

УДК 004.832.34

**О.В. ПОМОРОВА, Є.Г. ГНАТЧУК**

*Хмельницький національний університет, Україна*

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ НЕЧІТКОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ**

В статті запропоновано метод оцінювання ефективності функціонування модулів нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів.

**нечітка експертна система діагностування, комп'ютерні засоби, діагностична інформація, достовірність діагностування, повнота діагностування, ефективність діагностування**

### **Вступ**

Однією з основних задач при розробленні експертних систем діагностування комп'ютерних засобів (КЗ) є задача опрацювання експертної діагностичної інформації, представленої в нечіткій формі [1 – 3].

Для вирішення цієї задачі розроблено нечітку експертну систему діагностування (НЕСД) КЗ [4], база знань якої містить діагностичну інформацію про типові несправності КЗ, ознаки їх прояву, причини виникнення, методи усунення і т. і., як у чіткій, так і у нечіткій формі представлення [5, 6]. Оскільки опрацювання нечіткої інформації вимагає задіявання додаткових ресурсів системи, а саме: метазнань про модель представлення нечіткої інформації та алгоритмічних процедур логічного висновку на основі нечітких знань, виникає питання оцінювання ефективності НЕСД. Оцінювання ефективності нечітких експертних систем технічного діагностування на основі відомих методів та методик є практично неприйнятним, у зв'язку з неврахуванням ними специфіки компонентів штучного інтелекту [7].

**Постановка задачі.** Метою роботи є розроблення методу визначення ефективності функціонування НЕСД КЗ.

Для оцінювання ефективності НЕСД необхідно вказати перелік показників діагностування та діапазони їх значень і сформулювати критерій ефективності функціонування НЕСД.

### **Структура нечіткої експертної системи діагностування КЗ**

Для функціонування нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів необхідно забезпечити: збір, організацію та опрацювання різних видів діагностичної інформації; механізм реалізації нечіткого логічного висновку та організацію діалогу з користувачем. Структурна схема НЕСД представлена на рис. 1 [1, 8]. Вона 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 висновку, що забезпечує вирішення задачі діагностування;
- БЗ – база знань, у якій зберігаються необхідні для роботи НЕСД знання про предметну область;
- БД – база даних, яка є тимчасовою на протязі сеансу роботи користувача, і у ній зберігається ін-

формація одержана від користувача в ході роботи системи.

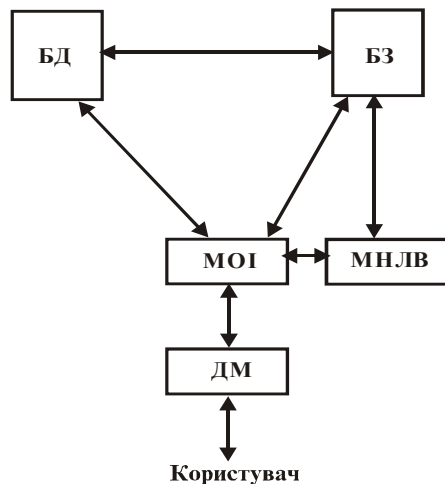


Рис. 1. Структура НЕСД КЗ

### Метод оцінки ефективності НЕСД КЗ

Основними модулями, що впливають на ефективність функціонування НЕСД КЗ, є база знань (БЗ), модуль опрацювання інформації та модуль нечіткого логічного висновку.

Схема руху інформаційних потоків між цими модулями представлена на рис. 2.

