

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТОДУ ДЕФАЗИФІКАЦІЇ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ ТАКАГІ-СУГЕНО

© Демків Л.І., 2013

Розглянуто динамічну систему, що складається з двох підсистем. Досліджено вплив методу дефазифікації на якісні показники функціонування системи. Здійснено порівняння основних методів дефазифікації.

Ключові слова: нечітка логіка, функція належності, динамічна система, дефазифікація

A dynamic system that consists of two subsystems is considered. The influence of defuzzification method on quality indicators of the system is investigated. A comparison of the main defuzzification methods is held.

Key words: fuzzy logic, membership function, dynamical system, defuzzification

Вступ

Сьогодні в електромеханічних системах одним з підходів до синтезу регуляторів є застосування апарата теорії нечітких множин. Такий підхід дає змогу врахувати існуючі нелінійності та синтезувати керуючі впливи для різних точок простору станів.

Застосування нечіткої логіки бере свій початок з відомої роботи Заде [22]. Вперше застосування нечіткої логіки в задачах керування стало можливим, зокрема, завдяки роботам Mamdani [12].

Однією з найбільших переваг нечітких моделей є велике число ступенів свободи, що дозволяє адаптувати систему до різних режимів та умов роботи.

Зокрема одним з таких ступенів свободи можна вважати вибір нечіткої моделі. Наприклад, під час дослідження електромеханічних систем виявилось, що зручніше застосовувати регулятори типу Такагі-Сугено [19]. Моделі Такагі-Сугено часто розглядають як узагальнення моделі Мамдані (див. напр. [17]). Існують і інші типи нечітких моделей, наприклад, Tsukamoto [20], стандартна адитивна модель [10] проте вони не набули значної популярності.

Крім того такими ступенями свободи є вибір змінних, для яких виконується фазифікація [7], вибір способу фазифікації, тобто вибір виду функції належності та її параметрів [1, 3, 4, 8, 9], вибір кількості термів для кожної лінгвістичної змінної [6], формування бази правил [11], вибір методів агрегації та акумуляції [6] (максимум, мінімум, добуток тощо), вибір методу дефазифікації [21].

Традиційно найбільш поширеними методами дефазифікації вважаються спрощений гравітаційний метод (center of average – COA) та метод середніх максимумів (mean of maximum – MOM), однією з можливих модифікацій якого є метод середніх мінімумів. У випадку регулятора типу Мамдані існує кілька класичних методів дефазифікації – першого максимуму, середнього максимуму, останнього максимуму, центра мас тощо. Порівнянню класичних нових методів дефазифікації у випадку регулятора Мамдані присвячено багато робіт [13, 15, 16, 18]. А у випадку регулятора Такагі-Сугено прийнято застосовувати спрощений гравітаційний метод дефазифікації, а інші підходи не достатньо досліджені. У статті порівняно класичний підхід з дефазифікацією, яку прийнято застосовувати у випадку регулятора Мамдані.

Постановка задачі

Дослідження будемо проводити на прикладі двомасової системи (рис. 1). Детальний аналіз цієї системи проведено в [5]. Зокрема в цій роботі проведено синтез класичного модального регулятора у випадку налаштування на стандартні форми (бінома, Батерворта тощо). Проте часто в електромеханічних системах, зокрема в системах з точним позиціонуванням (роботизована рука тощо) зручно коли на початку роботи (в області великих відхилень) швидкодія системи є великою, а при наближенні до області робочої точки вона зменшується і система плавно, без перерегулювань виходить на заданий рівень функціонування. Застосування апарата теорії нечітких множин дає змогу синтезувати керуючі впливи, що забезпечують формування траєкторії руху системи як сукупності траєкторій її підсистем з бажаними характеристиками.

