

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 004.89:614.842.4

¹О.М. Землянський, ²В.Є. Снитюк¹Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, Черкаси²Черкаський державний технологічний університет, Черкаси**ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ
НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНИХ ВИСНОВКІВ**

Розглянуто задачу оптимізації системи пожежної сигналізації будівель і споруд. Визначені причини неефективності існуючих схем розміщення пожежних сповіщувачів. Запропоновано моделі, структурна та параметрична ідентифікація яких дозволить визначити оптимальну кількість пожежних сповіщувачів у приміщенні залежно від прогнозованих наслідків можливої пожежі. Відзначено необхідність використання апарату теорії нечітких множин як природного засобу числення суб'єктивних суджень та їх об'єктивізації.

Ключові слова: системи пожежної сигналізації, експерт, пожежний сповіщувач, пожежне навантаження, модель, оптимізація, нечітка множина, функція належності

Вступ і проблема дослідження

Останнє десятиліття відзначене відносно постійною щорічною кількістю пожеж та тенденцією збільшення кількості загиблих і травмованих, а також обсягів матеріальних збитків. Не в останню чергу цей факт обумовлений низькою ефективністю систем пожежної автоматики і, зокрема, систем виявлення пожеж – систем пожежної сигналізації. Незважаючи на те, що за рядом кількісних показників щодо таких систем країни СНД і Україна, зокрема, входять до групи провідних країн світу, якісні показники, що відображають рівень технічних рішень в цій галузі, в країнах СНД на один-два порядки є нижчими, ніж у світі. За кордоном дослідження і розробки у даній галузі ведуться чисельними організаціями та установами, зокрема, управлінням по дослідженню в галузі будівництва (BRE, Великобританія), Лабораторією будівництва та дослідження пожеж (BERL, США), Інститутом пожежних досліджень (FRI, Японія), ВДПБ МЧС Росії тощо. Суттєві результати були одержані російськими вченими Ф.І. Шароваром [1], В.Г. Синиловим [2], А.А. Навацьким [3] та іншими вченими в напрямку розробки ефективних датчиків пожежної сигналізації. Українським вченим Ю.А. Абрамовим і його науковою школою розроблялися методи і засоби виявлення пожеж [4]. Відомі також результати досліджень систем пожежного моніторингу на особливо небезпечних та технологічних об'єктах: атомних електростанціях, літаках, кораблях, підводних човнах та інших.

Переважає більшість вказаних досліджень – стосувалися лише одного елемента сигналізації –

сповіщувача і його вдосконалення. За межами розгляду залишилися проблеми формування оптимальної структури системи пожежної сигналізації з «прив'язкою» до конкретного об'єкта. Неврахування його особливостей, застосування стандартних підходів та нормативних вимог призводить до збільшення людських жертв, обсягу матеріальних збитків, а також хибних спрацювань. І головною причиною таких негативних наслідків є збільшення часу виявлення пожежі через неефективність пожежної сигналізації.

Метою роботи є оптимізація системи пожежної сигналізації на основі розробки та використання моделей, які дозволять визначити кількість та структуру розміщення пожежних сповіщувачів на основі нечітких експертних висновків.

Постановка задачі. Нехай X_{in} – внутрішні фактори будівлі, які впливають на час розвитку та поширення пожежі, $X_{in} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, де X_1 – площа приміщення, X_2 – його висота; X_3 – пожежне навантаження приміщення; X_4 – горючість матеріалів, що в ньому знаходяться, тощо. Припустимо, що S_1 – потенційно можлива кількість людських жертв, S_m – потенційно можливий обсяг матеріальних збитків, S_e – збитки, які будуть завдані техногенною або екологічною катастрофою як наслідком пожежі.

Необхідно ідентифікувати залежності [5]:

$$K = F_1(X_{in}, S_1, S_m, S_e), \quad (1)$$

$$L = F_2(X_{in}, S_1, S_m, S_e), \quad (2)$$

де K – кількість сповіщувачів у приміщенні, L – структура (місцерозташування) сповіщувачів.

