

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОБУДОВИ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ У ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ М. ДНІПРО

Лариса Коротка

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних систем

ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005,
larysakorotka@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0780-7571

Наталія Науменко

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних систем

ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005, nata.yu.naumenko@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0585-932X

У статті пропонується формалізувати неструктуровані дані з використанням математичного апарату теорії нечітких множин та попереднього групування вхідних даних. Розглядається прикладна задача інформаційної оцінки поточних конкурентних можливостей підприємства, яка використовує дані опитування експертів у предметній області, зокрема, ними виступають керівники підприємств та структурних підрозділів. Формалізація отриманих даних відбувається у декілька етапів. Згідно визначених у роботі критеріїв проводиться групування блоків питань опитування задля отримання вхідних змінних для нечіткої системи. Отримана кількість груп вхідних агрегованих змінних становила восьми. Експертні оцінки, які отримано після опитування, у роботі пропонується формалізувати у вигляді побудови функцій належності при використанні непрямих методів. Згідно експертних оцінок формуються терми нечітких множин по кожній лінгвістичній змінній. Максимальна кількість терм-множин є рівною п'яти, але у результаті побудови визначеної функції належності кількість термів може бути і меншою за п'ять. Формалізовані дані у вигляді функцій належності з відповідними термами кожної лінгвістичної змінної застосовуються у нечіткій базі знань, зокрема, будується нечітка база правил. В якості нечіткого логічного виведення та без обмеження суджень використано достатньо відомий алгоритм Мамдані, який є доволі простим у використанні та програмній реалізації. У роботі передбачено, що отримана база знань може доповнюватись та донавчатись. Нечітка система є гнучкою, а саме: при отриманні нових експертних оцінок база знань доповнюється, функції належності та терми їх перебудовуються. Можливе доповнення нечіткої бази знань новими правилами. Проведено чисельні експерименти з отриманою нечіткою моделлю, які можуть бути використані як прототип експертної системи у даній предметній області.

Ключові слова: теорія нечітких множин, непрямі методи побудови функцій належності, функції належності, база знань, експертні оцінки.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У багатьох предметних областях доводиться стикатися з різними видами тієї чи іншої нечіткості, неточності та розмитості даних. При детермінованому підході втрачається зміст таких даних. Досить часто формалізація їх є непростою та складним процесом, але при успішному вирішенні такого питання надає широкі можливості використання нечіткого підходу. Прийняття рішень в умовах невизначеності набуває особового значення та верифікація результатів потребує особливої уваги [1]. Як відомо, математичний апарат теорії нечіткості виявився достатньо корисним та затребуваним у самих різних прикладних предметних областях, у тому числі: в хімічній технології та медицині;

в теорії надійності та при контролі якості продукції; при автоматизованому управлінні рухом; при нечіткому оцінюванні земель; при проєктуванні складних механічних систем та в економіці [2-6].

Вказана теорія, яка запропонована Лотфі Заде, дозволяє трактувати і працювати з невизначеністю та є фактично теорією можливостей [7-9]. На відміну від теорії ймовірностей, даний математичний апарат дозволяє формалізувати будь-яку наявну нечітку або неточну інформацію та не потребує обробки статистичної інформації.

Якісне застосування теорії нечітких множин у таких предметних областях, як економіка не викликає сумнівів [5, 6]. Метою роботи є дослідження інформаційної оцінки поточних конкурент-

них можливостей підприємства, яке проводиться експертним методом за допомогою опитування у вигляді анкетування [10]. Загальна база питань складається з восьмидесяти п'яти. Для більш якісної роботи та обробки відповідей усі запитання опитування було угруповано у окремі незалежні блоки за визначеною методологією [10]. База питань поділена за наступними основними критеріями конкурентоспроможності та можливостей: обладнання, продукції, персоналу, фінансів, ресурсів підприємства, загальнопромислових та організаційних питань, інформаційної незалежності, управління.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. У роботі пропонується після виділення основного блоку кластерів питань, розглядати кожну агреговану змінну як вхідну лінгвістичну змінну (ЛЗ). Задля якісного виміру рівня інформатизації питань поставлені у відповідність п'ять термів кожної лінгвістичної змінної. Загальновідомо, що вибір кількості термів ЛЗ залежить повністю від проєктувальника нечіткої системи. Очевидно, що є мінімальний та максимальний набір термів для лінгвістичної змінної [11-13]. Зауважимо лише, що категорія значущості питань у відповідному факторі представлена п'ятьма можливостями: дуже суттєво («В»); суттєво («ВС»); добре («С»); не надто суттєво («НС»); несуттєво («Н»).