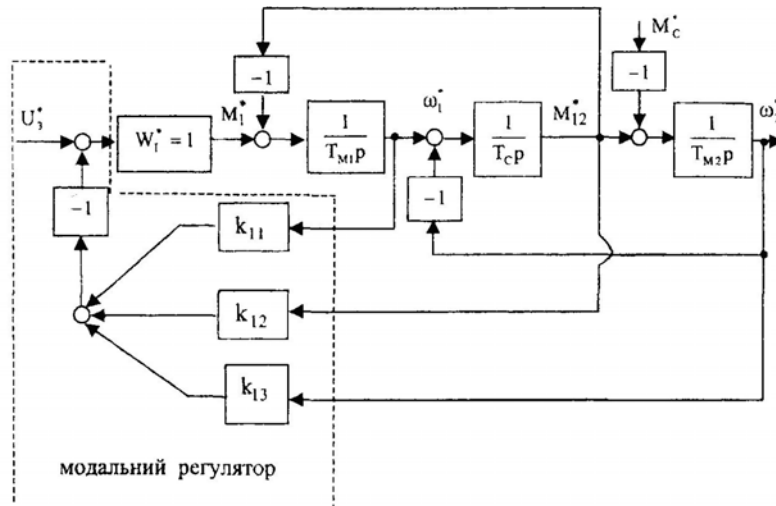


Рис. 1. Структурна схема двомасової моделі з модальним регулятором

При синтезі регулятора скористаємось підходом, запропонованим в [7]. А саме, фазифікацію будемо проводити лише за похибкою регулювання, а інші координати вектора стану системи фазифікувати не будемо. Для фазифікації застосуємо функції належності $\mu(e; \xi, \psi) = \mu(e)$, що зображено на рис. 2.

У цьому випадку база правил матиме вигляд

$$IF (e \text{ in } B) THEN u = f_B(\bar{x}),$$

$$IF (e \text{ in } S) THEN u = f_S(\bar{x}),$$

де $e = x_{зад} - x$ – похибка регулювання, $B(Big)$ та $S(Small)$ області великих та малих відхилень траєкторій системи від заданого рівня функціонування; \bar{x} – вектор станів системи; $f_B(\bar{x})$ та $f_S(\bar{x})$ відповідні функції вектора станів системи. У випадку регулятора за повним вектором стану ці функції мають вигляд

$$f_i(\bar{x}) = \sum_j k_j^i x_j + u_0, \quad i \in \{B, S\}$$

Результати досліджень

А. Дефазифікація спрощеним гравітаційним методом та max-min дефазифікація

Під час застосування дефазифікації спрощеним гравітаційним методом одержують

$$u = \frac{\sum_i \mu_i(e) f_i(\bar{x})}{\sum_i \mu_i(e)}, \quad i \in \{B, S\}, \quad (1)$$

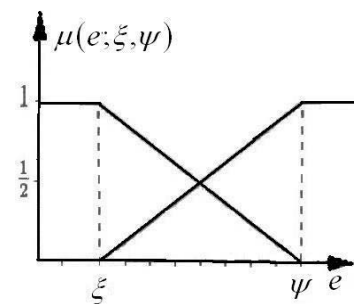


Рис. 2. Функції належності S та Z типу

а при дефазифікації типу max-min результуюче значення сигналу регулятора дорівнюватиме тій функції вектора станів, в якій відповідна функція належності буде більшою (меншою). У такому разі систему можна буде порівнювати з системами зі змінною структурою (див. [2]), в яких регулятор задається так:

$$u = \sum_i \Psi_i x_i,$$

$$\Psi_i = \begin{cases} \alpha_i, & x_i s > 0, \\ \beta_i, & x_i s < 0, \end{cases}$$

$$s = \sum_i c_i x_i$$

У досліджуваному випадку, враховуючи, що фазифікація ведеться лише за однією змінною, площиною перемикачів можна вважати пряму $\frac{e-\psi}{\xi-\psi}$.

Дослідження проводились для випадку коли функція $f_B(\bar{x})$ відповідає налаштуванню системи з більшою швидкістю та перерегулюванням в області робочої точки, а $f_S(\bar{x})$ – з меншою швидкістю та плавним підходом до області робочої точки. Вибір оптимальних значень параметрів ξ та ψ не є предметом дослідження цієї роботи, та передусім залежить від значень функцій $f_B(\bar{x})$ та $f_S(\bar{x})$, але при моделюванні вибір цих параметрів ґрунтувався на дослідженні, проведеному в [3]. Додатково в момент часу 2.5 с на систему подається навантаження, що дорівнює 30% від величини вхідного сигналу.

