

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Жорстка конкуренція на ринку комп'ютерних засобів призводить до зростання вимог щодо їх складності та надійності. Етап експлуатації КЗ характеризується рядом особливостей, що ускладнюють процес діагностування. Відсутність або відносна висока вартість діагностичних програм та апаратних засобів діагностування також призводить до ускладнення процесу діагностування КЗ на етапі експлуатації.

Отже, перспективним є використання засобів діагностування, побудованих на основі компонентів штучного інтелекту, що враховують неповноту та різнотипність подання діагностичної інформації, зокрема експертних систем діагностування (ЕСД).

Ефективність роботи експертних систем діагностування визначається якістю та кількістю наявних в ній знань, особливо експертних, та стратегією їх використання. Знання експертів є індивідуальними, залежать від рівня їх кваліфікації та часто подаються у нечіткій формі. Тому основною задачею при створенні експертних систем діагностування комп'ютерних засобів (КЗ) є наповнення баз знань таких систем достатнім об'ємом формалізованих знань за умови наявності нечітких вихідних даних та знань про об'єкт та процес діагностування. Відомі експертні системи діагностування або вимагають введення тільки чіткої та точної діагностичної інформації при наповненні баз знань, або лише частково допускають можливість використання нечіткої інформації, що часто не покращує, а погіршує якість рішень систем діагностування. Це зумовлено недосконалістю формалізації нечіткої діагностичної інформації у базах знань ЕСД та недосконалістю алгоритмів її подальшого опрацювання. Перспективним напрямком розвитку експертних систем діагностування є використання у їх складі модулів логічного виведення, які ефективно опрацьовують нечітку діагностичну інформацію. Для опрацювання такої діагностичної інформації необхідно, насамперед, детально дослідити види нечіткості, характерні для діагностичних даних та знань, а також обрати ефективний спосіб їх представлення у базах знань ЕСД.

Отже, підвищення ефективності процесу діагностування КЗ на етапі експлуатації шляхом розроблення формалізмів подання та методів опрацювання нечіткої діагностичної інформації у ЕСД, є актуальною науковою задачею, вирішення якої присвячена дисертаційна робота.

Вирішенням задачі підвищення ефективності діагностування комп'ютерних засобів і систем шляхом впровадження інтелектуальних інформаційних технологій займаються провідні вчені України та зарубіжжя: Богаєнко І. М., Дрозд О. В., Заміховський Л. М., Кривуля Г. Ф., Локазюк В. М., Скобцов Ю. А., Тарасенко В. П., Тоценко В. Г., Герасимов Б.М., Ротштейн А. П., Д. Ротт та ін.

Основними інтелектуальними методами та технологіями діагностування комп'ютерних систем є нейромережні методи діагностування, генетичні алгоритми для генерації тестових послідовностей, експертні

діагностичні системи. Цим методам та технологіям присвячено ряд теоретичних та практичних розробок наукових шкіл.

Однак, на сьогодні не вирішеною залишається задача формалізації досвіду спеціалістів-діагностів та опрацювання наданої ними діагностичної інформації, котра є основною складовою підвищення ефективності засобів діагностування КЗ на етапі експлуатації.

Отже, у галузі діагностування комп'ютерних засобів на етапі експлуатації в умовах неповноти та різноманітності подання діагностичної інформації актуальною науковою задачею є розроблення інформаційної технології подання та опрацювання діагностичних знань і даних на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Представлені в дисертації дослідження проводились в рамках держбюджетних НДР Хмельницького національного університету №1Б-2005 „Теорія нейромережних і нечітких моделей та методологія створення інтелектуальних систем діагностування комп'ютерних пристроїв” (номер держреєстрації 0105U000725), №2Б-2008 „Теорія інтелектуального діагностування відмовостійких комп'ютерних систем з програмованою логікою” (номер держреєстрації 0108U001276) та №Ф25.1/121 „Дослідження методів внесення апріорної діагностичної інформації в структуру штучних нейронних мереж для реалізації процесу діагностування комп'ютерних систем” (номер держреєстрації 0107U010204).

**Мета і задачі дослідження.** *Метою* дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу діагностування комп'ютерних засобів на етапі експлуатації шляхом розроблення інформаційної технології подання та опрацювання діагностичних знань та даних на основі нечіткої логіки і використання її у експертних системах діагностування комп'ютерних засобів.

Для досягнення поставленої мети було розв'язано такі наукові *задачі*:

- 1) досліджено відомі методи опрацювання діагностичних знань та даних на основі нечіткої логіки у галузі технічного діагностування;
- 2) розроблено формалізми подання знань та даних на основі нечіткої логіки щодо об'єкта та процесу діагностування у базах знань експертних систем технічного діагностування;
- 3) розроблено методи і алгоритми опрацювання знань та даних на основі нечіткої логіки експертними системами діагностування;
- 4) розроблено структурну та функційну схеми експертної системи діагностування, побудованої на основі нечіткої логіки (НЕСД);
- 5) розроблено програмне забезпечення експертної системи діагностування для апробації одержаних результатів;
- 6) проведено оцінку достовірності та ефективності функціонування експертної системи діагностування, побудованої на основі нечіткої логіки.

**Об'єкт дослідження** – процес подання та опрацювання знань та даних на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів.

**Предмет дослідження** – інформаційна технологія подання та опрацювання знань і даних на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів.

**Методи дослідження** базуються на основних положеннях технічної діагностики, теорії множин, теорії нечіткої логіки, методах штучного інтелекту, які є визначальними в досягненні мети дисертаційної роботи.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У результаті проведених досліджень розв'язано важливу наукову задачу підвищення ефективності діагностування КЗ на етапі експлуатації шляхом розроблення інформаційної технології подання та опрацювання знань і даних на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів.

1. Вперше розроблено метод діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації, який забезпечує підвищення:

- достовірності процесу діагностування шляхом комплексного врахування таких взаємопов'язаних показників, як: ступінь довіри до експертів; рівень компетентності експертів в предметній галузі; узгодження експертних оцінок характеристик та параметрів КЗ; види діагностичних ознак за рівнем їх візуального прояву та види несправностей об'єктів діагностування на етапі фазифікації;

- ефективності процесу діагностування шляхом комплексного врахування таких взаємопов'язаних показників, як: інформативність нечіткої діагностичної інформації, несуперечливість та дублювання правил на етапі формування бази правил і використання методу нечіткої композиції у вигляді prod-активізації на етапі активізації та експертної оцінки частоти прояву несправностей на етапі акумуляції; використання методу центру мас, котрий забезпечує коректне опрацювання одноточкових множин на етапі дефазифікації.