Очевидно, що при такому угрупованні бази питань, необхідна не тільки її формалізація, але й врахування значущості як критеріїв, так

і самих питань. Процес формалізації та впорядкування буде розглянуто далі. Кожна змінна є складною тому, що вона містить об'єднання питань окремого блоку. Відповіді на кожне питання можуть містити вказані п'ять значень термів ЛЗ.

Представити структурну схему опрацювання опитування експертів у даній предметній області та формалізації отриманих результатів можна, наприклад, як на рисунку 1, де знаходяться агреговані вхідні дані (їх вісім), які потім опрацьовуються та представляються у вигляді функцій належності (ФН).

Для опису математичної постановки визначення рівня інформаційної оцінки поточних конкурентних можливостей підприємства введемо наступні позначення щодо блоків анкетних питань: $\{x_1\}$ – обладнання підприємства; $\{x_2\}$ – продукція; $\{x_3\}$ – кадри підприємства; $\{x_4\}$ – фінанси $\{x_5\}$ – виробництво $\{x_6\}$ – інновації $\{x_7\}$ – маркетинг; $\{x_8\}$ – управління.

Для кожного блоку необхідно побудувати функцію належності $\mu_{x_i}(x)$, $i=1,8$ відповідно до запропонованого далі у роботі підходу.

Згідно методології, яка запропонована у [10], деякі блоки можна поєднати та укрупнити. Наприклад, вважати ресурсами підприємства $\{R\} = \{\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}\}$ та елементами інформаційної незалежності $\{G\} = \{\{x_7\}, \{x_8\}\}$.

Фактично маємо функціонал, який визначено на просторі бази питань та який дозволить вста-

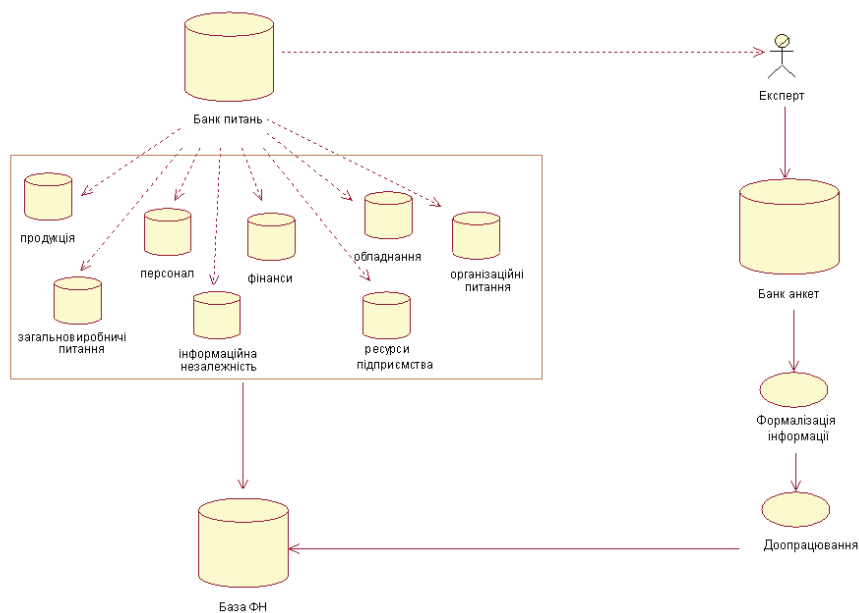


Рис. 1 – Структурна схема процесу формалізації опитування

новити рівень інформаційної оцінки поточних конкурентних можливостей підприємства:

$$f = F(\{R\}; \{G\}; \{x_4\}, \{x_5\}, \{x_6\}). \quad (1)$$

Аргументи функціоналу (1) відповідають визначеним критеріям з побудованими функціями належності.

