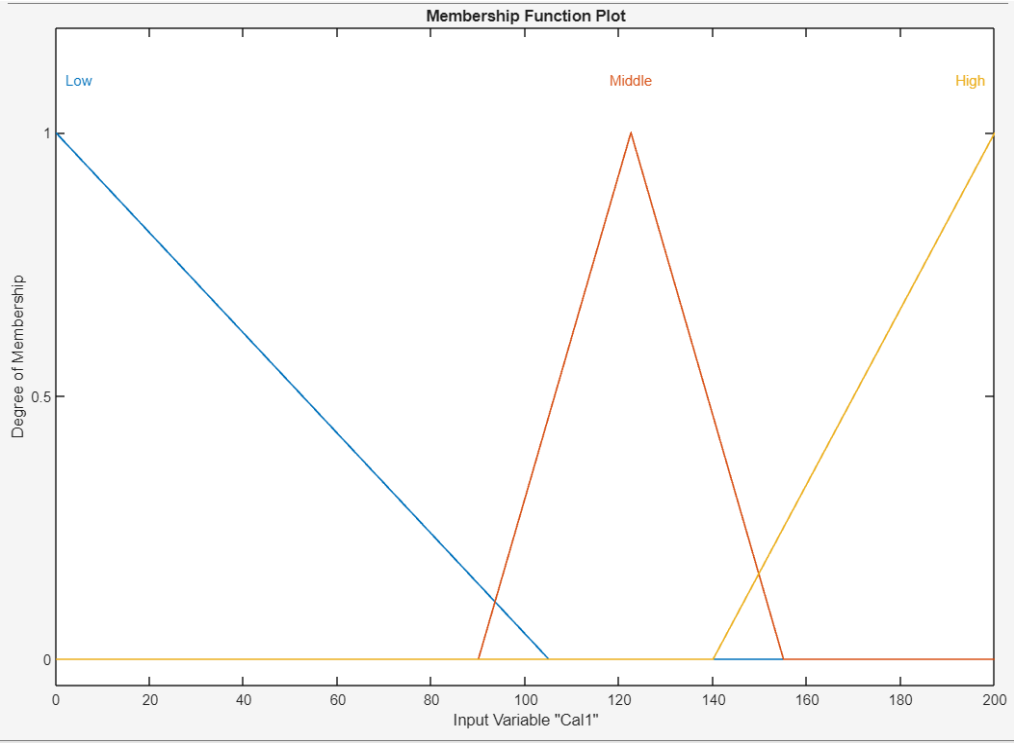
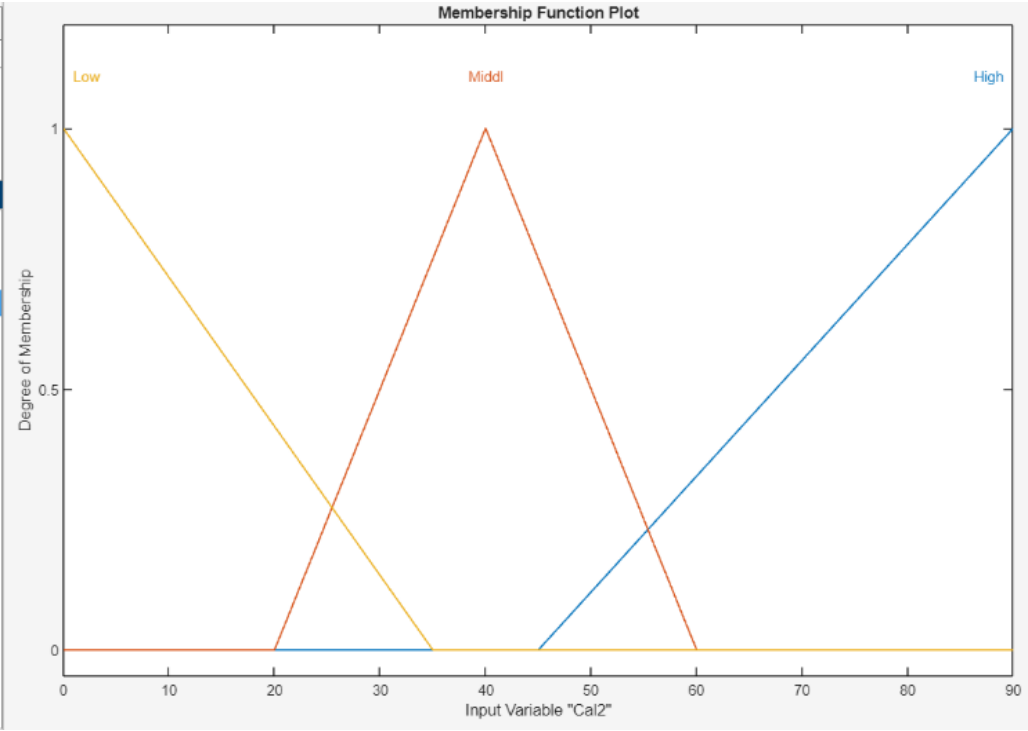