Траєкторії руху систем (рис. 4, в) з дефазифікацією спрощеним гравітаційним методом та дефазифікацією типу max забезпечують перемикання з підсистеми з регулятором $u = f_B(\bar{x})$ на підсистему з регулятором $u = f_S(\bar{x})$, а в результаті застосування дефазифікації типу min на початковому етапі функціонуватиме підсистеми з регулятором $u = f_S(\bar{x})$, що підтверджено поведінкою вихідного сигналу регуляторів на рис. 4, г. Враховуючи траєкторію руху системи (рис. 4, в) з погляду стандартних показників якості (ISE, ITAE, ITSE, IAE) [14] між системами з нечіткими регуляторами, в яких використано дефазифікацію спрощеним гравітаційним методом і max дефазифікацію практично немає різниці. При використанні згаданих функцій керування значного стрибка сигналу регулятора немає – він становить 0.26. У цій системі такі перемикання не істотно впливають на зміну вихідної та проміжних координат (див. рис. 4, а, б, в).

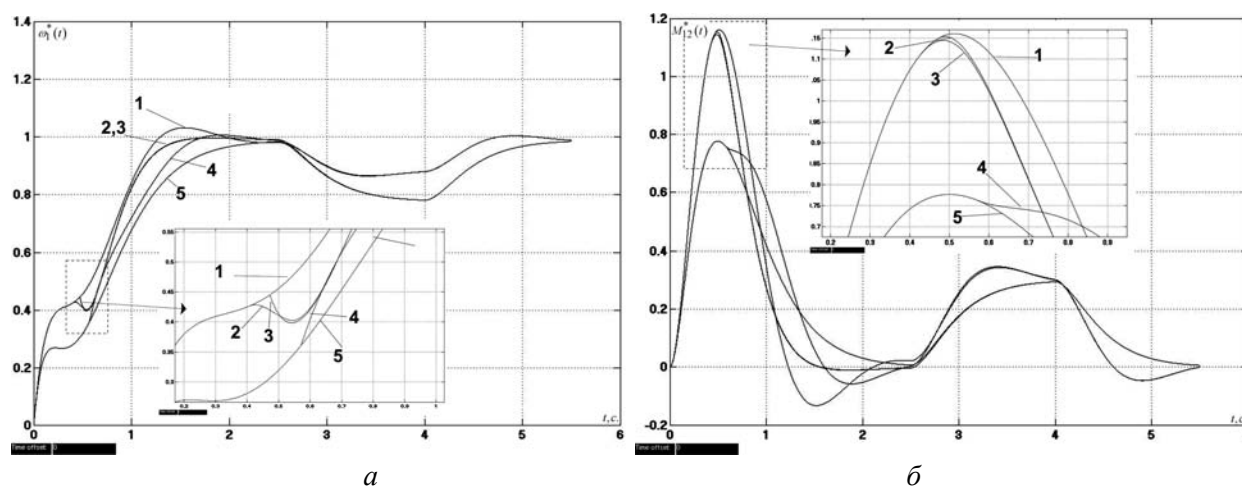


Рис. 4. Залежність від часу:
а – швидкості двигуна; б – моменту пружного елемента