Слід зупинитись на деяких моментах процесу формалізації питань. Для демонстрації та визначеності, але без обмеження суджень, розглянемо одне підприємство. Візьмемо відповіді декількох експертів у даній предметній області, наприклад, трьох. З огляду того, що початкові дані носять виключно лінгвістичний характер, то проблема отримання кількісної інформації є нетривіальною. У роботі пропонується, зокрема, використати експертні оцінки та застосувати математичний апарат теорії нечітких множин. Для цього для кожної із восьми лінгвістичних змінних будується відповідна функція належності.

Як відомо, існує достатня кількість методів побудови ФН. При цьому можна виділити дві основні групи: прямі, які засновані на експертних оцінках, та непрямі, які використовують опосередковані методи побудови [11, 14].

Перша група характеризується тим, що експерт безпосередньо задає правила визначення ФН $\mu_A(x)$, що характеризує елемент x нечіткої множини A [10, 11, 14]. Ці значення узгоджуються з уподобаннями експерта на множині X :

1. Для $\forall x_1, x_2 \in X: \mu_A(x_1) < \mu_A(x_2)$ тоді і тільки, коли x_2 краще x_1 , тобто у більшому ступені характеризується властивістю A .

2. Для $\forall x_1, x_2 \in X: \mu_A(x_1) = \mu_A(x_2)$ тоді і тільки, коли x_2 та x_1 однакові щодо властивості A .

Як відомо, при використанні прямих методів у якості функцій належності можуть слугувати будь-які відомі аналітичні функції, які обирає експерт у даній предметній області. Звісно, що при такому підході присутня велика частка суб'єктивізму експерта, що і є основним недоліком такого підходу.

У другій групі – опосередкованих (непрямих) методів, значення функції належності підбираються у відповідності зі заздалегідь сформульованим умовам. В цьому випадку для подальшої обробки потрібна експертна інформація, але тільки в якості вхідної.

Слід зазначити, що до непрямих відносяться методи з використанням [14]: парних порівнянь; статистичних даних; параметричного підходу; рангових оцінок; інтервальних оцінок; семантичного диференціала.

Очевидно, що вибір того чи іншого підходу обумовлений завданням, яке потребує розв'язання. Саме тому, у роботі пропонується використати непрямі методи побудови функцій належності з використанням експертних оцінок.

Лінгвістичні змінні задаються своїми термножинами. Як вже зазначалося, у роботі використано п'ять термів, опис кожного з них та ступінь деталізації залежить від розв'язуваного завдання та проєктувальника нечіткої системи. З огляду на те, що у роботі використано вісім критеріїв, кожен з яких може поділятися на підкритерії, далі буде наведено приклад формалізації та роботи з нечіткою інформацією не для усіх, а для одного з них.

Без обмеження суджень, нехай це буде блок, який стосується критерію щодо конкурентоспроможності продукції підприємства (табл. 1) та який містить десять питань у цьому блоці. При обробці відповідей експертів на кожне з запитань маємо п'ять термів.

За наявності таких експертних оцінок по одному з критеріїв можна отримати сумарні підрахунки по значенню кожного терму, які можна використати для побудови відповідної функції належності для обраного критерію (цілого блоку питань).

При такому підході можна отримати оцінки частоти значення («Н», «НС», «С», «ВС», «В»), але можна отримати неопуклу нечітку множину і тоді необхідно переглянути послідовність вкладених десяти факторів, тобто їх перегрупування всередині блоку питань. Крім того, ймовірність отримання ненормальної нечіткої множини (висота множини менше одиниці) потребує доопрацювання.

При використанні статистичного підходу (непрямого методу побудови ФН) повинна виконуватись далеко нетривіальна вимога: в кожен інтервал випробувань повинна потрапляти однакова кількість елементів. На практиці така вимога значно обмежує застосування цього методу. У цьому випадку рекомендовано будувати матрицю підказок, яка дозволяє фактично нормування отриманих результатів та запобігти отриманню ненормальних нечітких множин. Цей процес є відомим та, на думку авторів, не потребує додаткових пояснень [15].

