

ШАРКАДІ МАРІАННА

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

<https://orcid.org/0000-0002-1850-996X>e-mail: [marianna.sharkadi@uzhnu.edu.ua](mailto:marianna.sharkadi@uzhnu.edu.ua)

МЛАВЕЦЬ ЮРІЙ

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

<https://orcid.org/0000-0002-1480-9017>e-mail: [yurii.mlavets@uzhnu.edu.ua](mailto:yurii.mlavets@uzhnu.edu.ua)

## ПОБУДОВА НЕЧІТКОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ У ДОДАТКУ FUZZY LOGIC DESIGNER

Сучасні інформаційні технології відкривають багато нових можливостей як у повсякденному житті, так і в науці. Сучасні інформаційні технології також необхідні для математичного моделювання. Дана стаття присвячена дослідженню використання одного з найпоширеніших математичних програмних пакетів Matlab. До складу програмного пакету Matlab входить декілька додатків, зокрема, додаток Fuzzy Logic Designer. Продемонстровано використання програми Fuzzy Logic Designer при побудові нечіткої математичної моделі. Також розглядаються алгоритми нечіткого виведення, що реалізовані в програмі, функції належності, які можна використовувати, метод побудови бази знань і методи дефазифікації.

*Ключові слова:* математичне моделювання, нечіткі множини, нечітке моделювання, система нечіткого виводу, Fuzzy Logic Designer, Matlab.

SHARKADI MARIANNA, MLAVETS YURIJ

Uzhhorod National University

### METHODS OF SUPPORTING THE DECISION-MAKING ON THE POSSIBILITY OF PROVIDING GENERAL MEDICAL, THERAPEUTIC AND DENTAL SERVICES ON THE BASIS OF CIVIL LAW

Modern information technologies open up many new opportunities in everyday life and in science. Modern information technologies are also necessary for mathematical modeling. Fuzzy logic is based on the principles of the fuzzy set introduced by Lotfi Zadeh and allows describing complex systems in the form of a set of fuzzy rules. To implement such an approach, there are specialized software tools, among which the Fuzzy Logic Toolbox occupies a special place - an addition to MATLAB that provides a wide range of tools for creating, analyzing and optimizing fuzzy models. When constructing a Mamdani-type fuzzy inference (Fuzzy Inference) system, an important step is to construct a knowledge base for the system in question.

The article is devoted to the demonstration of the use of Fuzzy Logic Toolbox for mathematical modeling. The main stages of working with the application, such as building a rule base, choosing membership functions, methods of aggregation and defuzzification, are considered.

The use of Fuzzy Logic Toolbox in mathematical modeling allows to significantly expand the possibilities of analysis and forecasting of systems where classical methods are not effective enough. This article is devoted to the study of the use of one of the most common mathematical software packages Matlab. The Matlab software package includes several applications, in particular, the Fuzzy Logic Designer application. The use of the Fuzzy Logic Designer program in the construction of a fuzzy mathematical model is demonstrated. The article also discusses the fuzzy inference algorithms implemented in the program, membership functions that can be used, the method of building a knowledge base, and defuzzification methods.

*Keywords:* mathematical modeling, fuzzy sets, fuzzy modeling, fuzzy inference system, Fuzzy Logic Designer, Matlab.

### Вступ

У багатьох випадках традиційні методи класичного математичного моделювання не дозволяють врахувати усю багатозначність реальних даних, що призводить до спрощених моделей з обмеженою точністю. Одним із сучасних підходів, що дозволяє ефективно працювати з такими системами, є нечітка логіка.

Нечітка логіка базується на принципах нечіткої множини, введеної Лотфі Заде [1], і дозволяє описувати складні системи у вигляді набору нечітких правил. Для реалізації такого підходу існують спеціалізовані програмні інструменти, серед яких особливе місце займає Fuzzy Logic Toolbox – додаток до MATLAB, що надає широкий спектр засобів для створення, аналізу та оптимізації нечітких моделей.

Стаття присвячена демонстрації використання Fuzzy Logic Toolbox для математичного моделювання. Розглянуто основні етапи роботи з додатком, такі як побудова бази правил, вибір функцій належності, методи агрегації та дефазифікації.