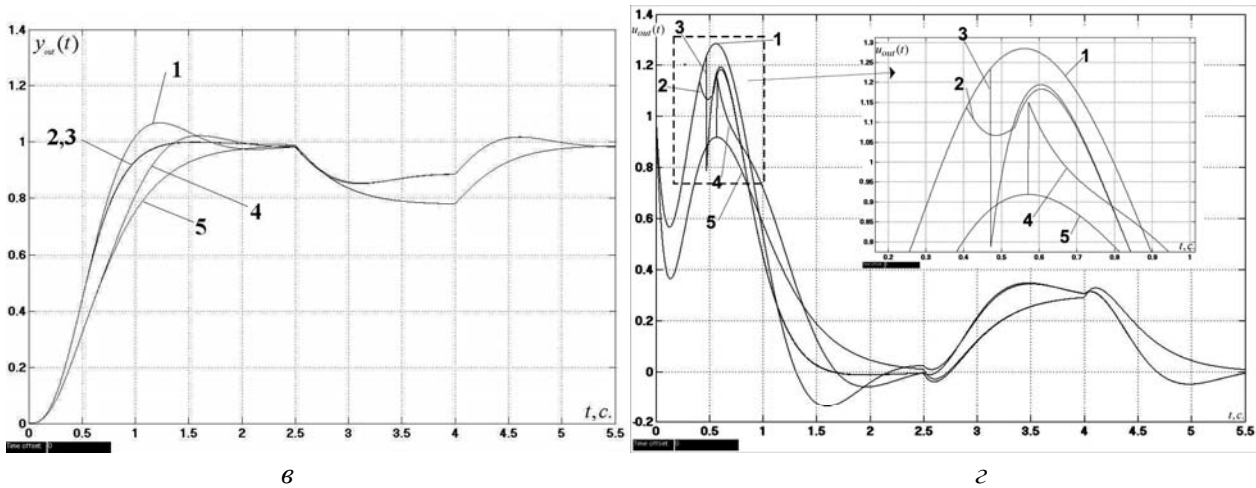


Рис. 4. (Продовження). Залежність від часу:

в – траєкторії руху системи; *г* – вихідного сигналу регулятора; для випадків:
 1 – системи з модальним регулятором $u = f_B(\bar{x})$ 2 – системи з нечітким регулятором та дефазифікацією гравітаційним методом; 3 – системи з нечітким регулятором та дефазифікацією типу *max*; 4 – системи з нечітким регулятором та дефазифікацією типу *min*; 5 – системи з модальним регулятором $u = f_S(\bar{x})$

Однак за певних параметрів системи цей стрибок може привести до автоколивних режимів, що є характерним для систем з перемиканнями. Зокрема таке перемикання може бути вкрай небажаним, якщо йдеться про системи, в яких відбувається зміна навантаження.

Як видно з рис. 4 основною відмінністю між регуляторами є спосіб переходу між підсистемами. Застосування спрощеного гравітаційного методу, на відміну від *max*-дефазифікації, забезпечує плавне перемикання між підсистемами. З (1), враховуючи, що $\mu_B + \mu_S = 1$, впливає, що $u = \mu_B(e) f_B(\bar{x}) + (1 - \mu_B(e)) f_S(\bar{x})$, а отже природним є той факт, що на початковому етапі (тобто коли $e \in [\psi; x_{зад}]$) сигнали регуляторів збігаються, адже $\mu_B(e) = \max\{\mu_B(e), \mu_S(e)\} = 1$.

Б. Дефазифікація BADD та M-SLIDE

Узагальненням розглянутих вище методів дефазифікації є методи BADD, SLIDE та M-SLIDE котрі запропонували у своїх роботах D. Filev та R. Yager [21].

У випадку дефазифікації BADD керування можна визначити за формулою

$$u = \frac{\sum_i (\mu_i(e))^\alpha f_i(\bar{x})}{\sum_i (\mu_i(e))^\alpha}, \quad i \in \{B, S\},$$

де $\alpha \in [0; \infty]$. Залежно від значення цього параметра, BADD може збігатися з розглянутими методами. Зокрема коли $\alpha = 1$, то BADD збігається з COA, а коли $\alpha = \infty$ – з MOM.

Дефазифікація SLIDE є кусково-лінійною дефазифікацією, результат якої нелінійним чином залежить від двох параметрів. Залежно від значень цих параметрів SLIDE також може збігатися з COA та MOM. Значення результуючої величини (після дефазифікації) нелінійним чином залежить від цих двох параметрів, тому їх підбір – це не просто задача. Детальніше про це описано, зокрема, в [21]. Для полегшення вибору параметрів дефазифікацій там само в літературі запропоновано застосовувати модифікований метод – M-SLIDE, який залежить від одного параметра β , вибір якого пропонується здійснювати з використанням прогнозуючого фільтра Калмана. Результатом дефазифікації буде

$$u = \beta u^{MOM} + (1 - \beta) u^{COA},$$

де u^{MOM} та u^{COA} – результати дефазифікації методами MOM та COA, відповідно. Тобто, фактично, результат дефазифікації M-SLIDE лежатиме між MOM та COA та залежно від значення параметра β збігатиметься з одним з них. Зауважимо, що значення параметра β після навчання залежить від значення параметра α дефазифікації BADD.

Траєкторії руху системи з дефазифікацією BADD та COA є дуже близькими до траєкторій 2 та 3, тому наводити їх не будемо. Наведемо, однак, залежність сигналу регулювання від часу для дефазифікації BADD з різними значеннями параметра α (рис. 5, а) та відповідної дефазифікації M-SLIDE (рис. 5, б).

