

*А.П. Кушнір<sup>1</sup>, канд. техн. наук., доцент, Б.Л. Копчак<sup>2</sup>, канд. техн. наук., доцент,  
І.П. Кравець<sup>1</sup>, канд. техн. наук., доцент  
(Національний університет «Львівська політехніка»,  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## СИНТЕЗ БЛОКА НЕЧІТКОЇ КОРЕКЦІЇ ДЛЯ ДИМОВО-ТЕПЛОВОГО ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА

Запропоновано інтелектуальний димово-тепловий пожежний сповіщувач з блоком нечіткої корекції, синтезований на основі теорії нечіткої логіки, що забезпечує його високу точність, надійність та працездатність. Для даного блока встановлено форми і параметри вхідних та вихідних функцій приналежності та складено базу нечітких правил, які описують стан середовища в приміщенні на основі знань експерта. Розроблено модель блока нечіткої корекції, яка дає змогу розпізнавати різні етапи зміни температури і задимленості в приміщенні та на основі розробленого алгоритму формує необхідний сигнал і, тим самим, дозволяє правильно приймати рішення щодо стану, який складається в приміщенні. Це дає можливість виявляти процес появи пожежі та її розвиток на ранній стадії.

**Ключові слова:** система пожежної сигналізації, інтелектуальний пожежний сповіщувач, нечітка логіка.

**Постановка проблеми.** В умовах стрімкого розвитку суспільства та науково-технічного прогресу усе більше зростає пожежне навантаження на різних об'єктах. У сучасному суспільстві велика увага приділяється створенню високоефективних систем протипожежного захисту об'єктів, які призначені для захисту життя людей і матеріальних цінностей від вогню. Серед числа таких систем є система пожежної сигналізації (СПС). Порівняно з першими зразками минулого століття, сучасна пожежна сигналізація має цілий ряд значних переваг [1, 2]. Нові технологічні рішення дали змогу на декілька порядків підвищити надійність і ефективність роботи таких систем. Структура пожежної сигналізації та функції окремих її елементів розглянуті в [1-3]. Однак функції, які покладаються на окремі елементи сигналізації, є умовними. Вони весь час змінюються і перерозподіляються. Так, в ДСТУ EN54-1:2003 вказано, що рішення про видачу сигналу про пожежу або про вмикання автоматичних засобів протипожежного захисту може прийматися самим сповіщувачем.

Одними із основних елементів при створенні професійних СПС є пожежні сповіщувачі (ПС). Від якості їх роботи залежить ефективне функціонування усієї системи в цілому. За останні роки ПС пройшли значний шлях еволюції, починаючи від примітивних взірців, таких як максимально теплові, і закінчуючи сучасними, такими як інтелектуальні багатоканальні пожежні сповіщувачі [1, 4]. До них, як і до всієї системи, висувається ряд вимог. Сповіщувачі повинні інформувати про пожежу на ранній стадії її розвитку, коли вона ще не досягнула значних меж, що дає змогу своєчасно прийняти рішення щодо ліквідації пожежі і евакуації людей. Також важливим є захист від помилкового спрацювання ПС. Вони мають правильно ідентифікувати зміни параметрів в контрольованому середовищі. На практиці помилкове спрацювання спричиняє матеріальні затрати, пов'язані з евакуацією людей, приїздом пожежного розрахунку тощо.

На об'єкті, на якому передбачається встановлення СПС, можуть бути наявні матеріали з різними характеристиками горіння, що припускає використання різних фізичних принципів виявлення займання. У більшості випадків ніколи невідомо, що загориться першим та яка ознака пожежі буде первинною. Проте, незважаючи на мінливість пожежі і відмінність властивостей горючих матеріалів, будь-яка пожежа загалом характеризується чотирма ознаками: виділяється чадний газ СО, тепло, дим і полум'я. Пропорції змінюються залежно від типу пожежі та часу у кожній фазі пожежі. У будь-якому випадку до певної міри наявна ко-

жна з цих чотирьох ознак, хоча в багатьох фазах величина будь-якої з них може бути відносно малою. Відтак, краще для виявлення займання використовувати комбіновані ПС. Найчастіше в одному ПС об'єднують димовий і тепловий сповіщувачі. Такий сповіщувач дає можливість виявляти горіння широкого класу речовин. Так чи інак, сповіщувачі, що реагують на дві або більше ознаки пожежі, є ефективнішими порівняно із тими, що реагують на одну ознаку пожежі. Вони здатні виявляти як тліючі вогнища, так і пожежі, що швидко розвиваються. Однак, елементна база і алгоритм обробки інформації є досить складними.