Застосування Fuzzy Logic Toolbox у математичному моделюванні дозволяє значно розширити можливості аналізу та прогнозування систем, де класичні методи є недостатньо ефективними.

### Аналіз досліджень і публікацій

Низка міжнародних та вітчизняних науковців досліджує використання сучасних інформаційних технологій як у наукових дослідженнях, так і в освітньому процесі.

Авторами публікацій [2,3,4] також використано Fuzzy Logic Designer програмного забезпечення Matlab. На відміну від вищезгаданих публікацій, буде продемонстровано детальний алгоритм побудови систем нечіткого виводу.

У роботі [5] також досліджено алгоритм побудови системи нечіткого виводу. На відміну від даного дослідження запропоновано інший підхід для побудови системи нечіткого виводу в сучасному програмному забезпеченні Matlab.

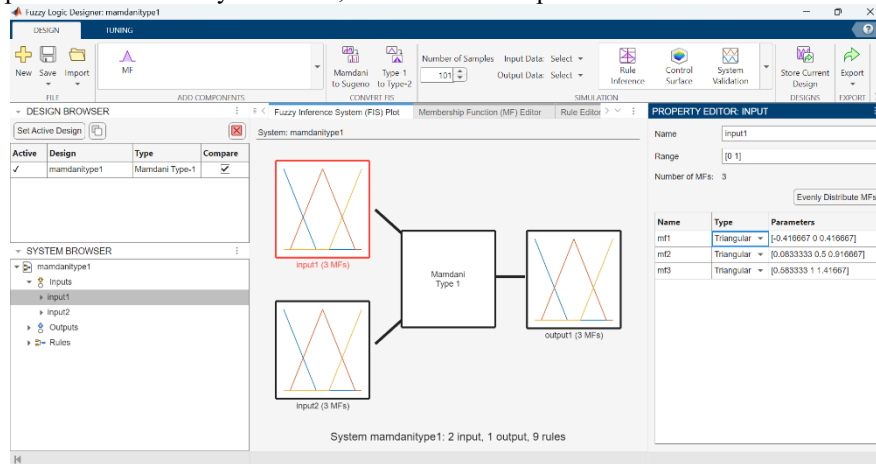
**Постановка проблеми дослідження.**

У даній роботі запропоновано метод побудови нечіткої моделі з використанням додатку Fuzzy Logic Designer програмного забезпечення Matlab. Детально розглянуто алгоритм побудови нечіткої моделі використовуючи алгоритм Мамдані.

За допомогою використання додатку Fuzzy Logic Designer запропоновано вирішення наступних задач:

- 1) Побудова функцій належності для вхідних і вихідних даних.
- 2) Побудова бази знань для системи нечіткого виводу.
- 3) Огляд запропонованих методів імплікації, агрегації та дефазифікації.
4. Результати досліджень.

Використання програми Fuzzy Logic Designer продемонстровано на прикладі. Побудовано відомий приклад, в якому розмір чайових (вихідний параметр) визначається в залежності від якості їжі та обслуговування. Після запуску програми та вибору алгоритму нечіткого висновку, який підходить користувачам, на екрані з'явиться наступне вікно, яке показано на рис. 1.



**Рис. 1.** Вікно системи нечіткого логічного виводу

У даному вікні можна змінити вхідні та вихідні параметри, а також функції належності, якими вони описані. За замовчуванням у даній програмі використано трикутну функцію належності для вхідних і вихідних даних. В додатку Fuzzy Logic Designer реалізовані наступні функції належності:

1. Трикутна функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1)$$

2. Трапецієподібна функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (2)$$

3. S-подібна функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ (1-2) \left( \frac{b-x}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1, & b \leq x \end{cases} \quad (3)$$

4. Лінійна S-подібна функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \end{cases}, \quad (4)$$

5. Z-подібна функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ (1 - 2) \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left( \frac{b-x}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 0, & b \leq x \end{cases} \quad (5)$$

6. Лінійна Z-подібна функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b \\ 0, & b \leq x \end{cases}, \quad (6)$$