2. Вдосконалено:

- класифікацію діагностичних ознак несправностей КЗ шляхом врахування рівня їх візуального прояву, що забезпечує скорочення кількості ітерацій при проведенні нечіткого логічного виведення;

- методику групування діагностичної інформації, суть якої полягає у такому розподілі діагностичної інформації, який дав змогу виявляти взаємозв'язки та протиріччя діагностичних знань і даних.

3. Набули подальшого розвитку:

- метод оцінки ефективності функціонування НЕСД КЗ на основі таких показників, як повнота та достовірність діагностування;

- модель комп'ютерних засобів, як об'єкта діагностування в частині врахування нечіткої діагностичної інформації стосовно компонентів та елементів КЗ, що дало змогу підвищити адекватність моделі КЗ;

- метод оцінювання рівня компетентності експертів на основі введення такого показника, як інтегрована характеристика якості вирішення задач предметної галузі, що забезпечило більш доцільне використання експертних знань для декомпозиції задач предметної галузі.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблена інформаційна технологія стала основою для створення експертних систем діагностування КЗ, побудованих на основі нечіткої логіки. Дослідження проводились з врахуванням їх наступної практичної реалізації. Практична цінність отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблена класифікація діагностичних ознак забезпечила можливість уникнення дублювання та протиріччя при наповненні бази знань НЕСД;

- розроблений алгоритм діагностування КЗ, з врахуванням нечіткої діагностичної інформації забезпечив можливість опрацювання різних видів нечіткості інформації, наявних в процесі діагностування, та став основою реалізації модуля нечіткого логічного виведення НЕСД;

- розроблена інформаційна технологія подання та опрацювання знань і даних на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів дала змогу підвищити ефективність діагностування КЗ, що підтвердили результати досліджень та впровадження НЕСД в підрозділах підприємств, що займаються експлуатацією та ремонтом КЗ.

Результати експериментальних досліджень з використанням розробленого програмного забезпечення знайшли застосування при організації діагностування КЗ на підприємствах Хмельницька філія ВАТ „Укртелеком”, „Релком-Поділля”, ТОВ НВФ „АДВІСМАШ”.

Розроблена інформаційна технологія впроваджена у навчальному процесі при викладанні дисциплін “Комп'ютерне моделювання”, “Технічна діагностика обчислювальних пристроїв та систем”, “Надійність, контроль та експлуатація ЕОМ”, “Системи штучного інтелекту” для спеціальностей 7.091501 “Комп'ютерні системи та мережі” та 7.091502 “Системне програмування” напряму комп'ютерна інженерія на кафедрах системного програмування та комп'ютерних систем та мереж Хмельницького національного університету.

**Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.** Наукові положення, висновки і рекомендації дисертації обґрунтовані коректним використанням математичного апарату, успішною програмною реалізацією розробленої інформаційної технології подання та опрацювання знань і даних на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування КЗ, ефективним практичним впровадженням результатів дисертаційних досліджень на підприємствах, яке продемонструвало збігання теоретичних досліджень з реальними результатами.

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні результати дисертаційного дослідження, представлені до захисту, одержані автором особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належить: визначення переваг та недоліків відомих методів діагностування КЗ [1, 13, 15], дослідження відомих методів подання та опрацювання діагностичної інформації [8, 17], класифікація діагностичних ознак за рівнем їх візуального прояву [7], розроблення методу діагностування КЗ з врахуванням нечіткої

діагностичної інформації [7, 8], методика групування діагностичної інформації [9], метод оцінки достовірності та ефективності функціонування експертної системи діагностування, побудованої на основі нечіткої логіки [12], реалізація модуля нечіткого логічного виведення [3, 8].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати досліджень проведених у дисертаційній роботі, доповідалися та обговорювалися на Міжнародних та Всеукраїнських конференціях, а саме: Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених та студентів „Діяльність молоді на сучасному етапі” (м. Київ, 2003); II, III та IV Міжнародних науково-практичних конференціях „Мікропроцесорні пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів” (м. Хмельницький – 2003, 2004, 2005); Міжнародній науково-технічній конференції „Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2005” (м. Харків, 2005); VIII Міжнародній науково-технічній конференції “Контроль і управління в складних системах” (м. Вінниця, 2005); Міжнародній науково-практичній конференції „Дні науки 2005” (м. Дніпропетровськ, 2005); VI Міжнародній науковій конференції студентів та молодих учених “ПОЛІТ” (м. Київ, 2006); I, II та III Міжнародних науково-технічних конференціях „Гарантоспособные и безопасные системы, сервисы и технологии DeSSerT” (м. Полтава, 2006, м. Кіровоград – 2007, 2008); VII Міжнародній науково-практичній конференції „Современные информационные и электронные технологии” (м. Одеса, 2006); VII Міжнародній науково-технічній конференції “Искусственный интеллект. Интеллектуальные и многопроцессорные системы (м. Кацивелі, 2006); V Міжнародній науково-практичній конференції „Комп’ютерні системи в автоматизації виробничих процесів” (м. Хмельницький, 2007); International Conference on Computer Science and Information Technologies (м. Львів, 2007); Міжнародній науково-технічній конференції „Комп’ютерні системи та мережні технології” (м. Київ, 2008), VIII Міжнародній конференції (IAI-2008) „Інтелектуальний аналіз інформації” (м. Київ, 2008), а також на міжкафедральних семінарах інституту телекомунікаційних та комп’ютерних систем, факультету комп’ютерних систем та програмування.

**Публікації.** Основні матеріали дисертації викладено у 22-х наукових публікаціях, серед яких 12 статей у фахових виданнях, що входять до переліку фахових видань ВАК України, з них одноосібно – 6.