**Аналіз останніх досліджень.** В першому виконанні комбіновані ПС склалися з різних сповіщувачів, які були об'єднані лише в одному корпусі і кожен з них функціонував за своїм алгоритмом роботи. Сигнал "Пожежа" формувався при перевищенні порогу в будь-якому з каналів, тобто реалізувалася проста логіка роботи "АБО".

Останнім часом з розвитком науки та техніки з'явилися комбіновані ПС, у яких є різні давачі виявлення пожежі і, крім того, за принципом реагування вони можуть бути максимально-диференціальними, але схема обробки інформації в них одна, тобто вони працюють за одним розробленим алгоритмом [4, 5]. Такі ПС дають змогу значно зменшити час виявлення пожежі, тобто мають високу чутливість і знижують помилкове спрацювання СПС.

У принцип роботи комбінованих ПС закладено математичний апарат на основі традиційної алгебри-логіки, так званої Бульової алгебри. Такі сповіщувачі мають енергонезалежну пам'ять для зберігання алгоритмів обробки інформації, режимів роботи, поточного стану сенсорів і навіть дати випуску, дати останнього технічного обслуговування і т.д. Використання спеціальних розроблених алгоритмів компенсації зміни чутливості в димових ПС при запыленні димової камери дає змогу забезпечити стабільний рівень чутливості в процесі експлуатації. З'явилася можливість регулювати чутливість в заданих межах при монтажі сповіщувачів на об'єкті і адаптувати рівень чутливості в процесі експлуатації, залежно від стану контролюваного приміщення. В сповіщувачі закладений складний алгоритм роботи, в якому реалізована залежність зміни чутливості від величини фонових сигналів. Проста компенсація зміни фонового сигналу не дає необхідних результатів. Крім того, повинна враховуватися ймовірність повільного наростання оптичної щільності диму при тліючих пожежах в реальних умовах. Такі сповіщувачі можна віднести до так званих «інтелектуальних» пожежних сповіщувачів.

Як уже зазначалося, якісне поліпшення характеристик одержано при сумісній обробці інформації в цифровому вигляді за різними каналами. Інтелектуальні багатоканальні ПС на базі спеціалізованих процесорів забезпечують вимірювання поточних значень контрольованих ознак пожежі в широких межах, що дає змогу реалізувати складнішу і ефективнішу логіку роботи. Наприклад, сигнал "Пожежа" може формуватися досягнувши певної середньовогої сумарної величини декількох ознак пожежі ще до того моменту, коли котрась із ознак окремо досягне порогового значення. Так, в інтелектуальному димово-тепловому ПС проводиться вимірювання величини питомої оптичної щільності диму і швидкості підвищення температури у відносних одиницях. Навіть за наявності порівняно невеликої оптичної щільності диму, підвищення температури з швидкістю декілька градусів за хвилину із високою вірогідністю відповідає пожежонебезпечній ситуації. Така логіка роботи комбінованого ПС дає змогу значно зменшити час виявлення займання, яке супроводжується одночасно декількома ознаками і підвищити здатність виявлення "швидких" пожеж. У комбінованому ПС з оптичним димовим каналом використання інформації з теплового каналу забезпечує збільшення чутливості до "чорних" димів, наприклад, при горінні пластику, ізоляції кабелю тощо, до рівня димового іонізаційного сповіщувача. Прикладами таких інтелектуальних сповіщувачів є неадресні комбіновані ПС ИП212/101-4-А1R "ПРОФИ-ОТ" і адресні ИП212/101-3А-А1R "ЛЕОНАРДО-ОТ" [6].