Побудова моделей (1)-(2) на основі експертних висновків

Припустимо, що у приміщенні необхідно встановити однотипні сповіщувачі. Вважатимемо, що пожежа виявлена, якщо спрацював хоча б один сповіщувач. Позначимо ймовірність спрацювання сповіщувача, якщо наявна пожежа, p . Кількість експертів – m . У першому наближенні будемо вважати, що кількість сповіщувачів та схема їх розташування відомі (C_T – трикутна схема, C_P – прямокутна схема [5], q_T, q_P – кількість сповіщувачів, відповідно). Тоді перша модель матиме форму нечітких продукційних правил:

$$\begin{aligned} &\text{Якщо } x \in A_1 \text{ і } y \in B_1, \text{ то } t \in C_1; \\ &\text{Якщо } x \in A_2 \text{ і } y \in B_2, \text{ то } t \in C_2; \\ &\dots\dots\dots; \\ &\text{Якщо } x \in A_r \text{ і } y \in B_r, \text{ то } t \in C_r. \end{aligned} \quad (3)$$

У моделі (3) (x,y) є координатами точки виникнення пожежі; t – час виявлення пожежі (спрацювання сповіщувача). Модель (3) формується за висновками одного експерта для різних точок виникнення пожежі за умови рівномірності пожежного навантаження приміщення. $A_j, B_j, C_j, j=\overline{1,r}$ є нечіткими множинами із відповідними функціями належності. Будемо вважати, що у даному випадку вони є гаусівськими, тобто

$$\mu_A(z) = \exp\left(-\frac{(z-m)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (4)$$

де m і σ – параметри.

Припустимо, що пожежна завантаженість приміщення змінюється. Тоді модель (3) модифікується і буде такою:

$$\begin{aligned} &\text{Якщо } x \in A_1 \text{ і } y \in B_1 \text{ і } X_3 \in D_1, \text{ то } t \in C_1; \\ &\text{Якщо } x \in A_2 \text{ і } y \in B_2 \text{ і } X_3 \in D_2, \text{ то } t \in C_2; \\ &\dots\dots\dots; \\ &\text{Якщо } x \in A_r \text{ і } y \in B_r \text{ і } X_3 \in D_r, \text{ то } t \in C_r, \end{aligned} \quad (5)$$

де X_3 – рівень пожежного навантаження в околі точки виникнення пожежі; $D_j, j=\overline{1,r}$ – нечіткі множини з відповідними функціями належності.

Моделі (3) і (5) мають місце у випадку, коли висновки про час спрацювання пожежного сповіщувача робить один експерт. Для об'єктивізації висновків необхідно використати судження експертів з певними ваговими коефіцієнтами. Відповідна модель буде такою:

$$\begin{aligned} &\text{Якщо } x \in A_1 \text{ і } y \in B_1 \text{ і } X_3 \in D_1, \text{ то } t \in C_1^i; \\ &\text{Якщо } x \in A_2 \text{ і } y \in B_2 \text{ і } X_3 \in D_2, \text{ то } t \in C_2^i; \\ &\dots\dots\dots; \\ &\text{Якщо } x \in A_r \text{ і } y \in B_r \text{ і } X_3 \in D_r, \text{ то } t \in C_r^i, \end{aligned} \quad (6)$$

з ваговим коефіцієнтом $w_i, i=\overline{1,m}$.

Кількість правил в моделі (6) складає $r \cdot m$.

У результаті ідентифікації залежності $t=G(x,y,X_3)$ з використанням моделей (3), (5) або (6) та теореми ФАТ про наближення будь-якої неперервної функції нечіткою адитивною системою [6] одержимо поверхню (для моделі (3)) або гіперповерхню (для моделей (5) і (6)), яка може бути використана для визначення середнього прогнозованого часу від моменту виникнення пожежі до моменту спрацювання пожежного сповіщувача. Для цього достатньо здійснити дискретизацію горизонтальної проекції приміщення та у кожному вузлі за моделями (3), (5) або (6) встановити відповідний час. Матимемо множину

$$D = \{(x_i, y_j, t_{ij}) / x_1 < x_2 < \dots < x_l, y_1 < y_2 < \dots < y_k\}$$

і результуючий середній час $t_a = \frac{1}{l \cdot k} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k t_{ij}$.