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів та висновків, викладених на 112 сторінках основного тексту, списку використаних джерел (125 найменувань). Робота містить 26 рисунків; 9 таблиць та 3 додатки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено об’єкт та предмет дослідження, сформульовано мету і задачі, визначено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, а також відомості про апробацію

роботи.

У **першому розділі** досліджено особливості реалізації нечіткого логічного виведення для діагностування комп'ютерних засобів, проведено аналіз сучасних комп'ютерних засобів і методів їх діагностування та проаналізовано переваги і недоліки кожного з методів. Розглянуто методи діагностування комп'ютерних засобів на основі компонентів штучного інтелекту, особливості подання знань у експертних системах діагностування та відомі інформаційні технології опрацювання знань та даних на основі нечіткої логіки.

Аналіз особливостей реалізації нечіткого логічного виведення для діагностування комп'ютерних засобів дав можливість зробити висновки щодо необхідності розроблення інформаційної технології подання та опрацювання знань і даних на основі нечіткої логіки з подальшим її використанням для створення експертних систем діагностування. Така технологія дає змогу вирішити поставлену задачу.

У **другому розділі** проведено аналіз видів діагностичної інформації, визначено склад діагностичних знань та даних, представлено модель подання знань на основі нечіткої логіки, викладено методіку групування інформації та метод оцінювання рівня компетентності експертів.

Спираючись на проведений у першому розділі аналіз КЗ як об'єкта діагностування (ОД) та процесу діагностування було введено наступні означення.

*Означення 1.* Рівнем візуального прояву (РВП) називаємо ступінь доступності ознак прояву несправностей для органів чуттів користувача.

*Класифікація діагностичних ознак.* Діагностичною ознакою називаємо ознаку прояву деякої несправності.

Нехай існує деяка множина типів несправностей  $H = \{h_i\}_{i=1}^n$ , для якої представимо множину діагностичних ознак як:  $D_Z = \{d_{Z_j}\}; j = \overline{1, m}$ , (1)

де  $d_{Z_j}$  -  $j$ -та діагностична ознака;  $m$  - кількість ознак.

Діагностичні ознаки розділимо на три рівні.

*Означення 2.* Діагностичними ознаками 1-го РВП називаємо ознаки, які мають найвищий ступінь доступності для органів чуттів користувача, тобто їх прояв користувач може побачити або почути (перезавантаження операційної системи, наявність або відсутність шуму т. і.).

*Означення 3.* Діагностичними ознаками 2-го РВП називаємо ознаки, які можна виявити на основі ознак 1-го рівня та комплексу додаткових дій (перевірка температури блоку живлення, програмне тестування складових КЗ і т. і.).

*Означення 4.* Діагностичними ознаками 3-го рівня візуального прояву називаємо ознаки, які можна виявити лише після припинення вирішення цільової задачі або (та) вимкнення комп'ютерного засобу (перевірка

коректності встановлення мікросхем, перевірка наявності контактів в роз'ємних з'єднаннях і т. і.).

Кожну діагностичну ознаку представлено за допомогою набору характеристик:

$$A = \{a_{ij}^{R_p}\}, \quad (2)$$

де  $a_{ij}$  -  $i$ -та характеристика  $j$ -ї діагностичної ознаки,  $i = \overline{1, r}$ ,  $r$  - кількість характеристик;  $R_p$  - порядок характеристики, який відповідає рівню діагностичної ознаки,  $R_p = \overline{1, 3}$ .

На етапі підготовки інформації для реалізації процесу діагностування КЗ сформовані групи інформації, що містять:

1) відомості про об'єкти діагностування  $G_1$  в якості яких виступають КЗ або їх складові:  $G_1 = \langle K_Z, D, \Omega \rangle$ , де  $K_Z$  - множина типів ОД,  $K_Z = \{k_{Ze}\}_{e=1}^n$ ;  $D$  - множина даних про ОД, яка розподіляється на множину чітких даних про ОД  $D_{ch}$  та множину нечітких даних та знань  $D_{ch}^-$ ,  $D = (D_{ch} \cup D_{ch}^-)$ ;  $\Omega$  - множина станів ОД у певний момент часу за певних умов, до  $\Omega$  належать справний, несправний стани, граничні негативні, позитивні та невизначені стани,  $\Omega = \{\omega_s\} = \{\omega^c, \omega^{nc}, \omega^{e-}, \omega^{e+}, \omega^{e?}\}$ .

2) перелік типів несправностей  $G_2$  складових КЗ:  $G_2 = \langle K_Z, H \rangle$ , де  $H$  - множина типів несправностей,  $H = \{h_i\}_{i=1}^n$ .

3) характерні ознаки прояву несправностей  $G_3$  в залежності від рівня їх візуального прояву:  $G_3 = \langle K_Z, H, R_p, D_Z \rangle$ , де  $R_p$  - множина рівнів візуального прояву несправностей,  $R_p = \{r_{p_1}, r_{p_2}, r_{p_3}\}$ ;  $D_Z$  - множина діагностичних ознак.

4) можливі причини виникнення несправностей  $G_4$ :  $G_4 = \langle K_Z, H, P_N, M_U \rangle$ , де  $P_N$  - множина причин виникнення несправностей;  $M_U$  - множина методів усунення несправностей.

У результаті модель ОД з врахуванням нечіткої діагностичної інформації представимо як:  $M_{K_Z} = \langle K, E, D_{ch}^K, D_{ch}^K, D_{ch}^E, D_{ch}^E \rangle$ , (3)

де  $D_{ch}^K$  - множина чітких даних стосовно компонентів КЗ,  $D_{ch}^K$  - множина нечітких даних та знань стосовно компонентів КЗ,  $D_{ch}^E$  - множина

чітких даних стосовно елементів КЗ,  $D_{ch}^E$  - множина нечітких даних та знань стосовно елементів КЗ.

Якщо існує така множина  $V = (D \cup D_Z)$ , яка дозволяє ідентифікувати усі стани ОД з множини  $\Omega$ , то діагностична інформація є корисною та її об'єм достатній, тобто  $V = V_{kor}$ .

Якщо  $V > V_{kor}$ , то у множинах  $D$  і (або)  $D_Z$  існує надлишок інформації. В такому випадку процес діагностування буде успішним, але НЕСД буде опрацьовувати надлишкову інформацію, що в свою чергу призводить до надлишкових витрат часу. Виникає необхідність прийняття рішення експертом, яка інформація є надлишковою.