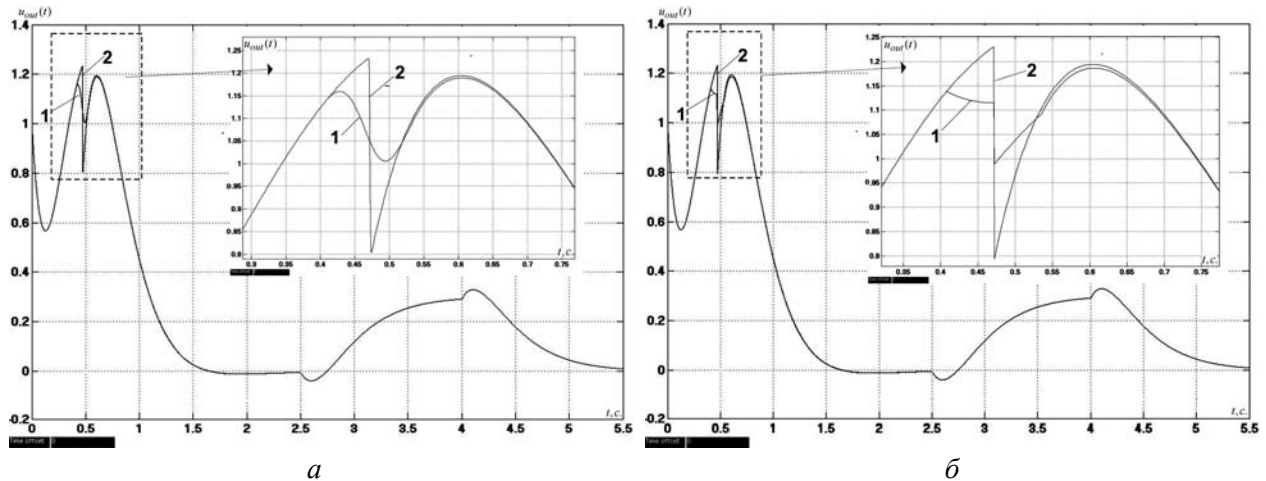


Рис. 5. Зміна в часі вихідного сигналу регулятора у випадку:
а – дефазифікації BADD; б – дефазифікації M-SLIDE. Значення параметра α :
1 – $\alpha = 2$; 2 – $\alpha = 100$

Як видно з рис. 5, зі збільшенням значення параметра α , результат дефазифікації BADD наближається до MOM, тобто, проводити дослідження при більших значеннях цього параметра для цієї системи немає змісту. Значення параметра β дорівнює, відповідно, 0.2977, 0.9771.

Результати дають змогу стверджувати, що зі збільшенням значення параметра α зменшується час та плавність перемикання, що на фоні відсутнього виграшу в значеннях показників ISE, ITAE, ITSE та IAE свідчить про доцільність вибору невеликого значення цього параметра.

Варто зазначити, що вибір методу дефазифікації особливо не впливає на поведінку системи при дії зовнішніх збурень та визначається, передусім, послідовністю перемикань між підсистемами.

Висновки

Для деяких моделей вводу-виводу, зокрема у випадку Такагі-Сугено, вибір методу дефазифікації не є принциповим, оскільки він не дає змоги істотно покращити динамічні характеристики системи. Інше можна спостерігати при використанні моделі Мамдані, де перемикання може бути достатньо великим.

Очевидно, що основним недоліком дефазифікації max (MOM) та min є стрибкоподібне перемикання між підсистемами. Крім того, застосування такої дефазифікації, так само як і звичайної системи зі змінною структурою може привести до виникнення ефекту гіперперемикань, що істотно погіршує якість синтезованої системи. Найбільш гладке перемикання відбувається за допомогою дефазифікації COA та BADD дефазифікації з невеликим значенням параметра. При всіх досліджуваних методах дефазифікації значення проміжних координат змінювались відповідно до зміни величини керуючого впливу. Остаточний висновок про застосовуваний метод дефазифікації слід робити враховуючи особливості конкретного електромеханічного пристрою.