Під сучасним трактуванням словосполучення «інтелектуальні ПС» слід розуміти сповіщувачі, де закладено певний інтелект – набутий людський досвід, а це дає змогу зробити теорія нечітких множин (нечітка логіка), або застосування нейронних мереж [7]. Мета побу-

дови інтелектуальних сповіщувачів в цьому випадку – це зменшення часу виявлення пожежонебезпечної ситуації без помилкових спрацювань СПС, тобто підвищення чутливості сповіщувачів при зниженні ймовірності помилкових спрацювань. Великі можливості інтелектуалізації, порівняно з одноканальними сповіщувачами [8], мають багатоканальні сповіщувачі, в яких обробляється більший об'єм інформації, однак в них значно складніша база правил, за якою обробляється отримана інформація.

**Постановка завдання.** Стаття присвячена побудові димово-теплого пожежного сповіщувача, який містить блок нечіткої корекції, що дасть змогу забезпечити розпізнання різних етапів зміни температури та задимленості в приміщенні та на основі розробленого алгоритму формувати необхідний сигнал і, тим самим, правильно приймати рішення щодо стану, який складається на об'єкті.

**Вирішення проблеми.** Для того, щоб забезпечити високу точність, надійність та працездатність сповіщувача і тим самим правильно прийняття рішення щодо стану, який складається на об'єкті, необхідно синтезувати блок нечіткої корекції та дослідити властивості такого сповіщувача.

Синтез блока нечіткої корекції здійснюється за методикою, наведеною в [7, 8].

### 1. Проведення аналізу системи. Встановлення структури сповіщувача, вхідних і вихідних величин блока нечіткої корекції.

Обирається одна з найбільш стабільних та простих для налаштування структур, яка показана на рис. 1. Блок нечіткої корекції вмикається паралельно до класичного димово-теплого сповіщувача.

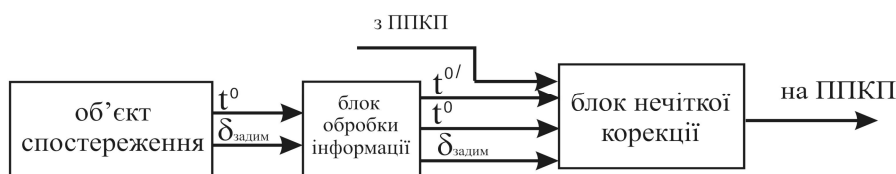


Рис. 1. Структурна схема сповіщувача

Вхідними величинами блока нечіткої корекції є температура всередині приміщення  $t^{\circ}$ , її похідна  $t'^{\circ}$  та задимленість  $\delta_{\text{задим}}$  (концентрація диму). Сигнал похідної можна визначити блоком підготовки вхідної інформації, наприклад, порівнюючи поточне значення із значенням, що зберігається в пам'яті ПС, а швидкість зміни визначається за допомогою вбудованого таймера. На вхід блока поступає також сигнал з ППКП. Вихідною величиною блока нечіткої корекції є сигнал, який в поєднанні з вихідним сигналом традиційного сповіщувача має дати інформацію щодо стану, який складається на об'єкті.

### 2. Встановлення алгоритмічних ступенів свободи

Для проєктованого нечіткого блока пропонується використати такі установки:

- оператор імплікації – мінімум-оператор;
- оператор агрегації – максимум-оператор.

Рекомендується використати найбільш популярний метод дефазифікації - гравітаційний (centroid).

### 3. Встановлення параметричних ступенів свободи

3.1. Встановлення можливих інтервалів зміни вхідних та вихідних величин. Результати аналізу класичних сповіщувачів дають змогу визначити інтервали зміни вхідних та вихідних величин. Прийmemo таке: температура змінюється в інтервалі  $[0, 100]$ , похідна від неї змінюється в інтервалі  $[-10, 10]$ , задимленість  $\delta_{\text{задим}}$  змінюється в інтервалі  $[0, 1]$ . Аналіз кривих зміни температур, похідної від неї і задимленості  $\delta_{\text{задим}}$  дають можливість визначити інтервал зміни вихідної величини «Ймовірність пожежі» як  $[0, 1]$ .