7. Сигмоїдальна функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f(x; a, b) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}} \quad (7)$$

8. Різниця двох сигмоїдальних функцій належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f_{dsigmf}(x; a, c) = f_{sigm}(x_1; a_1, c_1) - f_{sigm}(x_2; a_2, c_2) \quad (8)$$

9. Добуток двох сигмоїдальних функцій належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f_{psigmf}(x; a, c) = f_{sigm}(x_1; a_1, c_1) \cdot f_{sigm}(x_2; a_2, c_2) \quad (9)$$

10. Гаусова функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f_{gaussmf}(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

11. Подвійна гаусова функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f_{gauss2mf}(x; \sigma, c) = f_{gaussmf}(x_1; \sigma_1, c_1) \cdot f_{gaussmf}(x_2; \sigma_2, c_2) \quad (11)$$

12. Узагальнена дзвіноподібна функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f_{gbellmf}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (12)$$

13. Пі-подібна функція належності.

Аналітично дана функція належності подається наступною формулою:

$$f_{pimf}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ (1 - 2) \left( \frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ (1 - 2) \left( \frac{x-c}{d-c} \right)^2, & c \leq x \leq \frac{c+d}{2} \\ 2 \left( \frac{x-d}{d-c} \right)^2, & \frac{c+d}{2} \leq x \leq d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (13)$$

Для вхідного параметра «Обслуговування» запропоновано гаусівську функцію належності (рис. 2).

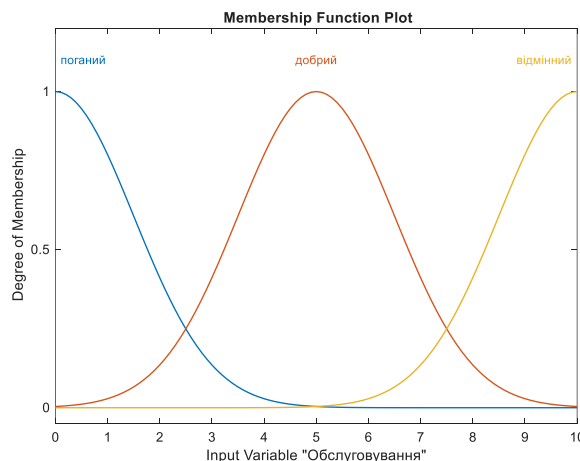


Рис. 2. Вхідний параметр «Обслуговування»

Для вхідного параметра «Якість їжі» запропоновано трапецієподібну функцію належності (рис. 3).

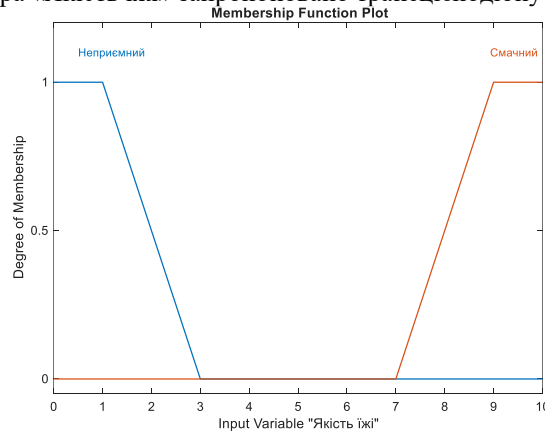


Рис. 3. Вхідний параметр «Якість їжі»

Для вихідного параметра «Розмір чайових» запропоновано трикутну функцію належності (рис. 4).