Перспективи подальших досліджень

У подальших дослідження увагу буде зосереджено на дослідженні систем з регуляторами, функції належності яких не задовольняють умову поділу одиниці (partition of unity).

1. Демків Л.І. Дослідження впливу параметрів функції належності на якісні показники функціонування системи з двома коренями в правій півплощині / Л.І. Демків // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2012. – № 736. – С. 36–43.
2. Емельянова С.В. Теория систем с переменной структурой / С.В. Емельянова – М.: Наука, 1970. – 3.
3. Лозинський А.О. Дослідження впливу вигляду функції належності на динамічні показники системи при багатокритеріальній оптимізації зі змінними ваговими коефіцієнтами / А.О. Лозинський, Л.І. Демків // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 5. – С. 137–144.
4. Лозинський А.О. Дослідження впливу параметрів функцій належності нечіткого регулятора зі сформованою нестійкою підсистемою на прикладі двомасової електромеханічної системи / А.О. Лозинський, Л.І. Демків // Електротехніка і Електроенергетика – 2012. – № 2. – С. 4–11.
5. Маруцак Я.Ю. Синтез електромеханічних систем з послідовним та паралельним коригуванням / Я.Ю. Маруцак – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2005. – 207 с.
6. Alejandro Aceves-Lopes A simplified version of Mamdani's fuzzy controller: the natural logic controller / Alejandro Aceves-Lopes, Joseph Aguilar-Martin // IEEE Transactions on fuzzy systems. – 2006. – Vol. 14, N 1. – P. 16–30.
7. Hu B.G. A systematic study of fuzzy PID controllers function based evaluation approach / Hu B.G., Mann G.K.I., Gosine R.G. // IEEE Trans. on fuzzy systems. – 2001. – Vol. 9, N 5. – P. 699–712.
8. Koprinkova P. Membership function shape and its influence on the dynamical behavior of fuzzy logic controller / P. Koprinkova // Cybernetics and Systems: An International Journal. – 2000. – N 31. – P. 161–173.
9. Koprinkova P. Membership function shape and its influence on the stability of fuzzy control systems / P. Koprinkova // Cybernetics and Systems: An International Journal. – 2000. – Vol. 31. – P. 353–371.
10. Kosko B. Fuzzy engineering / B. Kosko – Prentice Hall, 1996. – 549 p.
11. MacVicar-Whelan P.J. Fuzzy sets for man machine interaction / P.J. MacVicar-Whelan // Int. J. Man-Mach. Stud. – 1976. – N 8. – P. 687–697.
12. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant. / E.H. Mamdani // Proc IEEE. – 1974. – Vol. 121, N 12. – P. 1585–1588.
13. Takashi Mitsuishi Continuity of defuzzification and its application to fuzzy control / Takashi Mitsuishi, Kiyoshi Sawada, Yasunari Shidma // Int.J. Information and Math.Sci. – 2009. – Vol. 5, N 3. – P. 233–237.
14. Nagrath I.J. Control systems engineering / I.J. Nagrath, M. Gopal – New age Int., 2011.
15. Ambalal V. Patel Simplest fuzzy PI controller under various defuzzification methods / Ambalal V. Patel // Int.J. computational cognition. – 2005. – Vol. 3, N 1. – P. 21–34.
16. Pham D.T. Action aggregation and defuzzification in Mamdani-type fuzzy system / D.T. Pham, M. Castellani // Proc. IMech.E. – 2002. – Vol. 216. – P. 747–759.
17. Piegat A. Modelowanie i sterowanie rozmyte / A. Piegat – Warszawa: "Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT", 2003. – 678 p.
18. Saade J.J. A defuzzification based new algorithm for the design of Mamdani-type fuzzy controllers / J.J. Saade // Mathwar & Soft Computing. – 2000. – Vol. 7. – P. 159–173.
19. Takagi T. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Trans. on Syst. – 1985. – Vol. SMC-15, N 1. – P. 116–132.
20. Tsukamoto Y. Advances in fuzzy set theory and application / Y. Tsukamoto – North-Holland, 1979.
21. Yager R.R. Essentials of fuzzy modeling and control / R.R. Yager, D.P. Filev – New York: John Wiley & Sons, 1994.
22. Zadeh L. Fuzzy sets / L. Zadeh // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338–353.