Очевидно, що крім часу t_a раціональним є врахування максимального і мінімального часу спрацювання пожежного сповіщувача. Їх знаходження вимагає розв'язання задачі пошуку

$$M = \max t_{ij}, \quad m = \min t_{ij}. \quad (7)$$

Розв'язок задач (7) дозволить визначити координати точок виникнення пожежі, відповідно до яких час спрацювання сповіщувача є найбільшим та найменшим.

Передумови визначення оптимальної кількості сповіщувачів у приміщенні

Зауважимо, що під поняттям «оптимальна кількість сповіщувачів» у даному випадку будемо розуміти таку їх кількість, яка належить до області компромісу між витратами на елементну базу, проектування та встановлення системи пожежного моніторингу і негативними можливими наслідками пожежі. Очевидно, що витрати можуть бути розраховані аналітично, можливі наслідки пожежі можуть лише прогнозуватись. Базуючись на результатах розв'язання задач (3), (5)-(7), запишемо відповідні моделі

- для одного експерта:

Якщо $x \in A_1$ і $y \in B_1$ і $t \in E_1$, то $S_v \in W_1^v$;
 Якщо $x \in A_2$ і $y \in B_2$ і $t \in E_2$, то $S_v \in W_2^v$; (8)
;
 Якщо $x \in A_r$ і $y \in B_r$ і $t \in E_r$, то $S_v \in W_r^v$,

де (x,y) – координати точки виникнення пожежі;
 t – час від початку пожежі до моменту спрацювання датчика, S_v – відповідні наслідки пожежі;
 $v \in \{1, m, e\}$, $A_j, B_j, C_j, W_j^v, j = \overline{1, r}$ – відповідні функції належності;

- для багатьох експертів:

Якщо $x \in A_1$ і $y \in B_1$ і $t \in E_1^i$, то $S_v \in W_1^{vi}$;
 Якщо $x \in A_2$ і $y \in B_2$ і $t \in E_2^i$, то $S_v \in W_2^{vi}$; (9)
;
 Якщо $x \in A_r$ і $y \in B_r$ і $t \in E_r^i$, то $S_v \in W_r^{vi}$.

з ваговим коефіцієнтом $w_i, i = \overline{1, m}$.

У моделях (8) і (9) функції належності нечітких множин $A_j, B_j, W_j^v, W_j^{vi}$ визначаються експертами емпірично або на основі парних порівнянь [7]. Формування функції належності нечітких множин E_j та E_j^i здійснюється, виходячи із результатів ідентифікації часу спрацювання сповіщувача за моделями (3), (5)–(7). Експерт, маючи інформацію про час спрацювання сповіщувача, якщо пожежа виникла в точці з координатами (x,y) , $t=G(x,y,X_3)$, а також, знаючи значення t_a, M, m і здійснюючи самооцінку своєї компетентності, будує функції належності $\mu_{E_j^i}(t)$.

Припускаючи, що сповіщувачі розміщуються рівномірно (для трикутної та прямокутної схеми це очевидно), та проводячи обчислювальний експеримент, встановлюємо, що час від початку пожежі до моменту спрацювання сповіщувача змінюється за певним законом (рис.2).

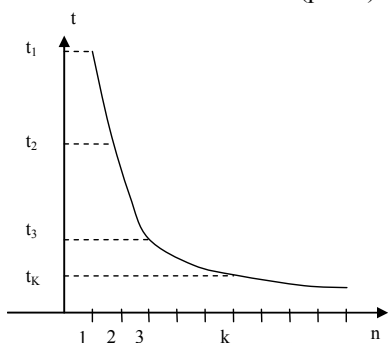


Рис.2. Динаміка часу спрацювання системи пожежної сигналізації

Його аналіз показує, що збільшення кількості сповіщувачів зменшує час спрацювання, але при

малій їх кількості відповідна динаміка є значною, а при великій – малою. Оптимальна кількість сповіщувачів визначається за значенням приросту часу, а також, виходячи із розв'язків задач (8)–(10) для різної кількості сповіщувачів.

Моделі (8) і (9) дозволяють ідентифікувати залежності $S_v = H(x,y,t), v \in \{1, m, e\}$ та використати технічні характеристики як вихідні дані для проектування системи пожежної сигналізації. Розв'язання задач пошуку

$$S_v^M = \max_{\{x,y\}} H(x,y,t) \text{ і } S_v^m = \min_{\{x,y\}} H(x,y,t), v \in \{1, m, e\} \quad (10)$$

дозволить прогнозувати максимально та мінімально можливі негативні наслідки пожежі залежно від точки виникнення пожежі та часу спрацювання сповіщувача.