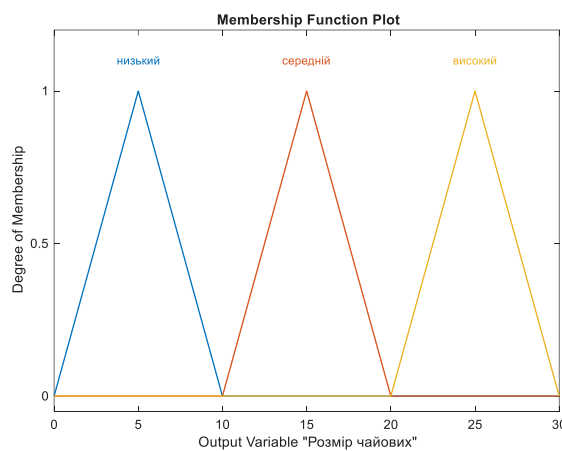


Рис. 4. Вихідний параметр «Розмір чайових»

При побудові системи нечіткого виводу (СНВ) типу Мамдані важливим кроком є побудова бази знань для розглянутої системи. База знань для СНВ Мамдані складається з логічних правил типу «Якщо-то». Для того щоб побудувати базу знань для СНВ використовуючи Fuzzy Logic Designer, потрібно перейти до меню «Rule editor». Відкривавши вікно «Rule editor» можливо додати нові правила, скопіювати існуючі, або видаляти правила. Приклад бази знань для розглянутої СНВ подано на рис. 5.

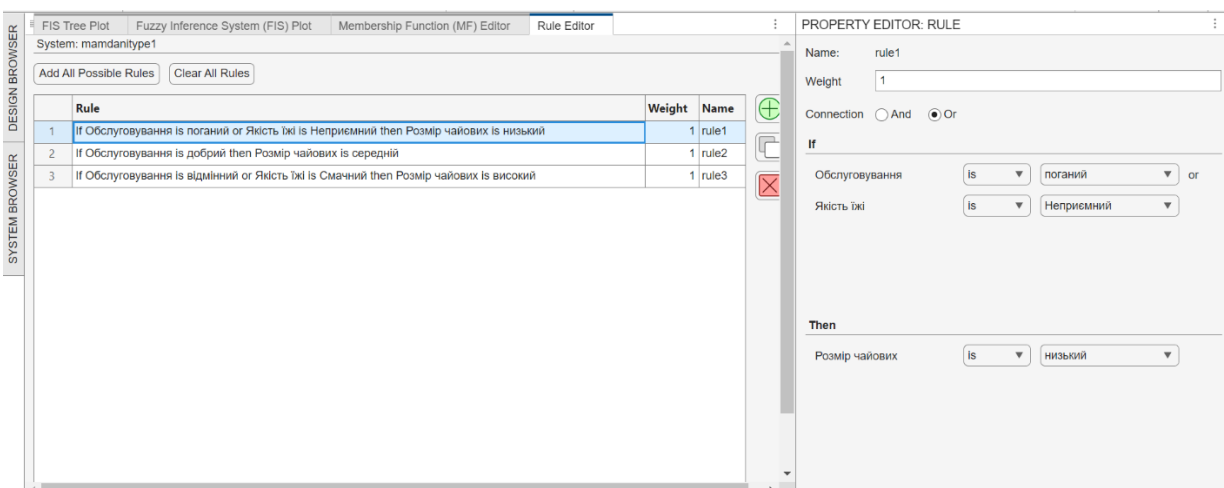


Рис. 5. База знань для розглянутої системи нечіткого виводу.

Після того як побудовано базу знань можливо перевірити методи імплікації, агрегації та дефазифікації для побудованої системи. Для цього слід перейти до вікна «Fuzzy Inference System (FIS) Plot». Дане вікно показано на рис. 6.