Якщо  $V < V_{kor}$ , то у множинах  $D$  і (або)  $D_Z$  недостатньо інформації. В такому випадку несправність не буде визначена і виникає необхідність поповнення БЗ діагностичною інформацією.

База знань представлена наступним чином:

$$B_Z = \langle M_{K_Z} (P_i(X_k, Y_n, A_k, R_n), \Phi_j(E_i, W_i(P_i', Q_i))) \rangle, \quad (4)$$

де  $B_Z$  - база знань, яка містить експертні знання, формалізовані за допомогою набору нечітких продукцій виду:

$$P_i = IF \ x_1 \ is \ A_1 \ AND \ \dots \ x_j \ is \ A_j \ AND \ \dots \ x_k \ is \ A_k \ THEN \ y_i \ is \ R_i, \quad (5)$$

де  $M_{K_Z}$  - модель об'єкта діагностування,  $P_i$  -  $i$ -те правило-продукція;  $X_k = \{x_j\}$  - множина вхідних змінних, в якості яких виступають множина даних про КЗ  $D = (D_{ch} \cup D_{ch}^E)$  та множина діагностичних ознак

$D_Z = \{dZ_j\}_{j=1}^m$ ;  $Y_n = \{y_i\}$  - множина вихідних змінних, в якості яких виступають множина  $D_Z$ , множина несправностей  $H = \{h_i\}_{i=1}^n$ , множина

причин виникнення несправностей  $P_N = \{pN_h\}_{h=1}^w$  та множина методів усунення несправностей  $M_U = \{mU_c\}_{c=1}^z$ ;  $A_k$  - множина нечітких змінних (терми лінгвістичних змінних);  $R_n = \{R_i\}$  - множина наслідків правил, які

являють собою ступінь впевненості експерта у наявності певної несправності;  $\Phi_j$  - множина фреймів;  $E_i$  - множина імен слотів;  $W_i$  - множина значень слотів;  $P_i'$  - правила-продукції виду (5);  $Q_i$  -  $i$ -й метод-процедура, його наявність не є обов'язковою.

Статичні знання про предметну галузь представлені у вигляді фреймової ієрархії, динамічні знання - у вигляді продукційних правил.

Інтегрована характеристика якості вирішення задач  $Q_v$  є важливим показником кваліфікації експерта, впливає на визначення його рівня компетентності у базі знань і обчислюється за формулою:

$$Q_v = \sum_{i=1}^d v_{z_i} / d, \quad (6)$$

де  $v_z$  - кількість вдало вирішених задач діагностування КЗ;  $d$  - загальна кількість вирішуваних задач.

На основі значення  $Q_v$  кожному експерту виставлено оцінку з інтервалу  $s \in [0,1]$ , яка відображає рівень його компетентності, де  $s = 1$  - для кращого експерта, для спеціалістів з нижчим рівнем кваліфікації має виконуватись умова  $0,6 \leq s < 1$ . Інформація, надана експертами, рівень компетентності яких менше 0,6 не враховується. Таким чином формується множина рівнів компетентності кожного експерта за окремими напрямками предметної галузі.

У **третьому розділі** запропоновано метод діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації, на основі якого сформовано алгоритм діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації, розроблено функційну схему модуля нечіткого логічного виведення, структуру модуля опрацювання інформації, структуру експертної системи діагностування КЗ. Досліджено процес опрацювання нечіткої діагностичної інформації та алгоритм нечіткого логічного виведення в пакеті Matlab 7.0.1.

Для діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації розроблено метод, суть якого складають наступні етапи:

1. *Збір діагностичної інформації про ОД.* На цьому етапі формується множина типів ОД  $K_Z$ , множина чітких даних про ОД  $D_{ch}$ , множина нечітких даних та знань  $D_{ch}^-$ , множина станів ОД у певний момент часу за певних умов  $\Omega$ .

2. *Вибір з бази знань інформації про ОД.* Формування множини рівнів візуального прояву несправностей  $R_p$ , множини діагностичних ознак  $D_Z$ , множини характерних для них несправностей  $H$ .

3. *Побудова моделі об'єкта діагностування.* Будується модель ОД з врахуванням нечіткої діагностичної інформації.

4. *Фазифікація вхідних змінних.* Для опису об'єкта та процесу діагностування використовуємо шкали, що відображають: температурні та частотні режими; часові параметри; швидкісні характеристики; кількісні показники; звукові сигнали і т. і. Узгодження шкал проводиться з врахуванням ступеня компетентності кожного експерта. Узгодження шкал оцінок експертів полягає в побудові результатуючих шкал, які відображають підсумкове значення певної оцінки. Значення цієї оцінки отримується

шляхом знаходження середнього з мінімальних та максимальних значень усіх наявних шкал.

5. *Формування робочої бази правил системи нечіткого виведення.* База правил системи нечіткого висновку являє собою скінченну множину правил нечітких продукцій виду (5). Для визначення якості відібраних правил сформувано критерії інформативності правил, а також виконується перевірка на несуперечливість та дублювання.

6. *Агрегування.* Цей етап представляє собою процедуру визначення ступеня істинності умов за кожним з правил системи виведення.

Для знаходження ступеня істинності умов кожного з правил нечітких продукцій виду (5) використовується операція логічної кон'юнкції:

$$c_i(A \wedge B) = \min\{c_i(A), c_i(B)\}, \quad (7)$$

де  $A, B$  - нечіткі висловлювання,  $c_i$  - значення ступеня істинності кожного висловлювання. Використання кон'юнкції зумовлено тим, що правила, які містяться в БЗ мають логічний зв'язок типу «І».

Етап агрегування рахується закінченим, коли будуть знайдені всі функції належності  $\mu'(y)$  для кожного з правил  $P_i$ , яке входить в базу правил системи виведення.