Пояснимо деякі моменти щодо внутрішнього перегрупування питань у відповідності до отриманих дискретних значень функцій належності відносно термів. Очевидно, що самі термножини потребують деякого перетворення,

Експертні оцінки за одним з критеріїв

№ питання	Значення терм-множини по критерію щодо продукції підприємства		
	Перший експерт	Другий експерт	Третій експерт
1	«СВ»	«СВ»	«СВ»
2	«С»	«С»	«С»
3	«СН»	«Н»	«Н»
4	«СВ»	«В»	«В»
5	«СВ»	«СН»	«СН»
6	«СВ»	«СВ»	«С»
7	«СН»	«СН»	«СН»
8	«СВ»	«СВ»	«СВ»
9	«СН»	«Н»	«Н»
10	«СВ»	«СН»	«С»

удосконалення та не можуть бути використані у такій формі. Останнє може означати, що анкетні питання не було структуровано за їх значимістю та, як наслідок, не було впорядковано терм-множини даної лінгвістичної змінної як наведеного у роботі, так і усіх інших.

Пропонується перевпорядкувати таким чином, щоб значення терм-множин були логічно структурованими. Фактично цей процес покладається на проєктувальника нечіткої системи та узгоджується з експертом у даній предметній області.

Наприклад, можна запропонувати впорядкованість запитань у даному блоці, які наведено у таблиці 2, де перший стовпець містить нові значення впорядкованості, а в дужках попередні значення.

Слід зауважити, що перегрупування всередині кожного блоку питань можливо вважати таким, що виконано достатньо раціонально: у рядках виконується умова того, що сума значень у кожному з них дорівнює одиниці [13]. Окрім рядків першого, другого та останнього, але цей момент компенсується тим, що є значення термів, які мають більші значення, тобто в цьому випадку «спрацьовують» більші значення функцій належності. Наприклад, для значення термів «НС» та «ВС» у рядку під номером три (табл. 2) можна вважати «робочим» терм зі значенням «НС». Останнє автори застосовують, спираючись на принцип узагальнення по Заде [16, 17].

Фактично процес формалізації експертних оцінок у вигляді анкетних питань можна вважати формалізованим та переведеним на формальну математичну мову у вигляді функцій належності. Оскільки неструктуровані дані є формалізованими, то можна переходити до проєктування прототипу експертної системи. При такому підході бажано перейти від дискретних функцій належності до неперервних.

У якості координат по осі абсцис виступають впорядковані дані всередині кожного блоку питань. Для вихідної змінної інформаційної оцінки поточних конкурентних можливостей підприємства пропонується розглядати усього три терми: низьке («Н»), середнє («С»), високе («В») значення. Без обмеження суджень, шкала цієї змінної обрана від нуля до одиниці.

Побудова нечіткої бази знань є окремим етапом при роботі з нечіткими даними. Як відомо, що база правил повинна бути чисельно повною, не мати протиріччя, не мати дублюючих правил [13]. У роботі пропонується база правил, яка містить приблизно тридцять п'ять правил, які використовують побудовані функції належності.

Завершальним етапом є безпосереднє застосування нечіткого логічного виведення. З огляду на те що обрано алгоритм нечіткого логічного виведення типу Мамдані [18], питання імплікації та композиції є вирішеним, а саме: у якості імплікації береться операція логічного мінімуму, а у якості операції композиції – логічного максимуму.

Фактично система нечіткого логічного виведення спроектована та побудована, залишається лише останній крок алгоритму – це операція дефазифікації. Методи отримання з нечіткої множини чіткого значення є достатньо відомими, зауважимо, що у роботі для визначеності застосовано центроїдний метод, який є одним з нескладних з точки зору обчислювальних витрат [11, 13, 14, 18, 19].

Результати чисельних експериментів, які навмисне взято цілочисельними: $x_1=5,0$; $x_2=6,0$; $x_3=9,0$; $x_4=4,0$; $x_5=5,0$; $x_6=6,0$; $x_7=2,0$; $x_8=5,0$. Тут області визначення змінних: $\{x_1\} \in [0,7]$; $\{x_2\} \in [0,9]$; $\{x_3\} \in [0,17]$; $\{x_4\} \in [0,7]$; $\{x_5\} \in [0,7]$; $\{x_6\} \in [0,9]$; $\{x_7\} \in [0,4]$; $\{x_8\} \in [0,9]$.

