

С.А. Олізаренко, А.В. Самокіш, В.О. Капранов

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОД ПОРІВНЯННЯ СТУПЕНЮ НЕЧІТКОСТІ МІЖ НЕЧІТКИМИ МНОЖИНАМИ ТИПУ 1 ТА ІНТЕРВАЛЬНИМИ НЕЧІТКИМИ МНОЖИНАМИ

В статті розглядається метод порівняння ступеню нечіткості між нечіткими множинами типу 1 (НМТ1) та інтервальними нечіткими множинами типу 2 (ІНМТ2) на основі аналізу кардинальних чисел нечітких множин. Застосування НМТ1 та ІНМТ2 при побудові нечітких продукційних моделей зумовлює необхідність використовувати нові підходи при проектуванні систем підтримки прийняття рішень (СППР). Це викликано обмеженнями математичного апарату нечіткого логічного виведення. Так НМТ1 дозволяють реалізовувати алгоритм нечіткого виведення час виконання якого в СППР не перевищує заданих обмежень. Порівняно з НМТ1 алгоритм нечіткого виведення на основі ІНМТ2 потребує більшого часу виконання, але адекватність результатів нечіткого логічного виведення вища ніж при застосуванні тільки НМТ1. В роботі пропонується застосування ієрархічних нечітких продукційних моделей (ІНПМ) з сумісним використанням нечітких множин різних типів, а саме як на основі НМТ1, так ІНМТ2. При цьому нечіткі множини можуть мати різну ступінь нечіткості. В зв'язку з цим при побудові ІНПМ доцільно аналізувати ступінь нечіткості лінгвістичних змінних зі складу нечітких продукційних правил. Наведено поняття ступінь нечіткості. Проаналізовано основні методи визначення ступеню нечіткості. Розроблено метод порівняння ступеню нечіткості на основі аналізу кардинальних чисел нечітких множин. Наведенні результати порівняння розробленого методу з існуючими.

Ключові слова: нечіткі множини, інтервальні нечіткі множини, ієрархічна нечітка продукційна модель, ступінь нечіткості, кардинальне число.

Вступ

Постановка проблеми. Процес прийняття рішень в задачах управління складними динамічними системами протікає, як правило, в умовах нестахостичної невизначеності. Це зумовлено тим, що значна частина вхідних даних, представлена у вигляді інтервально-оцінюючих та лінгвістичних значень, в деяких випадках є достатньо суб'єктивною. Розглянута невизначеність ускладнює застосування традиційної дво-значної логіки для формалізації задач прийняття рішень в процесі розробки СППР. Одним з ефективних підходів, які дозволяють побудувати математичні моделі процесів прийняття рішень з урахуванням розглянутої невизначеності, є використання теорії нечітких множин та нечітких логічних систем. Але нечіткі множини як одного, так і різних типів можуть мати різну ступінь нечіткості. Задача визначення ступеню нечіткості дуже важлива в додатках теорії нечітких множин та нечіткої логіки. Цей показник є параметром оцінки якості різних процедур і алгоритмів при розробці СППР з використанням теорії нечітких множин та нечіткої логіки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою обґрунтування вибору нечіткої множини для більшого врахування невизначеності інформації, а також виявлення їх впливу на результат прийняття рішень, розроблені різноманітні методи визначення ступеню нечіткості. Основні методи визначення ступеню нечіткості між нечіткими множинами розглядаються в роботах [1–7]. Для визначення ступе-

ню нечіткості в нечітких множинах типу 1 в основному застосовується метричний метод, який полягає у визначенні відстані між нечіткою множиною та найближчою до неї чіткою множиною. Для цього використовують відстань Хеммінга [2]:

$$S^H = \sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| \quad (1)$$

або евклідову відстань

$$S^E = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i))^2} \quad (2)$$

Відповідно оцінка ступеню нечіткості має вигляд [11]:

$$\xi^H(A) = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)|; \quad (3)$$

$$\xi^E(A) = \frac{2}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i))^2} \quad (4)$$

Для ступеню нечіткості між інтервальними нечіткими множинами типу 2:

1) в роботі Зенг та Лі [3] пропонується визначення ступеню нечіткості за допомогою відстані Хеммінга між двома ІНМТ2:

$$\xi_{ZL}(A, \tilde{B}) = 1 - \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\left| \underline{\mu}_A(x_i) - \underline{\mu}_B(x_i) \right| + \left| \overline{\mu}_A(x_i) - \overline{\mu}_B(x_i) \right| \right); \quad (5)$$

2) Бу і Мендель в роботі [4], Нгуен та Крейновіч в роботі [5] пропонують для визначення ступеню нечіткості використовувати вираз

$$S_j(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{\int_X \min(\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{B}}(x)) dx + \int_X \min(\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \underline{\mu}_{\tilde{B}}(x)) dx}{\int_X \max(\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{B}}(x)) dx + \int_X \max(\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \underline{\mu}_{\tilde{B}}(x)) dx}; \quad (6)$$

3) Gorzałczany описує ступінь нечіткості як широке поняття, яке, як правило, охоплює як подібність, так і близькість [6] та визначається наступним чином

$$S_G(\tilde{A}, \tilde{B}) = [S^L(\tilde{A}, \tilde{B}), S^U(\tilde{A}, \tilde{B})]; \quad (7)$$

$$S^L(\tilde{A}, \tilde{B}) = \min\{S_1(\tilde{A}, \tilde{B}), S_2(\tilde{A}, \tilde{B})\}; \quad (8)$$

$$S^U(\tilde{A}, \tilde{B}) = \max\{S_1(\tilde{A}, \tilde{B}), S_2(\tilde{A}, \tilde{B})\}; \quad (9)$$

$$S_1(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{\max_{x \in X}(\min[\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \underline{\mu}_{\tilde{B}}(x)])}{\max_{x \in X} \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)}; \quad (10)$$

$$S_2(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{\max_{x \in X}(\min[\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{B}}(x)])}{\max_{x \in X} \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)}; \quad (11)$$

4) Бустінс в роботі [7] пропонує визначення ступеню нечіткості проводити наступним чином:

$$S_B(\tilde{A}, \tilde{B}) = [S_L(\tilde{A}, \tilde{B}), S_U(\tilde{A}, \tilde{B})]; \quad (12)$$

$$S_L(\tilde{A}, \tilde{B}) = \Upsilon_L(\tilde{A}, \tilde{B}) * \Upsilon_L(\tilde{B}, \tilde{A}); \quad (13)$$

$$S_U(\tilde{A}, \tilde{B}) = \Upsilon_U(\tilde{A}, \tilde{B}) * \Upsilon_U(\tilde{B}, \tilde{A}); \quad (14)$$

$$\Upsilon_L(\tilde{A}, \tilde{B}) = \inf_{x \in X} \{1, \min(1 - \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) + \underline{\mu}_{\tilde{B}}(x), 1 - \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x) + \bar{\mu}_{\tilde{B}}(x))\}; \quad (15)$$

$$\Upsilon_U(\tilde{A}, \tilde{B}) = \inf_{x \in X} \{1, \max(1 - \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) + \underline{\mu}_{\tilde{B}}(x), 1 - \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x) + \bar{\mu}_{\tilde{B}}(x))\}. \quad (16)$$

Для нечітких множин типу 2 в роботі [8] пропонується застосовувати z-зрізи:

$$S_{ZS}(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{\sum_{i \in L} z_i S_\lambda(\tilde{A}_{z_i}, \tilde{B}_{z_i})}{\sum_{i \in L} z_i}. \quad (17)$$

Ці методи дозволяють оцінити нечіткість нечітких множин одного типу. Але при побудові моделей складних динамічних систем для спрощення процесу нечіткого логічного виведення виникає необхідність визначення ступеню нечіткості між нечіткими множинами різних типів. Тому для вирішення цієї задачі необхідна розробка нових методів порівняння нечітких множин.

Метою статті є розробка методу визначення ступеню нечіткості між нечіткими множинами різних типів для їх порівняння і вибору при побудові нечітких продукційних моделей.