7. *Активізація.* Етап активізації представляє собою процес знаходження функцій належності нечітких множин та ступеня істинності кожного з підвисновків правил нечітких продукцій виду (5). У методі діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації в якості вагових коефіцієнтів кожного правила використовується ступінь інформативності ( $S_I$ ) цього правила. При активізації функція належності вихідної змінної повинна підсилюватись або послаблюватись такими показниками, як інформативність правила та ступінь впевненості, тому використовується метод *prod*-активізації:  $\mu'(y) = c_i \times \mu(y)$ , (8)

де  $\mu(y)$  - функція належності вихідної змінної.

Чим вищий ступінь впевненості та ступінь інформативності, тим вищий ступінь істинності кожного з підвисновків правил нечітких продукцій.

8. *Акумуляція.* Під акумуляцією розуміють процес знаходження функцій належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних.

Для кожного правила обчислюємо добуток ступеня інформативності на ступінь впевненості експерта ( $R_i$ ) для того чи іншого висновку:

$$\eta = S_I \times R_i \quad (9)$$

Акумуляція у запропонованому методі діагностування КЗ виконується за формулою операції  $\lambda$  - суми нечітких множин:

$$\mu_D(y) = \lambda \times \mu_A(x) + (1 - \lambda) \times \mu_B(x) \quad (\forall x \in X), \quad (10)$$

де  $\lambda$  розглядається як параметр, що відображає експертну оцінку частоти, з якою проявляється та чи інша несправність, відповідно до

специфіки процесу діагностування КЗ і приймає значення з інтервалу  $[0,1]$ ;  $\mu_A(x)$ ,  $\mu_B(x)$  - функції належності вхідних змінних.

У процесі акумуляції визначається множина припущень експерта про можливість наявності тієї чи іншої несправності  $Y_i$ . Можлива причина несправності визначається шляхом відбору припущень з функціями належності, які мають ступені впевненості більші або рівні 0,7. У результаті етапу акумуляції для кожної змінної множини  $Y_n = \{y_i\}$  буде визначена множина кінцевих функцій належності  $\mu_{Y_i}$ .

*9. Дефазифікація вихідних змінних.* В процесі діагностування КЗ крім нечітких наявні також чіткі дані, які інтерпретуються на нечітку шкалу у вигляді одноточкових множин. Для коректного опрацювання всієї наявної діагностичної інформації використано метод центру мас.

Модуль нечіткого логічного виведення побудований на базі запропонованого методу та алгоритму і реалізований за допомогою пакету Matlab 7.0.1. МНЛВ працює згідно функційної схеми, наведеної на рис. 1.

Частина функцій є стандартними функціями пакету Fuzzy Logic Toolbox системи Matlab 7.0.1. Додатково було розроблено ряд сервісних функцій – vubir, shkala, nesup, dubl, addrule, inform, method1, method2, method3 – для реалізації запропонованого методу діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації.

У **четвертому розділі** розроблено експертну систему діагностування КЗ на основі нечіткої логіки, яка дозволяє провести процес діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації, запропоновано оцінку ефективності експертної системи діагностування комп'ютерних засобів.

Експертну систему діагностування КЗ на основі нечіткої логіки було реалізовано в Borland C++ Builder 6.0. та Matlab 7.0.1.

НЕСД складається з наступних модулів:

- ДМ – діалоговий модуль, що забезпечує взаємодію користувача з НЕСД: реалізує опитування користувача в процесі роботи системи, занесення зібраної інформації у базу даних та візуалізацію результатів діагностування;

- МОІ – модуль опрацювання інформації, що забезпечує збір, організацію та опрацювання різних видів інформації, яка наявна у процесі діагностування КЗ, він, в свою чергу, складається з модуля організації інформації (МОрІ) та модуля аналізу інформації (МАНІ);

- МНЛВ – модуль нечіткого логічного виведення, що забезпечує вирішення задачі діагностування;

- БЗ – база знань, у якій зберігаються необхідні для роботи НЕСД знання про предметну галузь;

- БД – база даних, яка є тимчасовою на протязі сеансу роботи користувача, і у ній зберігається інформація одержана від користувача в ході роботи системи.