Структуровані вхідні дані всередині блоку питань

Значення терму № питання	«Н»	«НС»	«С»	«ВС»	«В»
1 (9)	1,00	0,33	0,00	0,00	0,00
2 (3)	1,00	0,33	0,00	0,00	0,00
3 (5)	0,00	0,67	0,00	0,33	0,00
4 (7)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
5 (2)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
6 (1)	0,00	0,00	0,67	0,33	0,00
7 (6)	0,00	0,00	0,33	0,67	0,00
8 (8)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
9 (10)	0,00	0,33	0,33	0,33	0,00
10 (4)	0,00	0,00	0,00	0,33	1,00

Результатом роботи нечіткої системи було визначення рівня інформаційної оцінки поточних конкурентних можливостей підприємства, значення терму лінгвістичної змінної середнє («С») та отримано значення функціоналу $f=0,374$ зі ступенем упевненості прототипу експертної системи $\mu_{\langle C \rangle}(0,374)=0,82$. Очевидно, що можливе донавчання нечіткої системи за рахунок: більш тонкого настроювання функцій належності, додавання нових правил тощо. У випадку, якщо результати задовольняють експерта у даній предметній області, тоді процес навчання нечіткої системи можна вважати завершеним.

ВИСНОВКИ. Запропоновано підхід формалізації неструктурованих даних, якими є база питань щодо визначення рівня інформаційної оцінки поточних конкурентних можливостей підприємства. Розглянуто та опрацьовано відповіді експертів у предметній області, якими є керівники підприємств. Запропоновано новий підхід щодо опрацювання цих даних з побудовою функцій належності непрямим методом.

Побудована нечітка база знань, яка є основою нечіткої системи. Застосовано алгоритм нечіткого логічного виведення Мамдані [18]. Формалізований кількісний аналіз має свої межі [10], за якими можуть бути втрачені якість, глибина і повнота осмислення дійсності. Тому в гуманітарних дослідженнях необхідно використовувати м'які методи, одним з яких і є нечітка логіка.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ус С.А., Коряшкіна Л.С. Моделі та методи прийняття рішень (друге видання). Дніпропетровськ: НГУ, 2018. 270 с.
2. Korotka L. I. The use of fuzzy clustering in solving problem in predicting the durability of corrosive structures. *Mathematical modeling*. 2020. №2(43). P. 44-54.
3. Міхно П. Б. Нечітке оцінювання відпрацьованих земель *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2018. Випуск 2(109). Частина 1. С. 94-99.
4. Sosnin K., Tkachev V., Us S., Taradaichenko M. Multiobjective identification of convective drying of grain based on fuzzy sets. 19th International Drying Symposium, Lyon, France, 2014. August 24-27.
5. Harmider L. D., Taranenko I. V., Korotka L. I., Begma P. O. Methodological approach to labor potential assessment based on the use of fuzzy sets theory. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2019. № 6. P. 144-149. (DOI: <http://dx.doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/21>)
6. Ovcharenko O., Korotka L., Smiesova V., Kuchkova O., Karpenko R. Economic security of regions: A methodological approach to assessment, management, and legal regulation. *Region: The journal of ERSA*. 2022. Vol. 9, Nu. 1, pp. 83-100.
7. Zadeh Lotfi A., Chuen-Chien Lee Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*. 1990. Part II, Vol. 20, № 2. P. 404-418.
8. Alexander P. Rotshtein, Hanna B. Rakytyanska Fuzzy Evidence in Identification. *Forecasting and Diagnosis: Springer*. 2012. T. 275.
9. Soleiman Hosseinpour, Alex Martynenko. Application of fuzzy logic in drying: A review. *Drying technology*. 2022. v.40 no.5 pp. 797-826.
10. Нефедова О.Г. Формування конкурентоспроможного адаптаційного потенціалу підприємства в умовах нестабільності ринку: дис. канд. ек. наук: 08.00.04. Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, 2021. 217 с.
11. Зеленцов Д.Г., Короткая Л.И. Технологии вычислительного интеллекта в задачах моделирования динамических систем: монография. Днепр: Баланс-Клуб, 2018. 178 с. (<http://dx.doi.org/10.32434/mono-1-ZDG-KLI>)
12. Shtovba S. Ensuring accuracy and transparency of Mamdani fuzzy model in learning by experimental data. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2007. Vol. 39, № 8. P. 39-52.
13. Piegat Andrzej Fuzzy Modeling and Control. Heidelberg: New York: Physica-Verl., 2001. 728 p.
14. Оптимизация параметров процессов ферросплавного производства с использованием методов нечёткого