Виклад основного матеріалу

В рамках даної роботи поняття ступеню нечіткості [2] узагальнює такі поняття як міра подібності [1], нечітка міра [9], показник розмиття [10] та міра нечіткості. Структура методу зображена на рис. 1. В основі методу покладено використання потужності нечіткої множини або кардинального числа. Значення потужності дозволяє порівнювати різні нечіткі множини між собою. Кардинальне число $card(A)$, є характеристичним показником нечіткої множини та визначається за виразом (18) [12]:

Для НМТ1:

$$\|A\| = card(A) = \sum_{x \in S(A)} \mu_A(x) - \quad (18)$$

для дискретної нечіткої множини та

$$\|A\| = card(A) = \int \mu_A(x) - \quad (19)$$

для безперервної нечіткої множини.

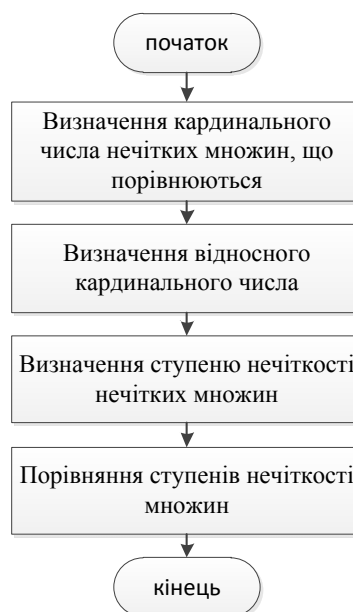


Рис. 1. Структура методу порівняння ступеню нечіткості

Відповідно для безперервних НМТ2 та ІНМТ2 (20):

$$\|A\| = card(A) = \int_{x \in S(A)} \int_{u \in J_x} \frac{\mu_A(x, u)}{(x, u)} du dx \quad J_x \subseteq [0, 1] \quad (20)$$

Відносна потужність нечіткої множини визначається як доля її потужності на одиницю елементу області визначення X. Ця оцінка може застосовуватися для порівняння нечітких множин різних типів (21–23).

$$S_A(\tilde{A}) = \|A\| = \frac{\sum_{x \in X} \mu_A(x)}{N}; \quad (21)$$

$$S_A(\tilde{A}) = \|A\| = \frac{\int_{x \in X} \mu_A(x) dx}{\int_{x \in X} dx}; \quad (22)$$

$$S_A(\tilde{A}) = \|A\| = \frac{\int_{x \in S(A)} \int_{u \in J_x} \frac{\mu_A(x, u)}{\mu(x, u)} du dx}{\int_{x \in S(A)} \int_{u \in J_x} du dx}. \quad (23)$$

Для визначення ступеню нечіткості буде використовуватися відстань між відносною потужністю нечіткої множини та відносною потужністю найближчої чіткої множини. Оскільки відносна потужність чіткої множини дорівнює 1, це дозволяє застосовувати цей показник для всіх типів нечітких множин без потреби будувати найближчі до них чіткі множини (що доволі складно, особливо для ІНМТ2 та НМТ2).

В загальному вигляді показник ступеню нечіткості має вигляд.

Для НМТ1 (24–25):

$$\xi(A) = 1 - \frac{\sum_{x \in X} \mu_A(x)}{N}; \quad (24)$$

$$\xi(A) = 1 - \frac{\int_{x \in X} \mu_A(x) dx}{\int_{x \in X} dx}. \quad (25)$$

Для НМТ2 та ІНМТ2 (26):

$$\xi(A) = 1 - \frac{\int_{x \in S(A)} \int_{u \in J_x} \frac{\mu_A(x, u)}{\mu(x, u)} du dx}{\int_{x \in S(A)} \int_{u \in J_x} du dx}. \quad (26)$$

В результаті отримуємо значення оцінки ступеню нечіткості нечіткої множини яке універсальне для нечітких множин різних типів і дозволяє їх порівнювати.

Як приклад розглянемо застосування методу при порівнянні ступеню нечіткості в нечітких множинах лінгвістичної змінної «Виплати» в задачі побудови нечіткої моделі оцінки фінансової спроможності клієнтів [13]. Графік функцій приналежності нечітких множин показані на рис. 2.