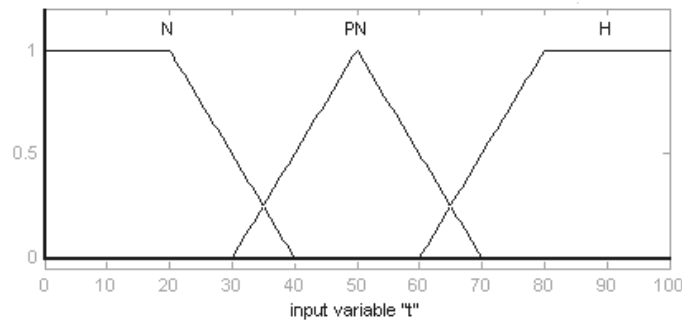
3.2. Встановлення форми та параметрів функцій належності

Вхідній змінній “Температура” відповідає три лінгвістичних терми:

- Н – High (висока);
- PN – Positive Normal (підвищена);
- N – Normal (нормальна).

Форма термів N та H приймається трапецієподібною. Форма терма PN приймається трикутною. Трикутна та трапецієподібна форми функцій приналежності вживаються в техніці найчастіше, тому що це дає змогу зменшити витрати машинного часу.

Прийняті для лінгвістичної змінної “Температура” функції приналежності зображені на рис. 2, а параметри їх термів представлені в табл. 1.



**Рис. 2.** Функція приналежності вхідної змінної “Температура”

**Таблиця 1**

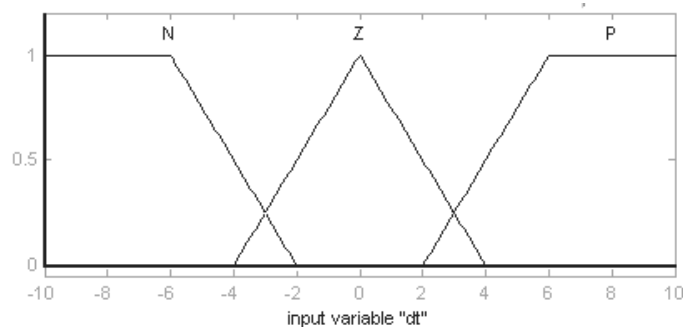
*Параметри функції приналежності вхідної змінної “Температура” ( $t^{\circ}$ )*

Терм	Форма терму	Характерні точки
High (висока)	трапеція	[60, 80, 100, 120]
PN – Positive Normal	трикутник	[30, 50, 70]
N – Normal	трапеція	[-10, 0, 20, 40]

Вхідній змінній “Похідна температури” відповідає три лінгвістичних терми:

- P – Positive (додатня);
- Z – Zero (не змінюється);
- N – Negative (від’ємна).

Форма термів N і P приймається трапецієподібною. Форма терма Z приймається трикутною. Прийняті для лінгвістичної змінної “Похідна температури” функції приналежності зображені на рис. 3, а параметри їх приведені в табл. 2.



**Рис. 3.** Функція приналежності вхідної змінної “Похідна температура”

Таблиця 2

Параметри функції приналежності вхідної змінної “Похідна температури” ( $t^{\circ}$ )

Терм	Форма терму	Характерні точки
P – Positive	трапеція	[2, 6, 10, 12]
Z – Zero	трикутник	[-4, 0, 4]
N – Negative	трапеція	[-11, -10, -6, -2]

Вхідній змінній “Задимленість” відповідає три лінгвістичних терми:

- PB – Positive Big (висока);
- Pop – Positive Normal (підвищена);
- N – Normal (нормальна).

Форма термів N і PB приймається трапецієподібною. Форма терма Pop приймається трикутною. Прийняті для лінгвістичної змінної “Похідна температура” функції приналежності зображені на рис. 4, а параметри їх термів наведені в табл. 3.