Реалізація методу та результати експериментів

Розглянемо приміщення, схема якого наведена на рис.2. Прозорими колами на ньому позначені пожежні сповіщувачі. Приміщення розбите на зони з різним пожежним навантаженням та має координатну прив'язку. Зафарбовані кола є потенційними місцями виникнення пожежі та точками навчальної вибірки.

Для формування гіперповерхні, за допомогою якої визначається час, використаємо висновки одного експерта та модель (5). Вважатимемо, що координати точки виникнення пожежі та пожежна завантаженість приміщення встановлюється за допомогою гаусівських функцій належності (4). Їх параметри наведено в табл. 1. Для моделювання використаємо нейро-нечітку мережу ANFIS [8] з виведенням Мамдані [9]. Мережа матиме три входи та один вихід. За даними табл. 1 для кожної змінної створюємо відповідні функції належності та формуємо правила. Після процесу навчання мережу ANFIS можна використовувати для визначення часу спрацювання пожежних сповіщувачів, якщо пожежа виникла в будь-якій точці будівлі.

Таблиця 1

Вихідні дані для навчання мережі

№	x		y		X ₃		t	
	m _x	σ _x	m _y	σ _y	m ₃	σ ₃	m _t	σ _t
1	3	0,5	13	0,5	0,2	0,2	35	2
2	4	0,5	3	1	0,5	0,1	30	3
3	8	1	9	1	0,2	0,1	25	4
4	10	1	4	1	0,5	0,2	28	3
5	13	0,5	11	0,5	0,7	0,1	25	2
6	17	1	3	0,5	0,5	0,3	28	4
7	18	0,5	14	0,5	0,7	0,2	20	2
8	21	1	9	1	0,9	0,1	16	3
9	24	1	15	1	0,9	0,2	18	2