вывода: монографія / Михалёв А. И., Лысая Н. В., Лысый Д. А., Гладких В. А., Лысенко В. Ф. Днепропетровск: Системные технологии, 2008. 130 с.

15. Каид В.А.А. Методы построения функций принадлежности нечетких множеств. Известия ЮФУ технические науки. 2013. Вып. 2. С. 144-153.

16. Dey S., Roy T. K. Multi-objective Structural Optimization Using Fuzzy and Intuitionistic Fuzzy Optimization Technique. International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA). 2015. no. 5 57-65.

17. Zadeh Lotfi A., Chuen-Chien Lee Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part II.

IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. 1990/3. Vol. 20, № 2. P. 404-418.

18. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. – 18.06.2021. – № 105604 Україна. Комп'ютерна програма «Програмний інструментарій для проектування не чітких систем типу Мамдані» / Л. І. Коротка (Україна). – 4 с.; Опубл. 30.07.2021 р. Бюл. № 65. С. 496.

19. Штовба С. Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB. Математика в приложениях. 2003. № 2 (2). С. 9-15.

FORMALIZATION OF DATA BY MEANS OF THE USE OF MEMBERSHIP FUNCTIONS IN APPLIED PROBLEMS

Larysa Korotka

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Information Systems of the Far Eastern National Higher Educational Institute Ukrainian State University of Chemistry and Technology, Gagarin Ave., 8, m. Dnipro, 49005, larysakorotka@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0780-7571

Natalia Naumenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Information Systems of the Far Eastern National University Ukrainian State University of Chemistry and Technology, Gagarin Ave., 8, m. Dnipro, 49005, nata.yu.naumenko@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0585-932X

This article proposes to formalize the unstructured data using the mathematical apparatus of the theory of fuzzy multiplicities and the preceding grouping of the input data. We consider the applied problem of informational assessment of the current competitive capabilities of the company, which uses the data from the assessment of experts in the subject area, in particular, they are the heads of enterprises and structural divisions. Formalization of the obtained data is carried out in several stages. According to the criteria specified in the work, the grouping of the blocks of the examination questions is carried out to obtain the input variables for the fuzzy system. The obtained number of groups of input aggregated variables was eight. Expert assessments, which were taken after the experiment, are suggested by in the article to formalize the appearance of the membership functions when using indirect methods. The terms of fuzzy plurals are formed according to the linguistic variable. The maximum number of terms is equal to five, but the result of the membership function is the number of terms can be less than five. Formalized data in the form of membership functions with the corresponding terms of each linguistic variation are used in a knowledge base, in particular, a rule base is created. In the capacity of a fuzzy logical conclusion, with no limitation of judgment, Mamdani's algorithm is quite sufficient, which is quite simple for a software implementation. The article has provided, that the resulting knowledge base can be supplemented and further trained. The fuzzy system is flexible, itself: when new expert assessments are taken away, the knowledge base is updated, and the membership functions and terms are rebuilt. It is possible to supplement the fuzzy knowledge base with new rules. Numerical experiments were carried out using a fuzzy model, which can be used as a prototype of an expert system in a given subject area.

Key words: theory of fuzzy sets, indirect methods of inducing membership functions, membership functions, knowledge base, expert assessments.

REFERENCES

1. Us S.A., Korjashkina L.S. Modeli ta metody pryjnattja rishen' (druge vydannja) [Models and methods of decision making]. Dnipropetrovsk: NGU, 2018. 270 s.

2. Korotka L. I. The use of fuzzy clustering in solving problem in predicting the durability of corrosive structures. Mathematical modeling. 2020. №2(43). P. 44-54.