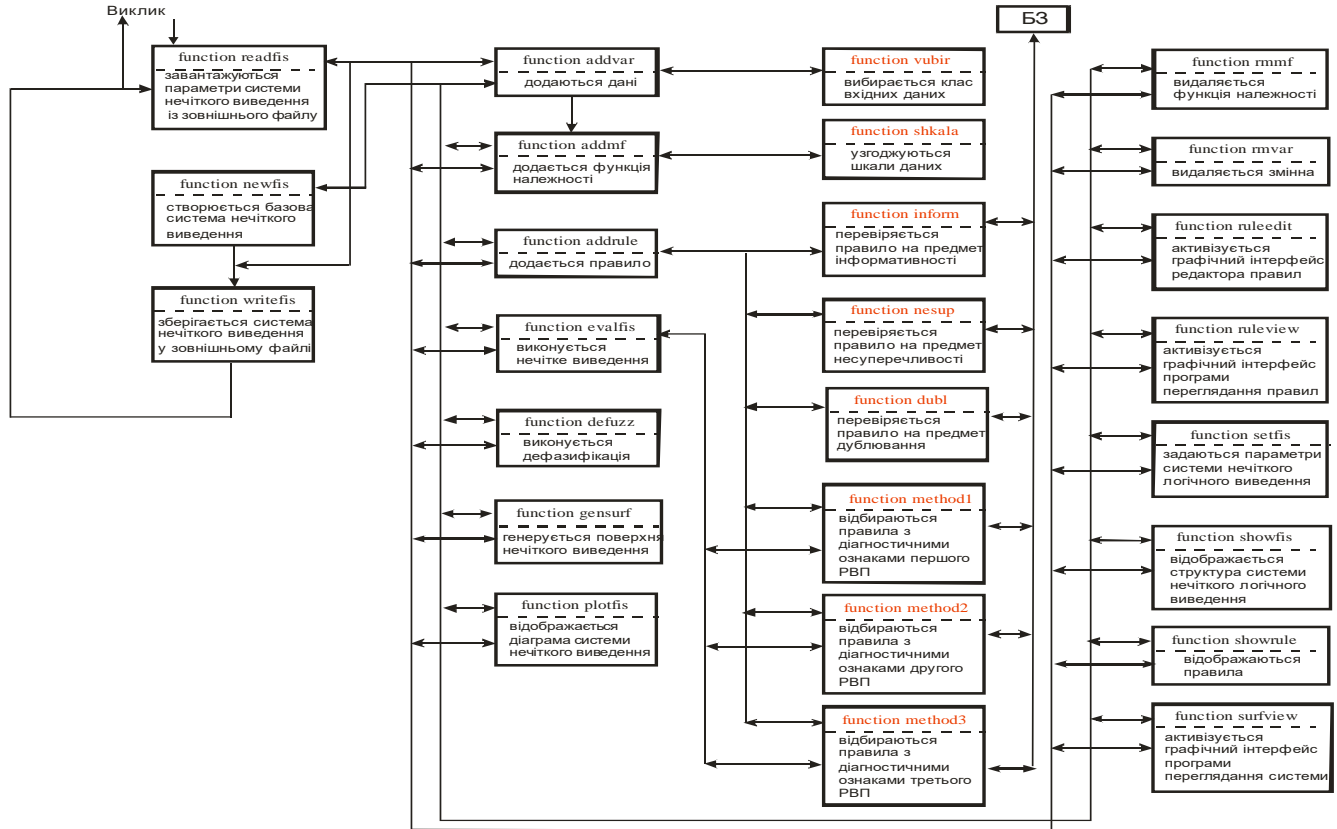


Рис.1. Функційна схема модуля нечіткого логічного виведення

Ефективність роботи НЕСД КЗ оцінено на основі таких показників як *достовірність* та *повнота* діагностування.

Достовірність діагностування визначається як:

$$DS = PD / k, \quad (11)$$

де  $k$  - кількість експертів,  $PD$  - повнота діагностування, що

визначається за формулою:

$$PD = H \times \sum_{i=1}^n s_i, \quad (12)$$

де  $s$  - рівень компетентності експертів,  $H$  - множина типів несправностей.

Множина несправностей є результатом опрацювання об'єму діагностичної інформації:

$$H = f(V),$$

де  $f$  - функційне перетворення.

Ефективність діагностування із задіюванням тільки чіткої інформації:

$$EF_{ch} = \frac{DS_{ch} \times SK_{ch}}{K_{time}}, \quad (13)$$

де  $SK_{ch}$  - показник складності, який характеризує, кількість задіяних чітких правил для організації логічного виведення.

Ефективність задіювання нечіткої інформації:

$$EF_{ch}^- = \frac{DS_{ch}^- \times SK_{ch}^-}{K_{time}} \quad (14)$$

де  $SK_{ch}^-$  - характеризує кількість нечітких правил для логічного виведення.

При сумісному використанні чіткої та нечіткої інформації,

ефективність НЕСД визначаємо як:  $EF_{ch \cup ch}^- = \frac{DS_{ch \cup ch}^- \times SK_{ch \cup ch}^-}{K_{time}}$  (15)

Показник складності визначено як:  $SK = G \times VR$  (16)

де  $G$  - кількість задіяних правил для організації логічного виведення;  $VR$  - вартість правила, яку визначено в умовних одиницях: для чіткого правила  $VR_{ch} = 1$ , для нечіткого правила  $VR_{ch}^- = 1,2$ .

Ефективність використання нечіткої інформації обчислюється як:

$$F = EF_{ch \cup ch}^- / EF_{ch}. \quad (17)$$

На основі формули (17) сформовано критерії ефективності функціонування НЕСД.

Якщо  $F \leq 1$ , то створення і використання експертної системи діагностування КЗ, побудованої на основі нечіткої логіки не є доцільним, достатньо ЕСД, що опрацьовують чітку діагностичну інформацію

Якщо  $F > 1$ , то використання НЕСД є ефективним.

Ефективність інших модулів НЕСД комп'ютерних засобів обчислено за класичними методами.

Обчислення ефективності дослідного зразка НЕСД показало підвищення достовірності у 1,19 разів та приріст ефективності у 1,82 рази.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну наукову задачу розроблення інформаційної технології подання та опрацювання діагностичних знань і даних на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів. При цьому отримано такі основні результати:

1. Дослідження видів діагностичної інформації та процесу діагностування КЗ показало, що у багатьох випадках можна визначити несправність та причину її виникнення за візуальними ознаками прояву та усунути несправність, не перериваючи функціонування КЗ, що дозволяє зменшити витрати часу та ресурсів. Тому було здійснено класифікацію діагностичних ознак за рівнем їх візуального прояву.

2. На етапі підготовки діагностичної інформації для реалізації процесу діагностування КЗ сформовано групи, що містять: відомості про об'єкти діагностування (КЗ або їх складові), перелік типів несправностей складових КЗ, характерні ознаки прояву несправностей в залежності від рівня їх візуального прояву та можливі причини виникнення несправностей. Це забезпечило виявлення взаємозв'язків діагностичних знань та даних, що дало змогу структурувати їх подання у базі знань та виявляти протиріччя у ній.

3. Для врахування нечіткої діагностичної інформації стосовно компонентів та елементів КЗ набула подальшого розвитку модель КЗ, як об'єкта діагностування.

4. Для предметної галузі „діагностування КЗ” визначено склад знань, що дозволило провести порівняльний аналіз та обрати найбільш перспективну модель подання знань у базі знань.

5. Набув подальшого розвитку метод оцінювання рівня компетентності експертів на основі введення інтегрованої характеристики якості вирішення задач предметної галузі, що забезпечило більш доцільне використання експертних знань для декомпозиції задач предметної галузі.

6. Розроблено метод діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації, який забезпечив підвищення:

- достовірності процесу діагностування за рахунок комплексного врахування таких взаємопов'язаних показників, як: ступінь довіри до експертів; рівень компетентності експертів в предметній галузі і узгодження експертних оцінок характеристик та параметрів КЗ; види діагностичних ознак за рівнем їх візуального прояву та несправності об'єктів діагностування на етапі фазифікації;

- ефективності процесу діагностування шляхом комплексного врахування таких взаємопов'язаних показників, як: інформативність нечіткої

діагностичної інформації, несуперечливість та дублювання правил на етапі формування бази правил; використання методу нечіткої композиції у вигляді prod-активізації на етапі активізації та експертної оцінки частоти прояву несправностей на етапі акумуляції; використання методу центру мас, котрий забезпечує коректне опрацювання однокочових множин на етапі дефазифікації.