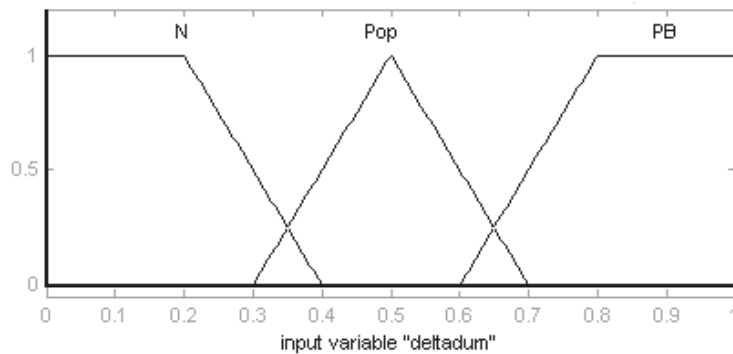


Рис. 4. Функція приналежності вхідної змінної “Задимленість”

Таблиця 3

Параметри функції приналежності вхідної змінної “Задимленість”  $\delta_{\text{задим}}$

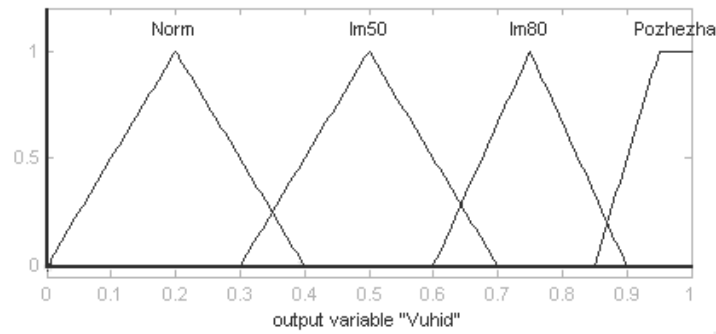
Терм	Форма терму	Характерні точки
PB – Positive Big	трапеція	[0.6, 0.8, 1.0, 1.2]
Pop – Positive Normal	трикутник	[0.3, 0.5, 0.7]
N – Normal	трапеція	[-0.1, 0, 0.2, 0.4]

Вихідній змінній “Вихід” відповідає чотири лінгвістичних терми:

- Pozhezha (пожежа);
- Im80% (ймовірність пожежі 80%);
- Im50% (ймовірність пожежі 50%);
- Norm – Normal (норма).

Як і у випадку вхідних змінних, форма термів Norm, Im50%, Im80% вибрана трикутною, а терма Pozhezha – трапецієподібною.

Обрати параметри термів для вихідної змінної складніше, ніж для вхідних змінних, точно встановити їх можна лише після багаторазового моделювання. Остаточню функції приналежності, що зображені на рис. 5. Параметри функції приналежності лінгвістичної змінної “Вихід” наведені в табл. 4



**Рис. 5.** Функції приналежності вихідної змінної “Вихід”

**Таблиця 4**

*Параметри функції приналежності вихідної змінної “Вихід”*

Терм	Форма терму	Характерні точки
Pozhezha	трапеція	[0.85, 0.95, 1.0, 1.2]
Im80%	трикутник	[0.6, 0.75, 0.9]
Im50%	трикутник	[0.3, 0.5, 0.7]
Norm	трикутник	[0, 0.2, 0.4]

### 3.3. Складання бази нечітких правил

Правила складаються на основі інтуїтивних знань експерта. В нашому випадку у якості експертних знань використовуються результати аналізу перехідних процесів, що були отримані при дослідженні системи з класичним сповіщувачем. Деякі правила після моделювання системи з паралельною корекцією можуть бути уточненими.