3. Mikhno P. Fuzzy assessment of waste land. Scientific journal "Transactions of Kremenchuk Mykhailo

Ostrohradskyi National University" 2018. Issue 2(109), Part 1, P. 94-99. [in Ukrainian]

4. Sosnin K., Tkachev V., Us S., Taradaichenko M. Multiobjective identification of convective drying of grain based on fuzzy sets. 19th International Drying Symposium, Lyon, France, 2014. August 24-27.

5. Harmider L. D. , Taranenko I. V., Korotka L. I., Begma P. O. Methodological approach to labor potential assessment based on the use of fuzzy sets theory. Naukovyi

- Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2019. № 6. P. 144–149. (DOI: <http://dx.doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/21>)
6. Ovcharenko O., Korotka L., Smiesova V., Kuchkova O., Karpenko R. Economic security of regions: A methodological approach to assessment, management, and legal regulation. Region: The journal of ERSA. 2022. Vol. 9, Nu. 1, pp. 83-100.
 7. Zadeh Lotfi A., Chuen-Chien Lee Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. 1990. Part II, Vol. 20, № 2. P. 404-418.
 8. Alexander P. Rotshtein, Hanna B. Rakytyanska Fuzzy Evidence in Identification. Forecasting and Diagnosis: Springer. 2012. T. 275.
 9. Soleiman Hosseinpour, Alex Martynenko. Application of fuzzy logic in drying: A review. Drying technology. 2022. v.40 no.5 pp. 797-826.
 10. Nefedova O.G. Formuvannya konkurentospromozhnogo adaptacijnogo potencialu pidpry'emstva v umovax nestabil'nosti ry'nku: dy's. kand. ek. nauk: 08.00.04. Nacional'ny'j universy'tet «Odes'ka politexnika», m. Odesa, 2021. 217 c.
 11. Zelentsov, D.G. and Korotkaya, L.I. Tehnologii vyichislitel'nogo intellekta v zadachah modelirovaniya dinamicheskikh sistem: monografiya [Technologies of Computational Intelligence in Tasks of Dynamic Systems Modeling: Monograph], Balans-Klub, Dnepr, 2018. 178 p.
 12. Shtovba S. Ensuring accuracy and transparency of Mamdani fuzzy model in learning by experimental data. Journal of Automation and Information Sciences. 2007. Vol. 39, № 8. P. 39-52.
 13. Piegat Andrzej Fuzzy Modeling and Control. Heidelberg: New York: Physica-Verl., 2001. 728 p.
 14. Optimizacija parametrov processov ferrosplavnogo proizvodstva s ispol'zovaniem metodov nechjotkogo vyvoda: monografiya / Mihaljov A.I., Lysaja N.V., Lysyj D.A., Gladkih V.A., Lysenko V.F. Dnepropetrovsk: Sistemnye tehnologii, 2008. 130 s. [in Russian]
 15. Kaid V.A.A. Metody postroenija funkcij prinadlezhnosti nechetkikh mnozhestv. Izvestija JuFU tehniczeskie nauki. 2013. Vyp. 2. S. 144-153. [in Russian]
 16. Dey S., Roy T. K. Multi-objective Structural Optimization Using Fuzzy and Intuitionistic Fuzzy Optimization Technique. International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA). 2015. no. 5 57-65.
 17. Zadeh Lotfi A., Chuen-Chien Lee Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part II. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. 1990/3. – Vol. 20, № 2. – P. 404-418.
 18. Svidocztvo pro reyestraciju avtors'kogo prava na tvir. – 18.06.2021. – # 105604 Ukrayina. Komp'yuterna programa «Programny'j instrumentarij dlya proektuvannya ne chitky'x sy'stem ty'pu Mamdani» / L. I. Korotka (Ukrayina). – 4 s.; Opubl. 30.07.2021 r. Byul. # 65. S. 496. [in Ukrainian]
 19. Shtovba S. D. Identifikaciya nelinejnyh zavisimostej s pomoshchyu nechetkogo logicheskogo vyvoda v sisteme MATLAB [Identification of nonlinear relationships using fuzzy inference system in MATLAB]. Mathematics in Applications. 2003. No. 2 (2). P. 9-15 [in Russian].

Стаття надійшла 13.05.2022