Реалізація нечіткого логічного виведення в методі діагностування КЗ, з врахуванням нечіткої діагностичної інформації, ґрунтується на методі Мамдані.

7. На основі запропонованого методу діагностування КЗ розроблено алгоритм діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації, що став основою для реалізації програмного забезпечення експертної системи діагностування.

8. Розроблено структурну схему експертної системи діагностування КЗ, побудованої на основі нечіткої логіки, яка відрізняється від відомих наявністю модулів аналізу та організації інформації, що забезпечують реалізацію запропонованого подання діагностичної інформації та методу опрацювання нечіткої діагностичної інформації.

9. Розроблено функційну схему модулів нечіткого логічного висновку та опрацювання інформації, які забезпечили організацію та опрацювання різних видів інформації і стали основою НЕСД.

10. На основі запропонованих формалізмів подання нечіткої діагностичної інформації, класифікації діагностичних ознак за рівнями візуального прояву, способу групування діагностичної інформації, методу та алгоритму діагностування КЗ, з врахуванням нечіткої діагностичної інформації розроблено інформаційну технологію подання та опрацювання діагностичних знань і даних, на основі нечіткої логіки, що стала основою для програмного забезпечення НЕСД КЗ, і забезпечила підвищення достовірності процесу діагностування у 1,19 та підвищення ефективності у 1,82 рази.

11. Набув подальшого розвитку метод оцінки ефективності функціонування НЕСД КЗ на основі таких показників, як повнота та достовірність діагностування, що забезпечили врахування корисного об'єму нечіткої діагностичної інформації.

12. Розроблене програмне забезпечення експертної системи діагностування КЗ на основі нечіткої логіки дало змогу апробувати результати досліджень та впровадити їх в підрозділах підприємств, що займаються експлуатацією та ремонтом КЗ.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Поморова О. В. Аналіз методів представлення знань у базах знань експертних систем діагностування / О. В. Поморова, Є. Г. Гнатчук // Вісник ТУП (Хмельницький державний університет). – Хмельницький: ХДУ. - 2004. - №.2, Ч.1, Т2 – с.140 - 143.

2. Gnatchuk E.G. Knowledge base of fuzzy diagnosis expert system of computer devices // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського „Харківський авіаційний інститут”. - 2006. - №.7 (19). – С.121 - 125.
3. Поморова О. В. Система нечіткого логічного висновку для процесу діагностування комп'ютерних засобів / О. В. Поморова, Є. Г. Гнатчук // *Вісник Хмельницького національного університету.* – Хмельницький: ХНУ. - 2005. - №.4, Ч1,Т2. – С.187 - 190.
4. Гнатчук Є. Г. Нечітка експертна система діагностування комп'ютерних засобів // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського „Харківський авіаційний інститут”. - 2005. - №.4 (12). – С.141 - 144.
5. Гнатчук Є. Г. Моделування нечіткого логічного висновку процесу діагностування комп'ютерних засобів // *Вісник Вінницького політехнічного інституту.* - Вінниця: ВНТУ. - 2005. – №6(63). - С. 220 - 224.
6. Гнатчук Є. Г. Опрацювання нечіткої інформації в нечіткій експертній системі діагностування комп'ютерних засобів // *Искусственный интеллект.* – Донецьк: Інститут проблем штучного інтелекту МОН і НАН України. - 2006. - №.4. – С.526 - 533.
7. Локазюк В. М. Алгоритмізація нечіткого логічного висновку для процесу діагностування комп'ютерних засобів / В. М. Локазюк, Є. Г. Гнатчук // *Вісник Хмельницького національного університету.* – Хмельницький: ХНУ. - 2006. - №.6 (87). – С.52 - 58.
8. Поморова О. В. Реалізація логічного висновку нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів / О. В. Поморова, Є. Г. Гнатчук // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського „Харківський авіаційний інститут”. - 2007. - №. 6 (25). – С. 112 - 115.
9. Перевозніков С. І. Методика опрацювання експертної інформації при побудові нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів / С. І. Перевозніков, Є. Г. Гнатчук // *Вісник Хмельницького національного університету.* – Хмельницький: ХНУ. - 2007. - №2, Т2 (90). – С.110 - 112.
10. Гнатчук Є. Г. Опрацювання нечіткої експертної інформації у процесі діагностування комп'ютерних засобів // *Вісник Національного університету „Львівська політехніка” Комп'ютерні науки та інформаційні технології.* - №598. – 2007. – С. 50 - 55.
11. Гнатчук Є. Г. Інформаційна технологія подання та опрацювання знань на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів // *Вісник Хмельницького національного університету.* – Хмельницький: ХНУ. - 2008. - №4. – С. 55 - 61.
12. Поморова О. В. Ефективність нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів // О. В. Поморова, Є. Г. Гнатчук // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – Харків: Національний

аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського „Харківський авіаційний інститут”. - 2008. - №. 5 (32). - С. 121 – 127.

13. Поморова О. В. Огляд комерційних оболонок експертних систем та методів представлення знань у них / О. В. Поморова, Є. Г. Гнатчук // Мікропроцесорні пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів. 36. наук. праць. – Хмельницький: ТУ Поділля. - 2003. - С.101 - 107.

14. Гнатчук Є. Г. Інтелектуальне діагностування МПП та С // Тези доповідей Всеукраїнської наук. конференції молодих вчених та студентів “Діяльність молоді на сучасному етапі”. – Київ. – 21-25 квітня. – 2003.

15. Поморова О. В. Інтелектуальне діагностування МПП та С / О. В. Поморова, Є. Г. Гнатчук // 36. наук. праць. – Кривий Ріг, ІСГМК. - 2004. –С. 63 – 66.

16. Гнатчук Є. Г. Нечіткий логічний висновок в експертній системі діагностування мікропроцесорних пристроїв // Сб. докл. и тез. III Международного молодежного форума „Информационные технологии в XXI веке”, 27-28 апреля. - Днепропетровск. - 2005. - С.50-51.