Рис. 2. Загальна схема нечіткого висновку

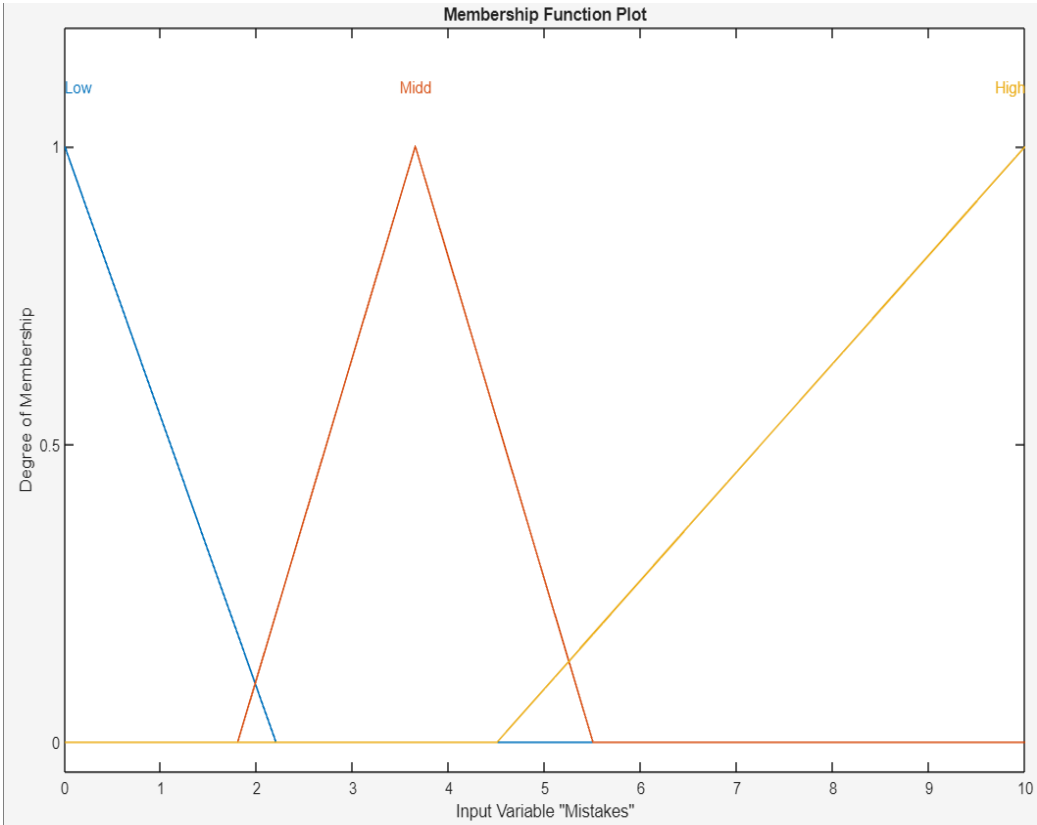
Джерело: отримано авторами