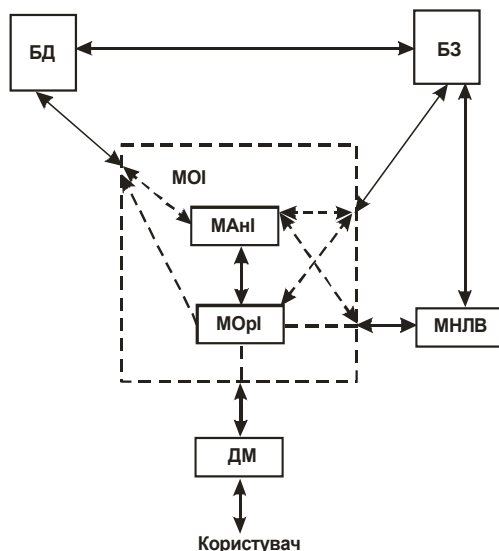


Рис. 2. Схема руху інформаційних потоків

Ефективність роботи НЕСД КЗ оцінимо на основі таких показників діагностування, як достовірність та повнота діагностування. Достовірність діагносту-

вання – це ступінь об'єктивної відповідності результату діагностування технічному стану об'єкта діагностування (ОД) [9]. Повнота діагностування – можливість виявлення несправностей ОД за допомогою обраного методу діагностування [9]. Позначимо їх  $DS$  та  $PD$  відповідно.

Розглянемо, як впливає функціонування вищезазначених модулів системи на значення цих показників.

База знань містить знання, які описують ОД, його компоненти та елементи, значення та параметри апаратних складових, можливі типи несправностей, характерні ознаки їх прояву, причини виникнення та алгоритми їх усунення. Також в базі знань міститься інформація про експертів: напрямок їх спеціалізації, рівень компетентності, типи ОД з якими вони працюють, словники з термінологією експертів, узгодженням термінології, узгодженням шкал лінгвістичних понять, та інше [6].

Об'єм несуперечливої діагностичної інформації є основною характеристикою якості БЗ. Множина  $V$  містить множину даних та знань про об'єкт діагностування  $D$  та множину діагностичних ознак  $DZ$ , тобто  $V = (D \cup DZ)$ . До множини  $D$  відноситься множина чітких даних про ОД та множина нечітких знань  $D = (D_{ch} \cup D_{\bar{ch}})$ . Множина чітких даних  $D_{ch}$  одержується з технічної документації ОД, довідкової літератури та безпосередньо під час функціонування ОД. Множина нечітких знань  $D_{\bar{ch}}$  – це експертна інформація, нечітко задані параметри, їх середньостатистичні значення та інше [3].

Отже, діагностичну інформацію про ОД та процес діагностування, яка міститься в БЗ, представимо у вигляді:

$$V = (T \cup D(D_{ch} \cup D_{\bar{ch}}) \cup \Omega \cup TN \cup DZ \cup \cup RP \cup PN \cup MU), \quad (1)$$

де  $T$  – множина типів ОД, в якості яких виступають складові КЗ;  $\Omega$  – множина станів ОД у певний момент часу за певних умов [7];  $TN$  – множина харак-

терних для них несправностей;  $RP$  – множина рівнів візуального прояву діагностичних ознак;  $PN$  – множина причин виникнення несправностей;  $MU$  – множина методів усунення несправностей [3].

Функціонування модуля опрацювання діагностичної інформації розглядаємо як результат функціонування двох окремих модулів - модуля організації інформації (МОрІ) та модуля аналізу інформації (МАНІ). МОрІ збирає і класифікує діагностичну інформацію. МАНІ контролює повноту та достатність діагностичної інформації для вирішення конкретної задачі. Усю діагностичну інформацію, яка опрацьовується МОрІ, представимо як

$$V = f_1(D) \cup f_2(DZ) \cup f_3(RP), \quad (2)$$

де  $f(\bullet)$  - функційне перетворення різних типів діагностичної інформації. Оскільки,  $D = (D_{ch} \cup D_{\bar{ch}})$ , то рівняння (2) набуває вигляду:

$$V = f_1(D_{ch}) \cup f_1(D_{\bar{ch}}) \cup f_2(DZ) \cup f_3(RP). \quad (3)$$

МАНІ не здійснює функційних перетворень інформації, а здійснює лише її відбір з БЗ:

$$V = (D_{ch} \cup D_{\bar{ch}} \cup DZ \cup RP \cup TN \cup MU) \quad (4)$$

Об'єм діагностичної інформації має бути достатнім для вирішення поставленої задачі, діагностична інформація має бути корисною та несуперечливою. Якщо існує така множина  $V$ , яка дозволяє ідентифікувати усі стани ОД з множини  $\Omega$ , то інформація є корисною та її об'єм достатній  $V_{kor}$ , тобто  $V = V_{kor}$ .