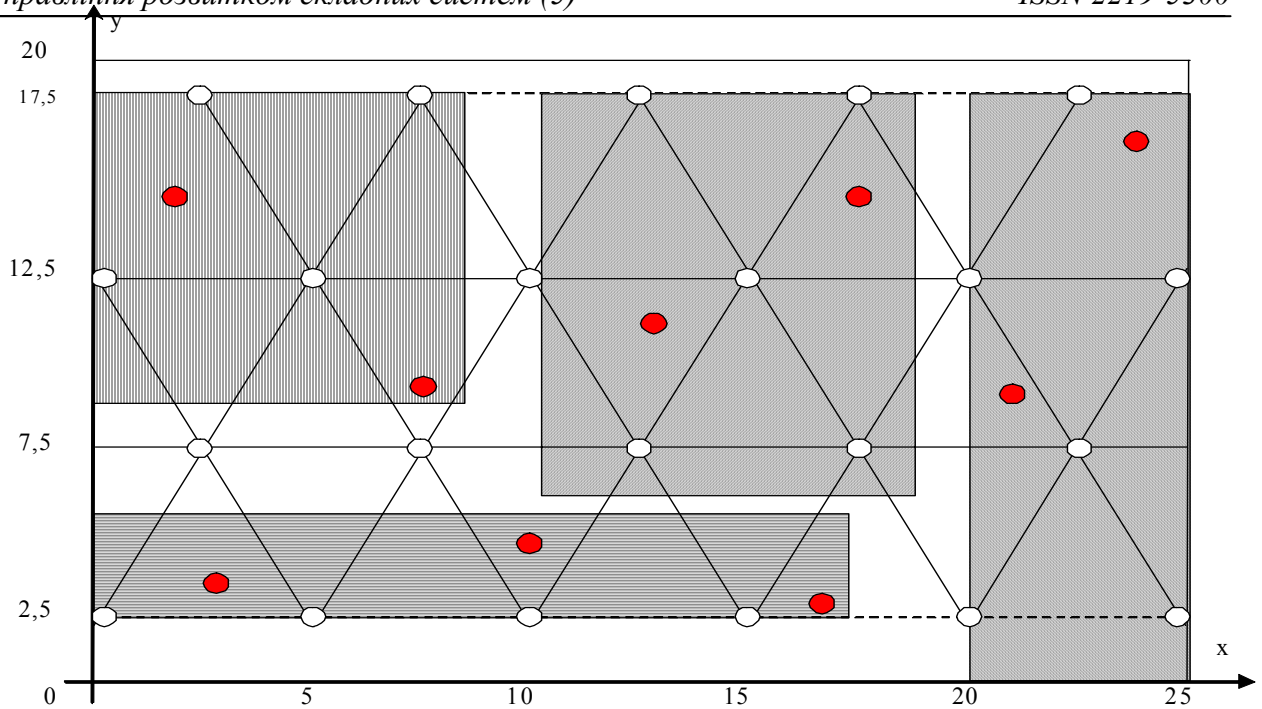


Рис. 3. Структура пожежної сигналізації, «експериментальні» точки, пожежне навантаження приміщення: ■ - низький рівень; ■ - середній рівень; ■ - значний рівень; ■ - високий рівень

Всі дев'ять нечітких правил відображені на рис. 4. Задаючи значення вхідних змінних, розраховуємо значення вихідної змінної. У нашому випадку при

$x = 15, y = 14,1, X_3 = 0,591$ одержимо час спрацювання сповіщувача $t = 25,8$.

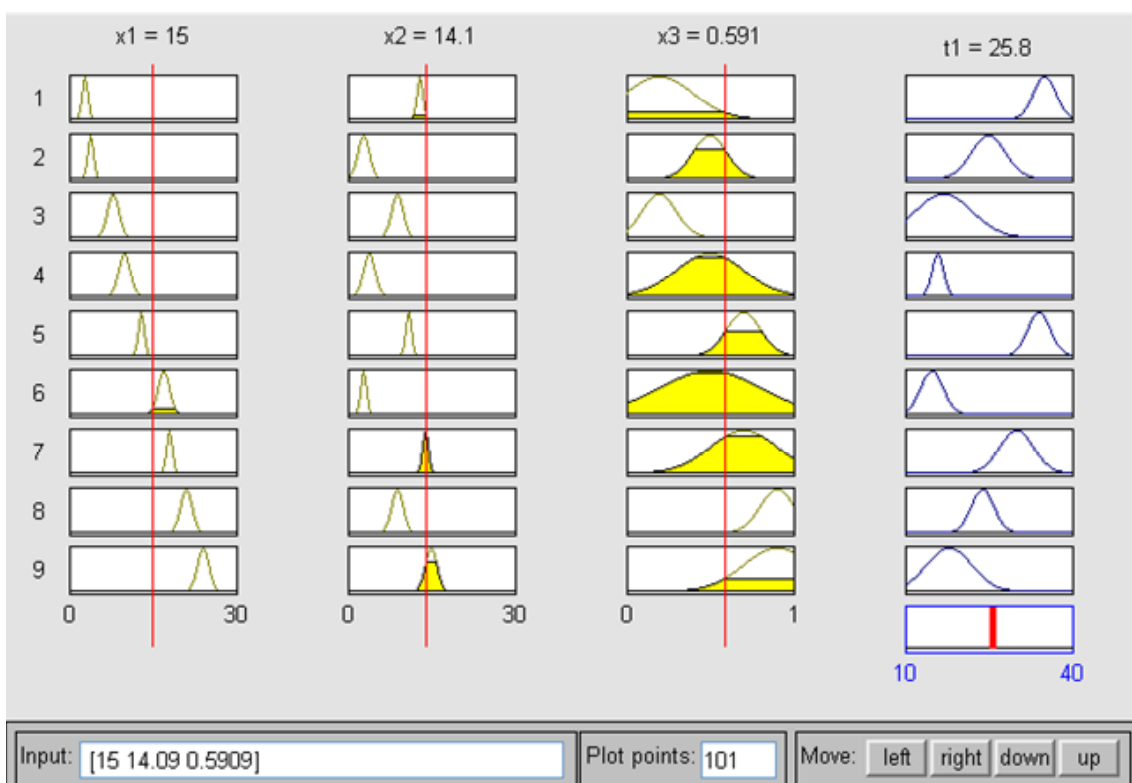


Рис.4. Візуалізація нечітких правил та результату нечіткого логічного виведення

Здійснивши дискретизацію горизонтальної проекції області дослідження, як було вказано вище, в кожній точці визначається час спрацювання сповіщувачів, що дозволяє встановити мінімальний, максимальний та середній час. На рис. 5 зображено одну із проекцій гіперповерхні часу в координатах (x, y, t) . Візуально можна визначити, який є час