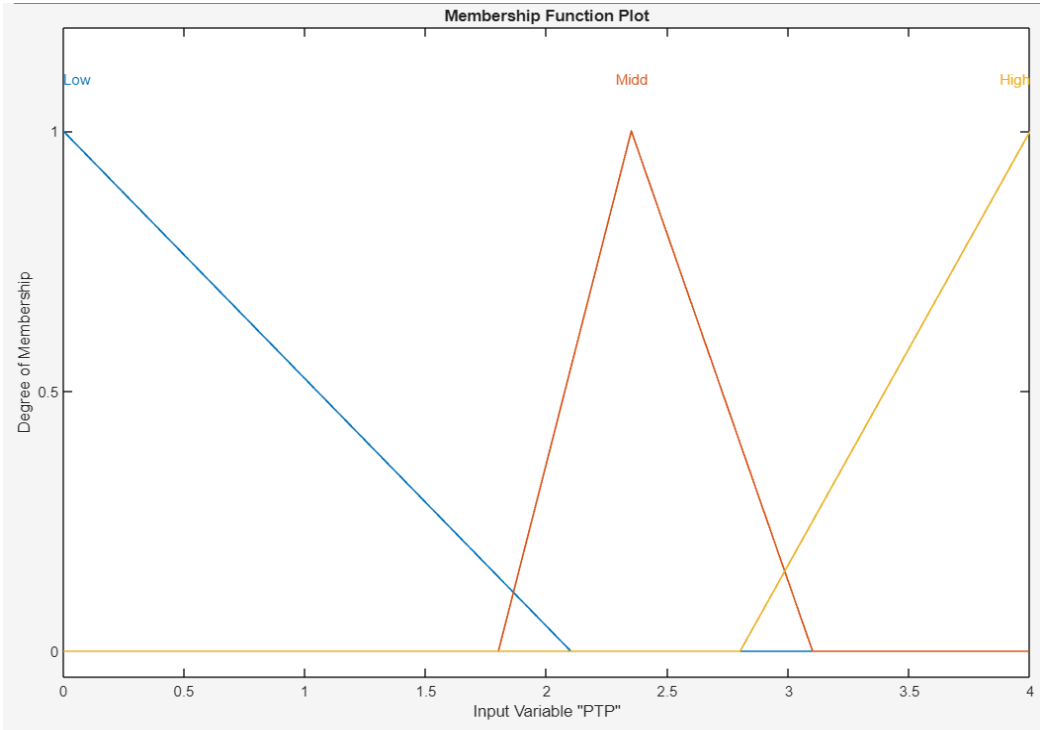
a)



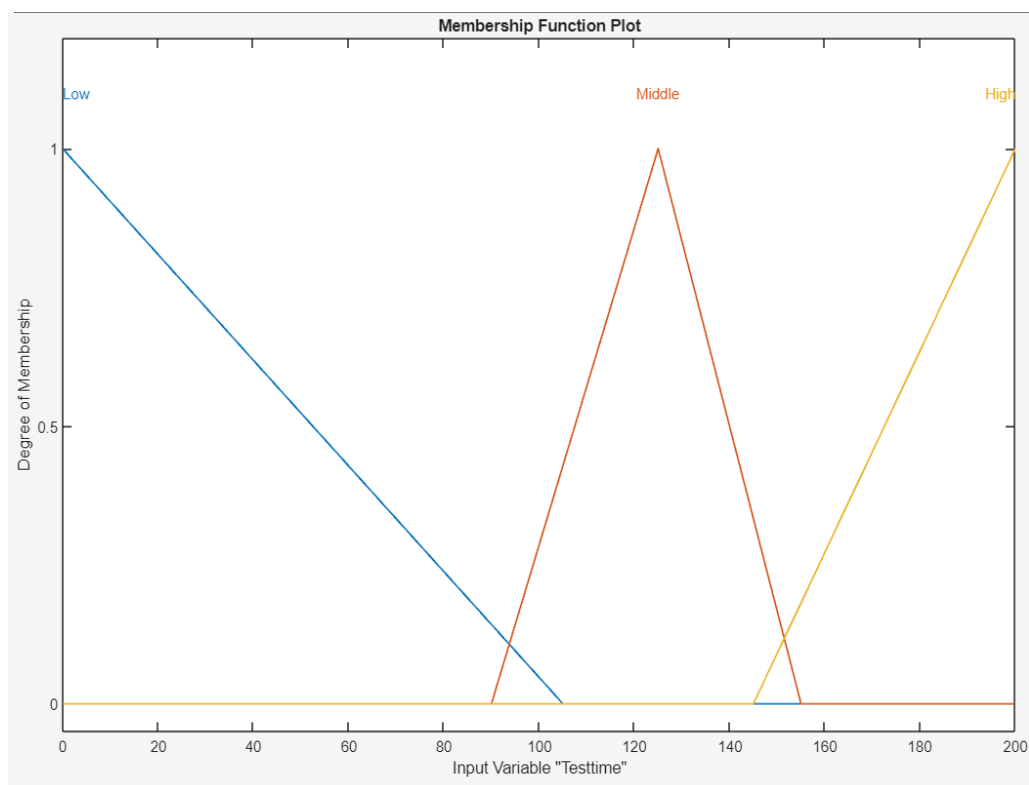
б)