Якщо  $V > V_{kor}$ , то існує надлишок інформації. В такому випадку процес діагностування буде успішним, але НЕСД буде опрацьовувати надлишок інформації, що, в свою чергу, призводить до додаткових витрат часу і негативно впливає на ефективність роботи НЕСД. Виникає необхідність прийняття рішення експертом про те, яка інформація є надлишковою.

Якщо  $V < V_{kor}$ , то інформації недостатньо. У такому випадку діагностування не буде здійснено і виникає необхідність поповнення БЗ діагностичною

інформацією.

Модуль нечіткого логічного висновку (МНЛВ) працює з інформацією, отриманою з бази знань та модуля опрацювання інформації. Об'єм діагностичної інформації, з якою працює МНЛВ, оцінимо як

$$V = (f_1(D_{ch}) \cup f_2(D_{\bar{ch}}) \cup f_3(DZ) \cup f_4(RP)) \cup (D_{ch} \cup D_{\bar{ch}} \cup DZ \cup RP \cup TN \cup MU). \quad (5)$$

При визначенні достовірності врахуємо кількість отриманих рішень під час процесу діагностування, яка визначатиме кількість одиниць часу, витрачених на перевірку цих рішень  $K_{time}$ .  $K_{time}$  будемо оцінювати в деяких умовних одиницях, величина залежить від кількості наявних несправностей. Щоб оцінити  $V$  в кількісних одиницях приймемо, що  $V \in [0,1]$ ,  $V_{kor} = 1$ . Така область визначення дозволяє оцінити всі складові об'єму діагностичної інформації.

Якщо множина несправностей є порожньою множиною  $TN \in \emptyset$ , то  $TN \rightarrow \min$ , а інакше, якщо  $TN \notin \emptyset$ , то  $TN \rightarrow \max$ .

Якщо  $TN \rightarrow \max$ , то відповідно кількість одиниць часу  $K_{time} \rightarrow \max$ . При врахуванні у процесі діагностування тільки множини  $D_{ch}$  постає питання про достатність даних для визначення причини несправності. При цьому  $V \rightarrow \min$ , тому що система оперує з об'ємом даних, який є мінімальним, що, в свою чергу, призводить до ситуації, коли достовірність рішень  $DS \rightarrow \min$ . Отже, для успішної реалізації процесу діагностування необхідно домогтися ситуації, коли  $V = V_{kor}$ ,  $K_{time} \rightarrow \min$ ,  $DS \rightarrow \max$ .

Врахування множини  $D_{\bar{ch}}$  у множині  $V$  дозволяє отримати наступні ситуації:  $V = V_{kor}$ ,  $TN \rightarrow \min$  або  $V = V_{kor}$ ,  $TN \rightarrow \max$ . Щоб запобігти такій ситуації, в структуру нечітких правил включений наслідок правила  $R_i$ , що є ступенем впевненості в наявності тієї або іншої несправності [6]. Це дозволяє відібрати правила, де певним елементам множини  $TN$  відповідають високі ступені впевненості.

Таким чином, можливо домогтися ситуації, коли  $TN \rightarrow \min$ .

У загальному випадку достовірність діагностування визначатимемо як

$$DS = PD / k, \quad (6)$$

де  $k$  – кількість експертів.

Повнота діагностування визначатиметься як

$$PD = TN \times \sum_{i=1}^n s_i, \quad (7)$$

де  $s_i$  – рівень компетентності експертів;  $s = 1$  - для кращого експерта; для спеціалістів з нижчим рівнем кваліфікації має виконуватись умова  $0.6 \leq s < 1$ ; ступені впевненості експертів, рівень компетентності яких менше 0.6, не враховуються,  $i = \overline{1, n}$ .