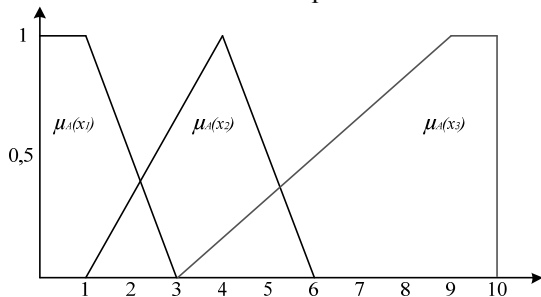


Рис. 2. Графік функцій приналежності нечітких множин

Функції приналежності мають вигляд (27–29):

$$\mu_A(X_1) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 1; \\ \frac{30-10x}{20}, & 1 < x \leq 3; \end{cases} \quad (27)$$

$$\mu_A(X_2) = \begin{cases} \frac{10x-10}{30}, & 1 \leq x \leq 4; \\ \frac{60-10x}{20}, & 4 < x \leq 6; \end{cases} \quad (28)$$

$$\mu_A(X_3) = \begin{cases} 1, & 9 \leq x \leq 10; \\ \frac{10x-30}{60}, & 3 \leq x < 9. \end{cases} \quad (29)$$

Розглянемо оцінку ступенів нечіткості отримані, які за допомогою знаходження відстані Хеммінга ($\xi^H(X)$), евклідової відстані ($\xi^E(X)$) та методу відносної потужності нечіткої множини ($\xi^A(X)$). Результати наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Оцінка ступенів нечіткості множин

	$\xi^H(X)$	$\xi^E(X)$	$\xi^A(X)$
X1	0,250	0,500	0,33
X2	0,386	0,558	0,58
X3	0,375	0,513	0,5

Порівняльний аналіз оцінок ступенів нечіткості нечітких множин зображено на рис. 3.

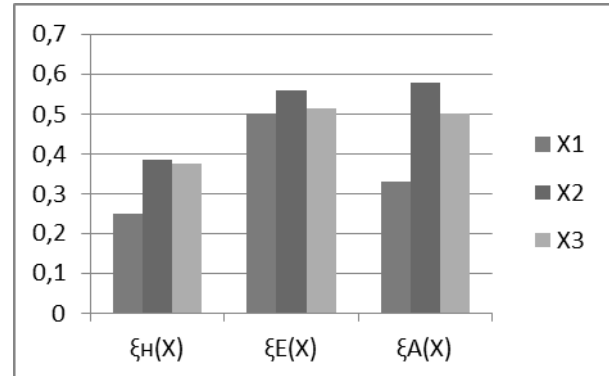


Рис. 3. Діаграма співвідношення оцінок ступенів нечіткості, визначених різними методами

Визначимо ступінь нечіткості нечітких множин ІНМТ2. Для цього в заданих нечітких множинах задамо відбиток нечіткості 10% інтервалом. Отриманий графік функції приналежності зображений на рис. 4.

Функції приналежності мають вигляд:

$$\mu_A(X_1) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 1; \\ \frac{25-10x}{15}, & \\ \frac{35-10x}{25}, & 1 < x \leq 3. \end{cases} \quad (30)$$

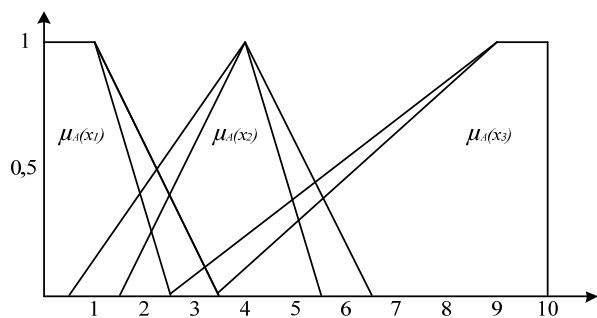


Рис. 4. Графік функцій приналежності нечітких множин

$$\mu_A(X_2) = \begin{cases} \frac{10x - 5}{35}, \\ \frac{10x - 15}{25}, & 1 \leq x \leq 4; \\ \frac{65 - 10x}{25}, \\ \frac{55 - 10x}{15}, & 4 < x \leq 6; \end{cases} \quad (31)$$

$$\mu_A(X_3) = \begin{cases} 1, & 9 \leq x \leq 10; \\ \frac{10x - 25}{65}, & 3 \leq x < 9; \\ \frac{10x - 35}{55}. \end{cases} \quad (32)$$