В)



Г)



д)

Рис. 3. Функції приналежності для вхідних змінних:

а – інтервал калібрування застосованого вимірювального обладнання; б – результат калібрування застосованого вимірювального обладнання; в – помилки у протоколі випробування; г – результат участі в порівняльних випробуваннях (Trpathy, Saxena & Gupta, 2013); д - час, який відведено для проведення випробувань виробів.

Джерело: отримано авторами

У результаті аналізу діяльності випробувальної лабораторії створена база правил нечіткої логіки, побудована на основі досвіду проведення робіт відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025. У той самий час існують суттєві відмінності в обробці і характеристиках цих знань. Реалізація процесу нечіткого моделювання бази правил відбувається за допомогою застосування спеціалізованого пакета Fuzzy Logic Toolbox програмного засобу MATLAB (Sivanandum, Sumathi & Deepa, 2007; Paluszek & Thomas, 2020). Як алгоритм нечіткого виведення в запропонованій нами моделі

використовується алгоритм Мамдані, який отримав широке практичне застосування.

Розроблена база правил містить 243 нечітких правила. Основне з них: якщо один із ризиків високий, то й загальний результат також характеризується високим рівнем ризику. Усі правила визначені як рівнозначні з вагою 1. Фрагмент цієї бази правил представлено на рис. 4. Виняток становлять комбінації за калібруванням (інтервал та результат). Для таких випадків було розроблено окремі правила (таблиця 1). Результат комбінації цих ризиків звичайно враховує решту ризиків щодо інших індикаторів.