Множина несправностей є результатом опрацювання об'єму діагностичної інформації:

$$TN = f(V),$$

де  $f$  – функційне перетворення.

Ефективність діагностування з задіюванням тільки чіткої інформації визначимо як

$$EF_{ch} = \frac{DS_{ch} * SK_{ch}}{K_{time}}, \quad (8)$$

де  $SK_{ch}$  - показник складності, який характеризує, скільки чітких правил треба задіяти для логічного висновку.

При сумісному використанні чіткої та нечіткої інформації, ефективність НЕСД визначаємо як:

$$EF_{ch \cup \bar{ch}} = \frac{DS_{ch \cup \bar{ch}} * SK_{ch \cup \bar{ch}}}{K_{time}} \quad (9)$$

де  $SK_{ch \cup \bar{ch}}$  – характеризує кількість чітких та нечітких правил для логічного висновку.

В свою чергу, показник складності визначається як

$$SK = G \times VR, \quad (10)$$

де  $G$  – кількість задіяних правил для організації логічного висновку;  $VR$  - вартість правила, яку визначимо в деяких умовних одиницях: для чіткого правила  $VR_{ch} = 1$ , для нечіткого правила  $VR_{\bar{ch}} = 1.2$ .

Критерієм ефективності використання нечіткої інформації є

$$F = EF_{ch \cup \bar{ch}} / EF_{ch}. \quad (11)$$

На основі формули (12) оцінювання ефективності функціонування НЕСД здійснюється наступним чином:

– якщо  $F = 1$ , то створення і використання нечітких експертних систем діагностування не є доцільним;

– якщо  $F < 1$ , то для вирішення даної задачі не-доцільно використовувати НЕСД;

– якщо  $F > 1$ , то використання НЕСД є ефективним.

Ефективність інших модулів НЕСД комп'ютерних засобів обчислимо за класичними методами [7].

### Приклад оцінювання ефективності

Розглянемо на прикладі, як впливає на ефективність НЕСД використання у процесі діагностування чіткої та нечіткої діагностичної інформації. Для цього розглянемо несправність: перезавантаження комп'ютерного засобу під час функціонування. При вирішенні задачі виявлення причин перезавантаження комп'ютерного засобу отримали множину можливих причин перезавантаження  $TN = \{tn_1, tn_2, tn_3\}$ : несправність системної плати, несправність відеокарти, несправність жорсткого диску. У даному прикладі в якості ОД виступає комп'ютерний засіб в цілому. Множина  $D$  являє собою сукупність даних про комп'ютерний засіб: частота шини -  $d_{ch_1} = 400 \text{ } \dot{A} \ddot{o}$ ,  $d_{ch_2} = 533 \text{ } \dot{A} \ddot{o}$ ; об'єм оперативної пам'яті  $d_{ch_3} = 2 \text{ } \dot{A} \acute{a}$ ; напруга компонентів системної плати -  $d_{ch_4} = +5V$ ,  $d_{ch_5} = -5V$ ,  $d_{ch_6} = +12V$ ,  $d_{ch_7} = -12V$ , швидкість роботи дисководу -  $d_{ch_1} = 70 - 100 \text{ } \dot{i} \ddot{n}$ , зміна частоти головки читання запису магнітного диска в діапазоні -  $d_{ch_2} = 62,5 - 250 \text{ } \acute{e} \dot{A} \ddot{o}$ .

$$D = \{(d_{ch_1}, d_{ch_2}, d_{ch_3}, d_{ch_4}, d_{ch_5}, d_{ch_6}, d_{ch_7}) \cup (d_{ch_1}^-, d_{ch_2}^-)\}.$$

Кожна діагностична ознака описується набором характеристик рівнів візуального прояву:

$$A_1 = \{(a_{r_3}^1, a_{r_4}^1, a_{r_5}^1, a_{r_7}^1, a_{r_9}^1)\},$$

$$A_2 = \{(a_{r_1}^2, a_{r_2}^2, a_{r_6}^2, a_{r_8}^2)\}, A_3 = \{(a_{r_{10}}^3)\}.$$