Оцінка ступеню нечіткості нечітких множин лінгвістичної змінної «Виплати» на основі НМТ1 та ІНМТ2 зображені у табл. 2.

Таблиця 2
Оцінка ступенів нечіткості множин

	$\xi^A(X)$	$\xi^{\bar{A}}(X)$
X1	0,33	0,563
X2	0,58	0,823
X3	0,5	0,811

Порівняльний аналіз оцінок ступенів нечіткості нечітких множин зображено на рис. 5.

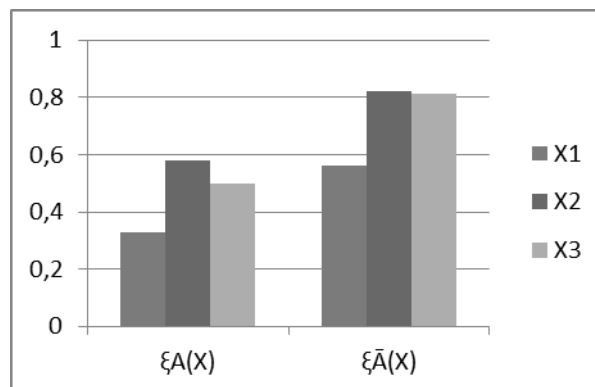


Рис. 5 Діаграма співвідношення оцінок ступенів нечіткості визначених різними методами тексту статті (рис. 2)

Висновки

Розроблений метод дозволяє визначити та порівняти ступінь нечіткості нечіткої множини без визначення чіткої множини, що для ІНМТ2 доволі складно. Даний підхід можна застосовувати для визначення ступеню нечіткості для нечітких множин різних типів. Він дає універсальну оцінку ступеню нечіткості, що дозволяє порівнювати нечітку множини як одного типу, так і різних типів між собою.

В результаті проведеного дослідження, було визначено, що при застосуванні ІНМТ2 з відбитком нечіткості 10 % від НМТ1 ступінь нечіткості збільшується в середньому до 30 %. Таким чином в задачах, при формалізації яких необхідно враховувати невизначеність з використанням нечітких множин, цей метод дозволить обгрунтовано проводити вибір типу нечітких множин для побудови нечітких продукційних моделей.

Список літератури

1. Culloch J.C. Novel methods of measuring the similarity and distance between complex fuzzy sets [PhD thesis] / J.C. Culloch. – Nottingham: University of Nottingham, 2016. – 267 p.
2. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений / А.П. Рыжов. – М.: МГУ, 2003. – 81 с.
3. Zeng W. Relationship between similarity measure and entropy of interval valued fuzzy sets / W. Zeng, H. Li // Fuzzy Sets and Systems. – 2006. – Vol. 157, No. 11. – Pp. 1477-1484.
4. Wu D. A comparative study of ranking methods, similarity measures and uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets / D. Wu, J.M. Mendel // Information Sciences. – 2009. – Vol. 179, No. 8 – P. 1169-1192.
5. Nguyen H.T. Computing Degrees of Subsethood and Similarity for Interval-Valued Fuzzy Sets: Fast Algorithms / H.T. Nguyen, V. Kreinovich // Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Technologies InTec'08. – 2008. – P. 47-55.
6. Gorzalczany M.B. A method of inference in approximate reasoning based on interval-valued fuzzy sets / M.B. Gorzalczany // Fuzzy Sets and Systems. – 1987. – Vol. 21, No. 1 – P. 1-17.
7. Bustince H. Indicator of inclusion grade for interval-valued fuzzy sets, application to approximate reasoning based on interval-valued fuzzy sets / H. Bustince // International Journal of Approximate Reasoning. – 2000. – Vol. 23, No. 3 – P. 137-209.
8. Wagner C. Toward General Type-2 Fuzzy Logic Systems Based on zSlices / C. Wagner, H. Hagrais // Fuzzy Systems, IEEE Transactions. – 2010. – Vol. 18, No. 4. – P. 637-660.