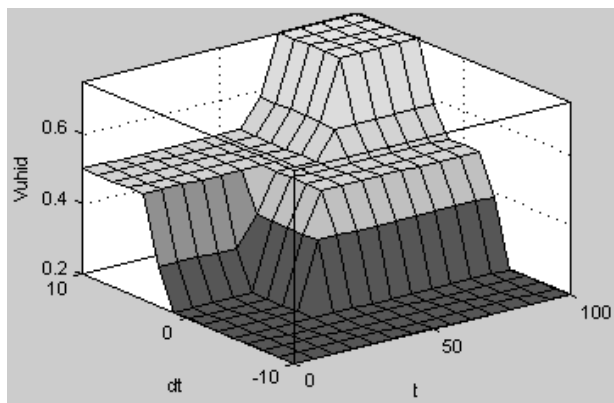
Як зазначалося вище, завдання блока нечіткої корекції полягає в забезпеченні вищої точності, надійності та працездатності сповіщувача. Складені таким чином та уточнені після моделювання правила приведені в табл. 5.

**Таблиця 5**

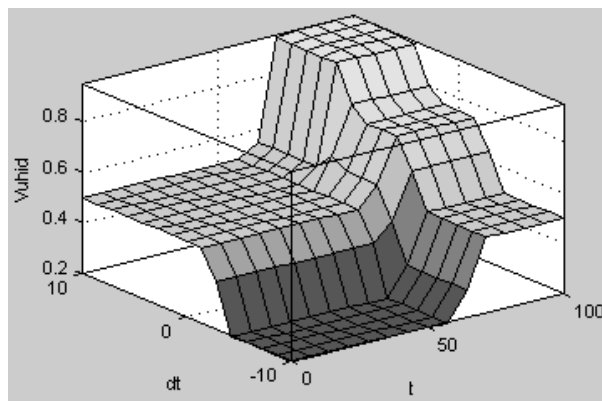
*Нечіткі правила*

t	$\Delta t$	$\delta_{\text{дим}}$	Вихід
N	N	N	Norm
N	N	Pop	Norm
N	N	PB	Norm
N	Z	N	Norm
N	Z	Pop	Norm
N	Z	PB	Im50%
N	P	N	Norm
N	P	Pop	Im50%
N	P	PB	Im50%
PN	N	N	Norm
PN	N	Pop	Norm
PN	N	PB	Norm
PN	Z	N	Norm
PN	Z	Pop	Im50%
PN	Z	PB	Im50%
PN	P	N	Norm
PN	P	Pop	Im50%
PN	P	PB	Im50%
H	N	N	Norm
H	N	Pop	Norm
H	N	PB	Im50%
H	Z	N	Norm
H	Z	Pop	Im50%
H	Z	PB	Im80%
H	P	N	Im50%
H	P	Pop	Im80%
H	P	PB	Pozhezha

Для створення моделі блока нечіткої корекції використаємо пакет fuzzy в середовищі MATLAB. На рис. 6 і рис. 7 показано вікно поверхні вихідного сигналу сформованого блоком нечіткої корекції при різних значення задимленості. З рисунків видно, що при певному значенні задимленості і при зміні температури та похідної температури на виході блока нечіткої корекції буде значення вихідного сигналу (якій площині поверхні належить сигнал “Вихід”), що відповідає – “Норма”, “Імовірність пожежі 50%”, “Імовірність пожежі 80%”, “Пожежа”. Тобто, реалізується база правил, яка була складена вище.



**Рис. 6.** Залежність вихідного сигналу блока нечіткої корекції при зміні вхідних сигналів “Температура” і “Похідна температури”. Вхідний сигнал “Задимленість” незмінний 0,5.



**Рис. 7.** Залежність вихідного сигналу блока нечіткої корекції при зміні вхідних сигналів “Температура” і “Похідна температури”. Вхідний сигнал “Задимленість” незмінний 0,8.

### Висновки

1. Запропоновано структуру інтелектуального димово-теплого пожежного сповіщувача з блоком нечіткої корекції, який вмикається паралельно до традиційного блока обробки інформації, що дає можливість його використання для модернізації схем існуючих комбінованих пожежних сповіщувачів.

2. Для блока нечіткої корекції встановлено форми та параметри вхідних та вихідних функцій приналежності та складено базу нечітких правил, які описують можливі стани середовища в приміщенні на основі знань експерта.