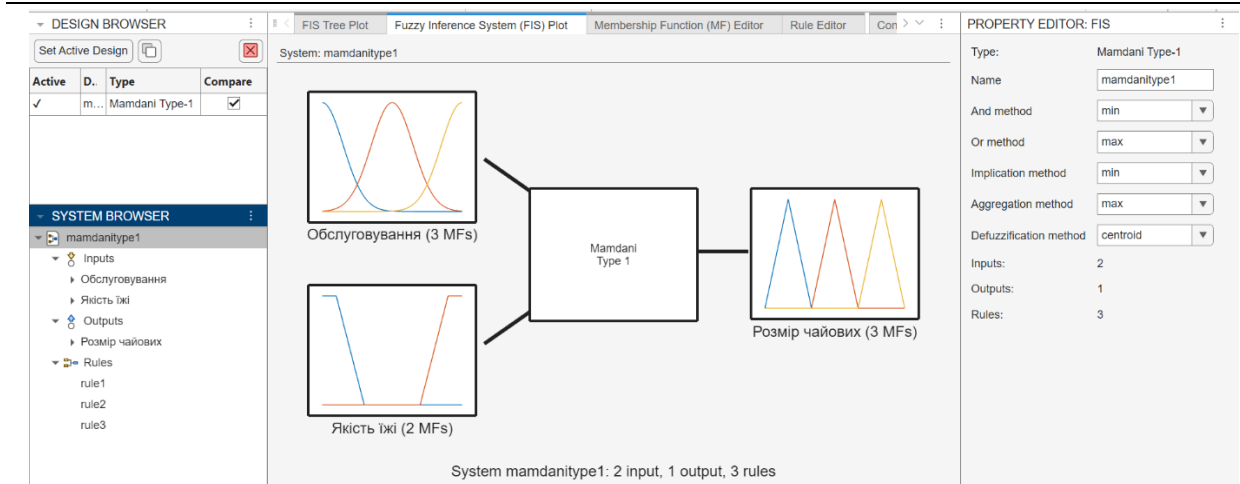


Рис. 6. Вікно «Fuzzy Inference System Plot»

На рис. 6 показана побудована система нечіткого виводу. Операція імплікації для алгоритму Мамдані за замовчування – min (запрограмовані реалізації: 'min' – мінімум і 'prod' – множення). Aggregation method – операція об'єднання функцій належності вихідної змінної (запрограмовані реалізації: 'max' – максимум; 'sum' – сума і 'probor' – імовірнісне "АБО"). Defuzzification method – метод дефазифікації, тобто приведення до чіткості. За замовчуванням вибрано метод центру ваги, але запрограмовані наступні методи дефазифікації: Centroid, Centre of gravity (CoG), метод центру площі або метод бісектриси площі (Bisector), метод найменшого з максимумів (Smallest of Maximum (SOM)), метод середнього з максимумів (Middle of Maximum (MOM)), метод найбільшого з максимумів (Largest of Maximum (LOM))

Після того як побудована система нечіткого виводу, у додатку Fuzzy Logic Designer можливо аналізувати роботу побудованої моделі на вкладці «Rule inference». На вкладці «Rule inference» потрібно ввести входні числові параметри, у нашому випадку це «Обслуговування» і «Якість їжі» у десяти бальній шкалі і на виході отримаємо «Розмір чайових» у відсотках. На рисунку 7 показана робота побудованої моделі.