9. Greenfield S. The Uncertainty Associated with a Type-2 FuzzySet / S. Greenfield, R.I. John // Views on Fuzzy Sets and Systems from Different Perspectives, in 'Studies in Fuzziness and Soft Computing. – 2009. – Vol. 243 – P. 471-483.
10. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г.Э. Яхьяева. – М.: Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ", 2016. – 187с. (Основы информационных технологий).
11. Конишева Л.К. Элементы теории нечетких множеств: учеб. пособ. / Л.К. Конишева, Т.А. Серова. – Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО "Рос. гос. проф.-пед. ун-т", 2007. – 129 с.
12. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.: ил. (Адаптивные и интеллектуальные системы).
13. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.: ил.

References

1. McCulloch, C. (2016), *Novel methods of measuring the similarity and distance between complex fuzzy sets: PhD thesis*, University of Nottingham, Nottingham, 267 p.
2. Ryzhov, A.P. (2003), "*Elementy teorii nechetkikh mnozhestv i yeye prilozheniy*" [*Elements of the theory of fuzzy sets and its applications*], MGU, Moscow, 81 p.
3. Zeng, W. and Li, H. (2006), Relationship between similarity measure and entropy of interval valued fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 157, No. 11, pp. 1477-1484.
4. Wu, D. and Mendel, J.M. (2009), A comparative study of ranking methods, similarity measures and uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets, *Information Sciences*, Vol. 179, No. 8, pp. 1169-1192.
5. Nguyen, H.T. and Kreinovich, V. (2008), Computing Degrees of Subsethood and Similarity for Interval-Valued Fuzzy Sets: Fast Algorithms, *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Technologies InTec '08*, pp. 47-55.
6. Gorzalczany, M.B. (1987), A method of inference in approximate reasoning based on interval-valued fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 21, No. 1, pp. 1-17.
7. Bustince, H. (2000), Indicator of inclusion grade for interval-valued fuzzy sets. application to approximate reasoning based on interval-valued fuzzy sets, *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 23, No. 3, pp. 137-209.
8. Wagner, C. and Hagrais, H. (2010), Toward General Type-2 Fuzzy Logic Systems Based on zSlices, *Fuzzy Systems, IEEE Transactions*, Vol. 18, No. 4, pp. 637-660.
9. Greenfield, S. and John, R.I. (2009), The Uncertainty Associated with a Type-2 FuzzySet, *Views on Fuzzy Sets and Systems from Different Perspectives*, in 'Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 243, pp. 471-483.
10. Yakhyaeva, G.E. (2016), "*Nechetkiye mnozhestva i neyronnyye seti*" [*Fuzzy sets and neural networks*], Moscow, 187 p.
11. Konyosheva, K.L. and Serov, T.A. (2007), "*Elementy teorii nechetkikh mnozhestv: ucheb. posobiye*" [*Elements of the theory of fuzzy sets*], Ekaterinburg, 129 p.
12. Pegat, A. (2013), "*Nechetkoye modelirovaniye i upravleniye*" [*Unclear modeling and control*], Moscow, 798 p.
13. Leonenkov, A.V. (2005), "*Nechetkoye modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH*" [*Fuzzy modeling in the environment of MATLAB and fuzzyTECH*], St. Petersburg, 736 p.