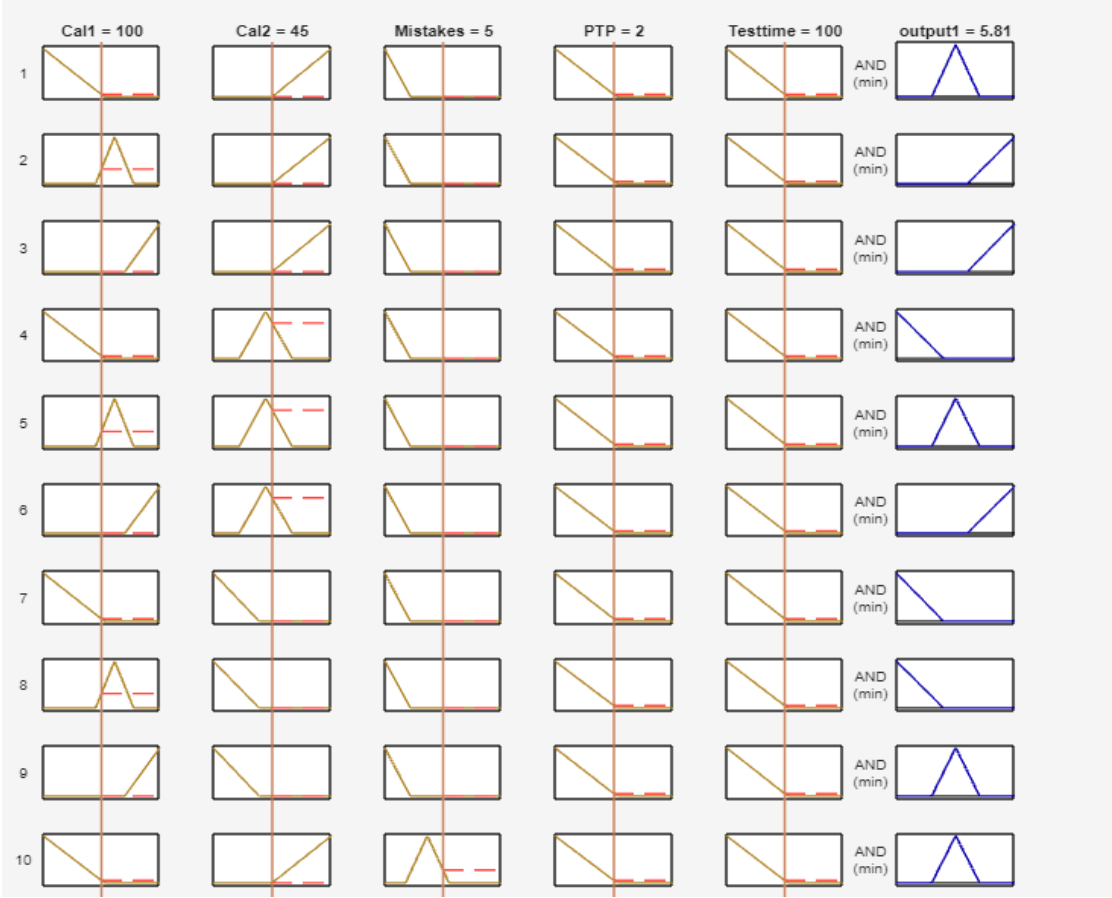


Рис. 4. Фрагмент бази правил

Джерело: отримано авторами

Таблиця 1

Правила для комбінації за калібруванням

Ризик Ризик	Cal1 (інтервал калібрування)			
		Низький	Середній	Високий
Cal2 (результат калібрування)	Низький	Низький	Низький	Середній
	Середній	Низький	Середній	Високий
	Високий	Середній	Високий	Високий

Джерело: складено авторами

На рис. 5 наведено отриману поверхню залежності вихідної лінгвістичної змінної від двох вхідних факторів ризику: інтервал калібрування застосованого вимірювального обладнання та результат калібрування застосованого

вимірювального обладнання. Поверхня нечіткого логічного висновку (рис. 5) чітко демонструє логічну узгодженість та обґрунтованість розробленої системи продукційних правил.