3. Розроблено модель блока нечіткої корекції на основі нечіткої логіки, який дозволяє розпізнавати різні етапи зміни температури та задимленості в приміщенні та на основі розробленого алгоритму формує необхідний сигнал і, тим самим, правильно приймати рішення щодо наявності в приміщенні ситуації. Це дає можливість виявляти процес виникнення пожежі та її розвиток на ранній стадії і правильно прийняти рішення щодо її ліквідації, тобто, забезпечити високу точність, надійність і працездатність ПС.

### Література:

1. Кушнір А.П. Автоматичні сповіщувачі систем пожежної сигналізації : навчальний посібник / Кушнір А.П. – Львів : ВОНДРВР ЛДУ БЖД, 2012. – 188 с.
2. Кріса І.Я. Системи пожежної сигналізації : навчальний посібник / І.Я. Кріса, О.І. Воробйов. – Львів : Видавництво Львівська політехніка, 2013. – 232 с.
3. Системи пожежної сигналізації. Частина 1. Вступ (EN 54-1:1996, IDT) : ДСТУ EN 54-1:2003. – [Чинний від 2004-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 8 с. – (Національний стандарт України).
4. Неплохов И.Г. Противопожарные системы: два столетия эволюции / И.Г. Неплохов // Системы безопасности. – Москва, 2008. – № 2. – С. 35–42.

5. **Неплохов И.Г.** Комбинированные пожарные извещатели / И.Г. Неплохов // Системы безопасности. – Москва, 2007. – № 6. – С. 136–146.

6. **Неплохов И.Г.** Интеллектуальное развитие пожарных извещателей / И.Г. Неплохов // Грани безопасности. – 2007. – № 6(48). – С. 25–32.

7. **Леоненков В.А.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил.

8. **Кушнір А.П.** Реалізація пожежного сповіщувача за використанням нечіткої логіки / А.П. Кушнір, Б.Л. Копчак // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів: ЛДУ БЖД, УкрНДІПБ МНС України, 2009. – № 12. – С. 102–108.

*А.П. Кушнір, Б.Л. Копчак, И.П. Кравец*

### **СИНТЕЗ БЛОКА НЕЧЕТКОЙ КОРРЕКЦИИ ДЛЯ ДЫМОВО-ТЕПЛОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ**

Предложен интеллектуальный дымово-тепловой пожарный извещатель с блоком нечеткой коррекции, синтезированный на основе теории нечеткой логики, который обеспечивает его высокую точность, надежность и работоспособность. Для данного блока установлены формы и параметры входных и выходных функций принадлежности и составлена база нечетких правил, описывающая состояние среды в помещении на основе знаний эксперта. Разработана модель блока нечеткой коррекции, позволяющая распознавать разные этапы изменения температуры и задымленности в помещении и на основе разработанного алгоритма формирует необходимый сигнал и, тем самым, позволяет правильно принимать решение относительно состояния, которое складывается в помещении. Это дает возможность обнаруживать процесс появления пожара и его развитие на ранней стадии.

**Ключевые слова:** система пожарной сигнализации, интеллектуальный пожарный извещатель, нечеткая логика.

*A. Kushnir, B. Kopchak, I. Kravets*

### **SYNTHESIS OF FUZZY CORRECTION BLOCK FOR SMOKE-HEAT DETECTOR**

An intelligent smoke-heat detector with fuzzy correction block synthesized on the theory of fuzzy logic providing its high accuracy, reliability and efficiency has been suggested. Forms and input and output parameters of membership functions have been established, and fuzzy rules database that describes the state of the environment inside on the basis of expert knowledge has been compiled. The model of fuzzy correction block has been devised, which enables to recognize different stages of changes in temperature and smoke inside and generates the required signal on the basis of the algorithm, thus enabling to correctly decide on the situation inside. It enables to detect the emergence of a fire and its development in the early stages.

**Key words:** fire alarm system, intelligent fire detector, fuzzy logic.