Надійшла до редколегії 29.03.2018

Схвалена до друку 22.05.2018

Відомості про авторів:

Олізаренко Сергій Анатолійович

доктор технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7762-6541>

Самокіш Артем Валерійович

ад'юнкт Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1924-9351>

Капранов Володимирович Олександрович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Харківського національного університету Повітряних Сил
ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7069-4907>

Information about the authors:

Sergiy Olizarenko

Doctor of Technical Sciences
Senior Research
Chief of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7762-6541>

Artem Samokish

Postgraduate of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1924-9351>

Volodimir Kapranov

Candidate of Technical Sciences
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7069-4907>

МЕТОД СРАВНЕНИЯ СТЕПЕНИ НЕЧЕТКОСТИ МЕЖДУ НЕЧЕТКИМИ МНОЖЕСТВАМИ ТИПА 1 И ИНТЕРВАЛЬНЫМИ НЕЧЕТКИМИ МНОЖЕСТВАМИ

С.А. Олизаренко, А.В. Самокиш, В.А. Капранов

В статье рассматривается метод сравнения степени нечёткости между нечеткими множествами тип 1 (НМТ1) и интервальными нечеткими множествами тип 2 (ИНМТ2) на основе анализа кардинального числа нечетких множеств. Применения НМТ1 и ИНМТ2 при построении нечетких продукционных моделей требует применять новые подходы при проектировании систем поддержки принятия решений (СППР). Это вызвано ограничениями математического аппарата нечеткого логического вывода. Так НМТ1 позволяет строить алгоритмы нечеткого логического вывода, время выполнения которых не превышает заданных ограничений. В сравнении с НМТ1, алгоритм нечеткого вывода на основе ИНМТ2 требует большего времени выполнения, но адекватность результатов выше чем у НМТ1. В работе предложено применение иерархических нечетких продукционных моделей (ИНПМ) с совместным использованием нечетких множеств разных типов, а именно как на основе НМТ1, так и ИНМТ2. При этом нечеткие множества могут иметь разную степень нечеткости. В связи с этим при построении ИНМТ целесообразно анализировать степень нечеткости лингвистических переменных из состава нечетких продукционных правил. Определены понятия степени нечеткости. Проанализировано основные методы определения степени нечеткости на основе анализа кардинальных чисел нечетких множеств. Приведены результаты сравнения разработанного метода с уже существующими методами.

Ключевые слова: нечеткие множества, интервальные нечеткие множества, иерархическая нечеткая продукционная модель, степень нечеткости, кардинальное число.

METHOD OF COMPARISON OF THE DEGREE OF EXCESSITY BETWEEN THE FUZZY SETS OF TYPE 1 AND INTERVAL FUZZY SETS

S. Olizarenko, A. Samokish, V. Kapranov

The method of comparing the degree of fuzzy between fuzzy sets of type 1 (HMT1) and interval fuzzy sets of type 2 (INMT2) is considered on the basis of analysis of the cardinal number of fuzzy sets. The application of HMT1 and INMT2 in the construction of fuzzy production models requires the use of new approaches in the design of decision support systems (DSS).

It follows from the contradiction that, for complex dynamic systems of intelligence, in which the data formalization is used by INPM, and in which the high requirements for the adequacy of the source data, the use of INMT2 does not satisfy the time constraints, and the result is a set of requirements. To solve this problem, it is proposed to use mixed hierarchical fuzzy production models (ZINPM). This approach consists in the joint application when constructing INPM production models both on the basis of NMT1 and INMT2.

This is due to the limitations of the mathematical apparatus of fuzzy inference. So HMT1 allows to build algorithms of fuzzy inference, the execution time of which does not exceed the specified limitations. In comparison with HMT1, the algorithm of fuzzy inference based on INMT2 requires more execution time, but the adequacy of the results is higher than that of NMT1. In the paper, the use of hierarchical fuzzy production models (INPM) with the combined use of fuzzy sets of different types, namely both on the basis of HMT1 and INMT2, was proposed.

In this case, fuzzy sets can have different degrees of fuzziness. In connection with this, when constructing an INMT, it is advisable to analyze the degree of fuzziness of linguistic variables from the composition of fuzzy production rules. Definitions of the degree of fuzziness are defined. The main methods for determining the degree of fuzziness based on the analysis of the cardinal numbers of fuzzy sets are analyzed. The results of comparison of the developed method with existing methods are given.

Keywords: fuzzy sets, interval fuzzy sets, hierarchical fuzzy production model, degree of fuzziness, cardinal number.