У даному прикладі наявні діагностичні ознаки трьох рівнів візуального прояву [2]:

$$DZ = \{dz_1, dz_2, dz_3, dz_4, dz_5, dz_6, dz_7, dz_8, dz_9, dz_{10}\},$$

де  $dz_3$ :  $a_{1_3}^1$  – 3-20с,  $a_{2_3}^1$  – 20хв,  $a_{3_3}^1$  – більше 30хв – час, протягом якого працював комп'ютерний засіб до моменту перезавантаження;

$dz_4$ :  $a_{1_4}^1$  – 1,  $a_{2_4}^1$  – 0 – наявність зависання перед перезавантаженням;

$dz_5$ :  $a_{1_5}^1$  – 1 раз,  $a_{2_5}^1$  – 2-3 рази,  $a_{3_5}^1$  – більше – частота та повторюваність перезавантаження;

$dz_7$ :  $a_{1_7}^1$  – 1 рік,  $a_{2_7}^1$  – 2-3 роки,  $a_{3_7}^1$  – більше – термін експлуатації жорсткого диску;

$dz_9$ :  $a_{1_9}^1$  – текстовий,  $a_{2_9}^1$  – графічний,  $a_{3_9}^1$  – відео – вид прикладного програмного додатку, з яким працював користувач на момент зависання;

$dz_1$ :  $a_{1_1}^2$  – норма,  $a_{2_1}^2$  – перегрівання – температурні режими компонентів КЗ;

$dz_2$ :  $a_{1_2}^2$  – один,  $a_{2_2}^2$  – два,  $a_{3_2}^2$  – більше – кількість пристроїв або додатків, які звертаються до послідовних портів;

$dz_6$ :  $a_{1_6}^2$  – 340-360 Кбайт/с,  $a_{2_6}^2$  – 370-400 Кбайт/с,  $a_{3_6}^2$  – 280-330 Кбайт/с – швидкість обміну інформацією між жорстким диском та ОЗП;

$dz_8$ :  $a_{1_8}^2$  – дуже добре,  $a_{2_8}^2$  – добре,  $a_{3_8}^2$  – погано,  $a_{4_8}^2$  – дуже погано – рівень дефрагментації жорсткого диску;

$dz_{10}$  –  $a_{1_{10}}^3$  – коректно,  $a_{2_{10}}^3$  – некоректно – коректність встановлення складових КЗ.

Використаємо тільки чіткі дані та діагностичні ознаки, які містять в собі також тільки чіткі дані:

$$V_{ch} = ((d_{ch_1}, d_{ch_2}) \cup (a_{1_4}^1, a_{2_4}^1, a_{2_3}^1, a_{1_7}^1, a_{1_9}^1, a_{2_9}^1, a_{3_9}^1, a_{1_2}^2, a_{2_2}^2, a_{1_{10}}^3, a_{2_{10}}^3))$$

При такому значенні множини  $V_{ch}$  з достовірністю 0.7 було вказано, що причиною перезавантаження є несправність жорсткого диску. У такому випадку, якщо після перевірки жорсткий диск все ж таки справний, то несправність залишається не виявленою і результат діагностування є незадовільним. Результат роботи НЕСД на основі  $V_{ch}$  виглядає наступним чином (рис. 3).