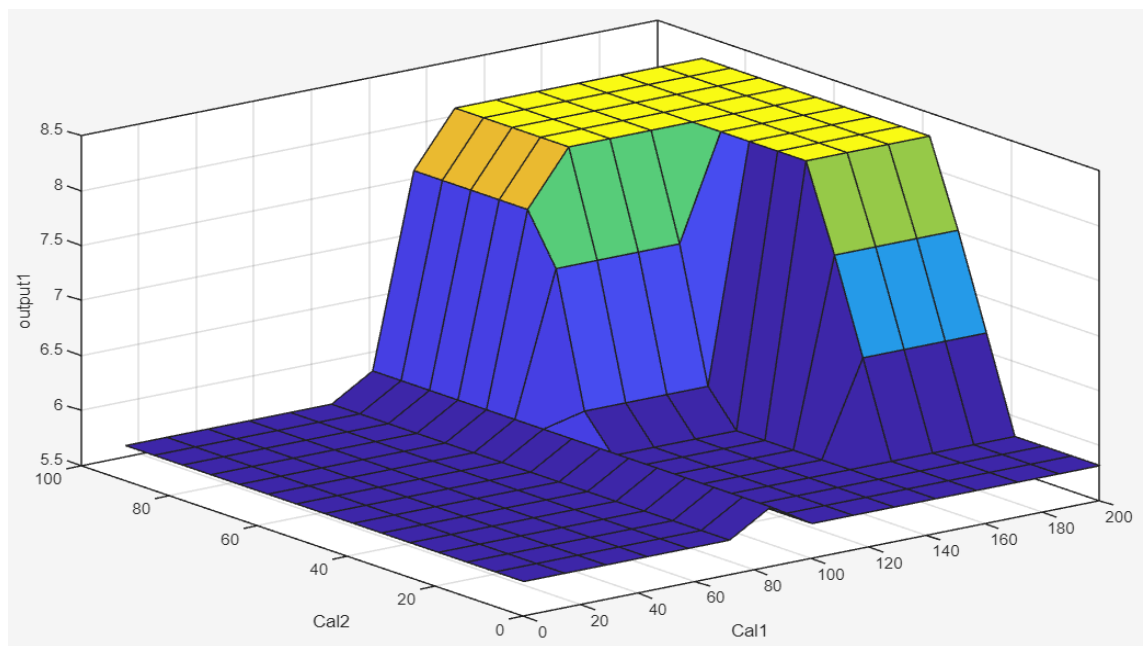


Рис. 5. Поверхня нечіткого логічного висновку

Джерело: отримано авторами

Процедура дефазифікації проводилася методом "центру тяжкості", результати для кількох комбінацій вхідних даних представлені в таблиці 2.

Запобіжні або коригувальні дії прив'язані до кожної класифікації ризиків, що дозволяє ефективно управляти ризиками.

Таблиця 2

Оцінка величини ризику

Номер правила	Інтервал калібрування (Cal1)	Результат калібрування (Cal2)	Кількість помилок у протоколі (Mistakes)	Результат участі в порівняльних випробуваннях (PTR)	Час проведення випробувань (Testtime)	Величина ризику (output)	Рекомендації
8	114 %	9 %	1	1,1	76 %	1,70 (низька)	Заходи щодо зниження ризику не потрібні
1	43 %	67 %	1	1,6	74 %	5,01 (середня)	Необхідно провести технічне обслуговування випробувального обладнання (ВО) або засобів вимірювальної техніки (ЗВТ)/за результатами калібрування провести аналіз необхідності закупівлі нових ВО або ЗВТ

Продовження Таблиці 2

53	132 %	16 %	8	2,4	59 %	8,42 (висок а)	Необхідно провести додаткове навчання серед технічного персоналу/організув ати процес проведення випробувань під наглядом досвідченого спеціаліста
----	-------	------	---	-----	------	----------------------	---

Примітка: вхідні дані отримані авторами на основі експертних оцінок під час аналізу: сертифікатів з калібрування обладнання, результатів звітів з порівняльних випробувань, результатів перевірки протоколів випробувань, а також з використанням (Nurutdinova, I. & Dimitrova, L. (2021), Кузьменко, О.О. & Віткін, Л.М. (2024))

Подальшою перспективою розвитку запропонованої моделі є створення адаптивної нечіткої продукційної моделі, що дозволить при виникненні нових ризиків проводити їх переоцінку.

Висновки. Розроблено систему нечіткого логічного висновку для прийняття управлінських рішень у випробувальних лабораторіях, яка дозволяє розширити можливості існуючих методів, зняти обмеження на число врахованих вхідних змінних та інтегрувати як якісні,

так і кількісні підходи до оцінки значення ризиків. Розроблена система логічного висновку призначена для оперативного аналізу стану випробувальної лабораторії на основі наявної самооцінки, виконаної експертами. Використані механізми оцінки ризику на основі нечіткої логіки дозволяють отримати чисельне значення ризику, що дає можливість виявити пріоритети ризиків та виробити план заходів щодо зниження впливу найбільш небезпечних загроз.