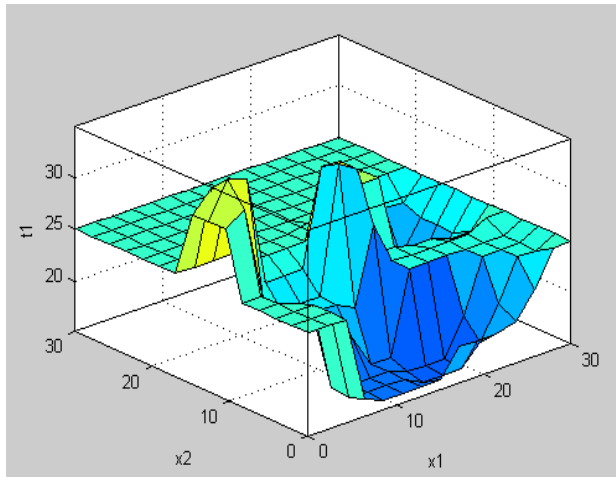


Рис.5. Візуалізація проекції гіперповерхні часу

Найменший. Це час спрацювання пожежної сигналізації, якщо $x \in (10, 20)$ і $y \in (0, 10)$. Найбільший час відповідає квадрату $x \in (10, 20)$ і $y \in (10, 10)$. Зауважимо, що подібні припущення мають сенс лише для попередньої оцінки, при прийнятті відповідальних рішень необхідно базуватись на аналітичних розрахунках.

Система, що базується на нечіткому логічному виведенні, є відкритою. Вона допускає додавання нових правил та перенавчається в режимі реального часу, що спрощує її використання. Інформація, одержана за її допомогою, є першим етапом технології прогнозування наслідків пожеж.

Висновки

Запропоновані моделі та їх використання для ідентифікації часу спрацювання системи пожежної сигналізації і наслідків пожеж та визначення компромісної кількості сповіщувачів є першим етапом розв'язання задачі оптимізації такої системи. Наступним кроком має стати визначення структури розміщення пожежних сповіщувачів, оскільки розв'язання даної задачі дозволить підвищити ефективність роботи системи пожежної сигналізації та зменшити витрати на її створення. Особливо відзначимо використання апарату теорії нечітких множин як природного засобу числення суб'єктивних суджень та їх об'єктивізації.

Список літератури

1. Шаровар Ф.И. Устройства и системы пожарной сигнализации / Ф.И. Шаровар. – М.: Стройиздат, 1985. – 376 с.
2. Синилов В.Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации / В.Г. Синилов. – М.: Академия, 2004. – 352 с.
3. Навацкий А.А. Производственная и пожарная автоматика. Ч.1. Производственная автоматика для предупреждения пожаров и взрывов. Пожарная сигнализация / А.А. Навацкий, В.П. Бабуров, В.В. Бабуринов и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 335 с.
4. Абрамов Ю.А. Методы и средства обнаружения пожаров / Ю.А. Абрамов. – Харьков: ХИПБ МВД Украины, 1995. – 105 с.
5. Землянский А.Н. Проектирование систем пожарного мониторинга в условиях неопределенности / А.Н. Землянский, Н.П. Каверина, В.Е. Снитюк // Искусственный интеллект. – 2010. - № 4. – С. 483-488.
6. Kosko B. Fuzzy Systems as Universal Approximators / B. Kosko // IEEE Transactions on Computers. – 1994. – № 11. – P. 1329-1333.
7. www.mathworks.com
8. Jang R. ANFIS: Adaptive-Network-Based-Fuzzy Inference System / Jyh-Shing Roger Jang // IEEE Transactions on Systems: Man and Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – № 3. – P. 665-685.
9. Mamdani E.H. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller / E.H. Mamdani, S. Assilian // International Journal of Man-Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – № 1. – P. 1-13.

Стаття надійшла до редколегії 20.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Цюцюра С.В., Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