17. Поморова О. В. Опрацювання якісної інформації у нечітких експертних системах діагностування комп'ютерних засобів / О. В. Поморова, Є. Г. Гнатчук // Матеріали міжнародної наук-практ. конф. „Дні науки “2005”, 15 - 27 квітня. - Дніпропетровск: Наука і освіта. - 2005. - Т34. Сучасні інформаційні технології. - С.13 - 15.

18. Гнатчук Є. Г. Моделювання нечіткого логічного висновку процесу діагностування комп'ютерних засобів // Тези доповідей VIII Міжнар. наук.-техн. конф. „Контроль і управління в складних системах КУСС-2005”, 24 - 27 жовтня. – Вінниця: УНІВЕРСУМ. - 2005. – С. 44.

19. Гнатчук Є. Г. Нечітка експертна система діагностування комп'ютерних засобів // Тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. „Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2005”. – Харків: Національний аерокосмічний університет „Харківський авіаційний інститут”. - 2005. – С. 266.

20. Гнатчук Є. Г. Представлення інформації у базі знань нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів // Матеріали VI міжнародної наук. конференції студентів та молодих учених „ПОЛІТ”. – Київ. – 11-12 квітня. – 2006. - С. 126.

21. Гнатчук Є. Г. Розроблення нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів // Труды седьмой международной наук.-практ. конференции „Современные информационные и электронные технологии СИЭТ-2006”, 22 - 26 мая. - Одесса: Одесский национальный политехнический университет. - 2006. - Т.1. - С. 157.

22. Гнатчук Є. Програмна реалізація нечіткої експертної системи системи діагностування комп'ютерних засобів // Proceedings of the International Conference on Computer Science and Information Technologies, september 27th – 29<sup>th</sup>, Lviv, Ukraine. – Львів. – 2007. – С. 155 – 158.

## АНОТАЦІЯ

Гнатчук Є. Г. Інформаційна технологія подання та опрацювання знань на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний університет „Львівська політехніка”, Львів, 2008.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової задачі підвищення ефективності процесу діагностування комп'ютерних засобів на етапі експлуатації шляхом розроблення інформаційної технології подання та опрацювання знань і даних на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів.

Вперше розроблено метод діагностування комп'ютерних засобів з врахуванням нечіткої діагностичної інформації, вдосконалено класифікацію діагностичних ознак несправностей комп'ютерних засобів шляхом врахування рівня їх візуального прояву, набув подальшого розвитку метод оцінки ефективності функціонування експертної системи діагностування, побудованої на основі нечіткої логіки.

Розроблена інформаційна технологія стала основою для створення експертних систем діагностування комп'ютерних засобів, побудованих на основі нечіткої логіки і забезпечила підвищення достовірності та ефективності діагностування КЗ на етапі експлуатації.

**Ключові слова:** діагностування комп'ютерних засобів, діагностичні ознаки, нечітка діагностична інформація, експертна система діагностування, інформаційна технологія подання та опрацювання знань на основі нечіткої логіки.

## АННОТАЦИЯ

Гнатчук Е.Г. Информационная технология представления и обработки знаний на основе нечеткой логики в экспертных системах диагностирования компьютерных устройств. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный университет „Львовская политехника”, Львов, 2008.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи – повышения эффективности процесса диагностирования компьютерных устройств на этапе эксплуатации путем разработки информационной технологии представления и обработки знаний на основе нечеткой логики в экспертных системах диагностирования компьютерных устройств.

Впервые разработан метод диагностирования компьютерных устройств с учетом нечеткой диагностической информации, обеспечивающий повышение:

- достоверности процесса диагностирования за счет комплексного учета таких взаимосвязанных показателей, как: степени доверия к экспертам;

уровня компетентности экспертов в предметной области и согласование экспертных оценок характеристик и параметров компьютерных устройств; виды диагностических признаков по уровню их визуального проявления и неисправностей объектов диагностирования на этапе фазификации;

- эффективности процесса диагностирования путем комплексного учета таких взаимосвязанных показателей, как: информативность нечеткой диагностической информации, непротиворечивость и дублирование правил на этапе формирования базы правил; использование метода нечеткой композиции в виде prod-активизации на этапе активизации и экспертной оценки частоты проявления неисправностей на этапе аккумуляции; использование метода центра тяжести, который обеспечивает корректную обработку одноточечных множеств на этапе дефазификации.

Усовершенствована классификация диагностических признаков неисправностей компьютерных устройств путем учета уровня их визуального проявления. Получил дальнейшее развитие метод оценки эффективности функционирования экспертной системы диагностирования, созданной на основе нечеткой логики. Метод оценки уровня компетентности экспертов на основе интегрированной характеристики качества решения задач предметной области обеспечил более целесообразное использование экспертных знаний для декомпозиции задач предметной области.

Разработанная информационная технология стала основой для создания экспертных систем диагностирования компьютерных устройств, построенных на основе нечеткой логики.

**Ключевые слова:** диагностирование компьютерных устройств, диагностические признаки, нечеткая диагностическая информация, экспертная система диагностирования, информационная технология представления и обработки знаний на основе нечеткой логики.

## ANNOTATION

Gnatchuk E.G. Information technologies of representation and treatment of knowledge on the basis of fuzzy logic in the expert systems for computer devices. – Manuscript.

Thesis for obtaining scientific degree Candidate of Technical Science by specialty 05.13.06 – information technologies. – Lviv National Polytechnic University, Lviv, 2008.

Dissertation is devoted to the decision of the actual scientific task – increase effectiveness of diagnosis process of computer devices at the exploitation stage by working information technologies of representation and treatment of knowledge on the basis of fuzzy in the expert systems for computer devices.

The diagnosis method of computer devices taking into account fuzzy diagnostic information was created. The classification of diagnostic signs of failure by taking into account level their visual demonstration was perfected. The method of assessment of operating benefits diagnosis expert system on basis of fuzzy was take further development.

Working information technologies stand on the basis of created diagnosis expert systems for computer devices construction with fuzzy logic. The information technologies is implement increase of trustworthiness and effectiveness of diagnosis process for computer devices at the stage of exploitation.

**Keywords:** diagnosis of computer devices, fuzzy diagnostic information, diagnosis expert system, information technologies of representation and treatment of knowledge on the basis of fuzzy logic.