Література:

- Gallab, M., Bouloiz, H., Alaoui, Y., & Tkiouat, M. (2019). Risk Assessment of Maintenance activities using Fuzzy Logic, *Procedia Computer Science* 148, 226-235.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.065>
- Kosko, B. (1994). Fuzzy systems as universal approximates. *IEE Transactions on computers*, 11, 1329-1333. URL: <https://sipi.usc.edu/~kosko/FuzzyUniversalApprox.pdf>.
- Mamdani, E.H. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller / E.H. Mamdani & S. Assilian // *International Journal of Man-Machine Studies*, № 7(1), 1-13.
[https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2)
- Nurutdinova, I. & Dimitrova, L. (2021). Risk significance assessment on the basis of a fuzzy model. *E3S Web of Conferences* 273, 08037 (2021) INTERAGROMASH 2021, 7 p.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127308037>
- Paluszek, M. & Thomas, S. (2020) *Practical MATLAB Deep Learning: A Project-Based Approach*. 1st Ed.: Apress, 252 p.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5124-9>
- Shang, E. & Hossen, Z. (Eds.). (2013). *Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making*. Casualty Actuarial Society. Canadian Institute of Actuaries. Society of Actuaries, 59 p.
<https://www.soa.org/globalassets/assets/files/research/projects/research-2013-fuzzy-logic.pdf>
- Sivanandam, S.N., Sumathi, S. & Deepa, S.N. (2007). *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 430 p.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-35781-0>
- Trpathy, S., Saxena, R. & Gupta, P. (2013). Comparison of statistical methods for outlier detection in proficiency testing data on analysis of lead in aqueous solution. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*. 2(6): 233-242.
<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ajtas>
- Zadeh, L. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes / L.Zadeh // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, №3(1). 28-44.
<https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>
- Zadeh, L. A. (1999). Fuzzy sets as a basis for theory of possibility. and Fuzzy Sets systems, 9-34. URL: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(99\)80004-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)80004-9)

11. Данченко, О. Б. (2014). Огляд сучасних методологій управління ризиками в проєктах / О. Б. Данченко // Управління проєктами та розвиток виробництва. № 1. С. 16-25.
Доступ через: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uprv_2014_1_4
12. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. Київ. МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ. 2015, 73 с.
Доступ через: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf>
13. ДСТУ EN ISO/ІЕС 17025:2019 (EN ISO/ІЕС 17025:2017, IDT) Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2020, 24 с. Доступ через: <https://uas.gov.ua>.
14. ДСТУ ISO 31000:2018 (ISO 31000:2018, IDT) Менеджмент ризиків. Принципи та настанови. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2019. 23 с. Доступ через: <http://uas.org.ua>
15. 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, С. 97-104. Доступ через: <https://doi.org/10.33243/2518-7139-2019-1-1-97-104>
16. Кузьменко, О.О. & Віткін, Л.М. (2024). Розроблення математичної моделі на основі нечіткої логіки для визначення ризику в діяльності випробувальної лабораторії. Вчені записки Університету «Крок». Розділ 2. Управління та адміністрування. Випуск № 1 (73). С. 188-194. DOI: 10.31732/2663-2209-2024-73-188-194
17. Посохов, І.М. (2013). Дослідження методів оцінки ризиків корпорацій. Європейський вектор економічного розвитку. № 2 (15). С. 211-217. Доступ через: <https://eurodev.duan.edu.ua/images/PDF/2013/2/26.pdf>
18. Топчій, Н.В. (2020). Аналіз ризиків у випробувальній лабораторії органу оцінки відповідності. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 31 (70). Ч. 1, № 6. С. 1-5. Доступ через: DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/01>
19. Хавіна, І. П. & Цуранов, М.В. (2024). Дослідження механізму нечіткої логіки для оцінки інформаційних ризиків підприємства. Харків. ХВУВС. С. 329-335. Доступ через: <https://dspace.univd.edu.ua/server/api/core/bitstreams/4e9b2fa9-ead5-40c8-ba39-c27950f8c50f/content>
20. Штовба, С.Д. (2006). Навчання нечіткої бази знань за вибіркою нечітких даних / Штучний інтелект. № 4. С. 560-570. Доступ через: <https://www.researchgate.net/publication/279535000>