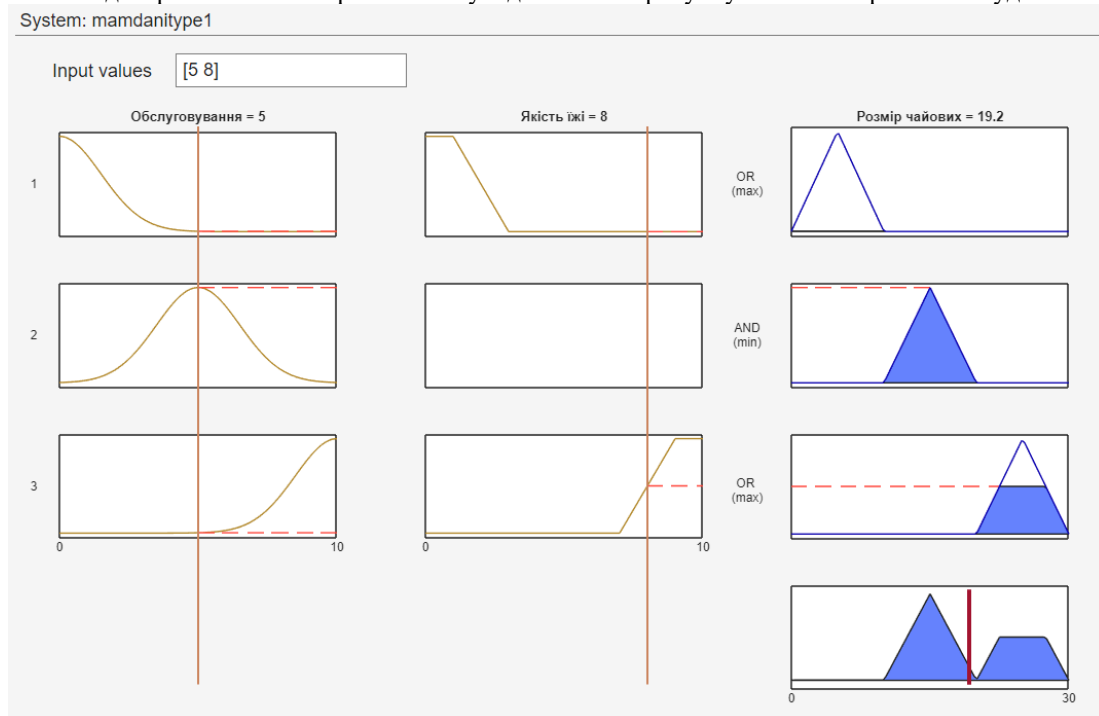


Рис. 7. Аналіз побудованої моделі

### Висновки

В ході дослідження показано алгоритм побудови системи нечіткого виводу на простому прикладі. Показано наскільки сучасні інформаційні технології, зокрема Matlab і додаток Fuzzy Logic Designer прості і корисні у використанні.

### Подяка

Роботу виконано в рамках держбюджетної науково-дослідної теми Ужгородського національного університету «Методи обчислювального інтелекту для обробки і аналізу даних» (номер державної реєстрації 0121U109279).

---

**Література**

1. Zadeh L. A. Fuzzy Sets. — Information and Control, 1965, Vol. 8, № 3, pp. 338–353.
2. Sharkadi, M., & Dorovtsi, A. (2024). Building a fuzzy model for determining the level of social well-being of the population. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(4 (130), 35–45. doi: 10.15587/1729-4061.2024.310142
3. Sharkadi, M., & Dorovtsi, A. (2024). Fuzzy modelling of the environmental component of social security. *Вісник Черкаського Державного Технологічного Університету*, 29(2), 70–78. doi:10.62660/bcstu/2.2024.70
4. Pryimak, V., Holubnyk, O., Ucieklak-Jez, P., Kubicka, J., Urbanska, K., & Babczuk, A. (2021). Fuzzy technologies modeling the level of welfare of the population in the system of effective management. *European Research Studies*, XXIV(3), 749–762. doi:10.35808/ersj/2382
5. Abramova, A. O. (2022). Development of a Fuzzy Matlab inference algorithm for decision-making under uncertainty conditions for designed objects. *Proceedings of XVI International Conference Measurement and Control in Complex System (MCCS-2022)*. Presented at the 16th IC Measurement and Control in Complex Systems, Vinnytsia, Ukraine. doi:10.31649/mccs2022.17

**References**

1. Zadeh L. A. Fuzzy Sets. — Information and Control, 1965, Vol. 8, № 3, pp. 338–353.
2. Sharkadi, M., & Dorovtsi, A. (2024). Building a fuzzy model for determining the level of social well-being of the population. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(4 (130), 35–45. doi: 10.15587/1729-4061.2024.310142
3. Sharkadi, M., & Dorovtsi, A. (2024). Fuzzy modelling of the environmental component of social security. *Вісник Черкаського Державного Технологічного Університету*, 29(2), 70–78. doi:10.62660/bcstu/2.2024.70
4. Pryimak, V., Holubnyk, O., Ucieklak-Jez, P., Kubicka, J., Urbanska, K., & Babczuk, A. (2021). Fuzzy technologies modeling the level of welfare of the population in the system of effective management. *European Research Studies*, XXIV(3), 749–762. doi:10.35808/ersj/2382
5. Abramova, A. O. (2022). Development of a Fuzzy Matlab inference algorithm for decision-making under uncertainty conditions for designed objects. *Proceedings of XVI International Conference Measurement and Control in Complex System (MCCS-2022)*. Presented at the 16th IC Measurement and Control in Complex Systems, Vinnytsia, Ukraine. doi:10.31649/mccs2022.17