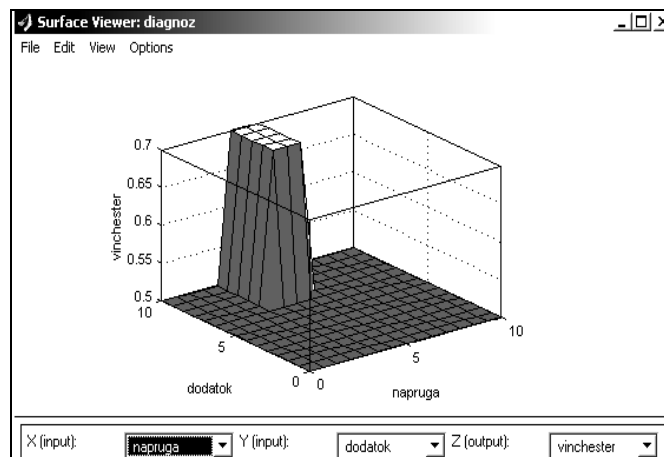


Рис. 3. Діаграма результатів роботи системи при врахуванні діагностичних ознак, які являють собою тільки чіткі дані

Врахувавши в об'ємі діагностичної інформації нечіткі знання, отримуємо:

$$V = (((d_{ch_1}, d_{ch_2}, d_{ch_3}, d_{ch_4}, d_{ch_5}, d_{ch_6}, d_{ch_7}) \cup (d_{ch_1}^-, d_{ch_2}^-)) \cup (dz_1(a_{1_1}^2, a_{2_1}^2); dz_2(a_{1_2}^2, a_{2_2}^2, a_{3_2}^2), dz_3(a_{1_3}^1, a_{2_3}^1, a_{3_3}^1); dz_4(a_{1_4}^1, a_{2_4}^1), dz_5(a_{1_5}^1, a_{2_5}^1, a_{3_5}^1), dz_6(a_{1_6}^2, a_{2_6}^2, a_{3_6}^2); dz_7(a_{1_7}^2, a_{2_7}^2, a_{3_7}^2), dz_8(a_{1_8}^2, a_{2_8}^2, a_{3_8}^2, a_{4_8}^2); dz_9(a_{1_9}^2, a_{2_9}^2), dz_{10}(a_{1_{10}}^3, a_{2_{10}}^3))).$$

В наведеній формулі відсутні функційні перетворення різних типів діагностичної інформації, оскільки

мається на увазі, що при виявленні причини несправності МНЛВ працює вже з перетвореною інформацією.

При врахуванні нечіткої інформації, отримуємо декілька можливих причин. В результаті спочатку перевіряємо несправність системної плати з достовірністю 0.9, якщо після перевірки несправність залишається не виявленою, то перевіряємо несправність жорсткого диску з достовірністю 0.6

Приклад результату роботи системи наведений на рис. 4.

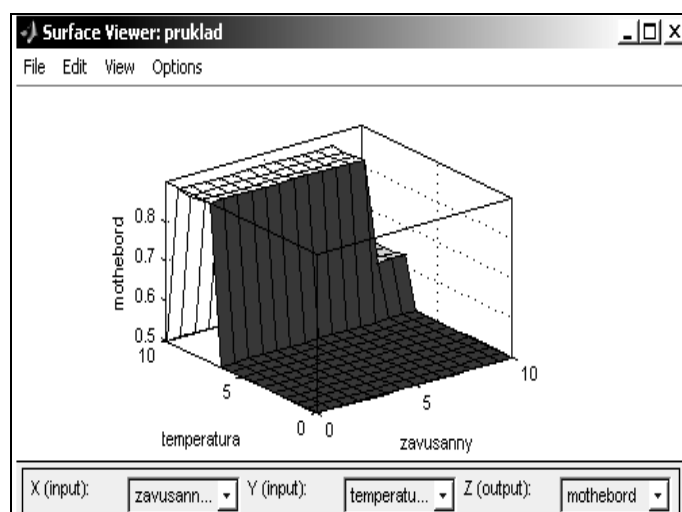


Рис. 4. Діаграма результатів роботи системи при врахуванні діагностичних ознак, які являють собою нечіткі знання

За формулами 6 – 11 оцінимо ефективність НЕСД при наявності чіткої та нечіткої інформації. При використанні тільки чіткої інформації, задіяних правил – 3, несправність – 1, експертів – 3. При використанні нечіткої інформації, задіяних правил – 12, несправностей – 3, експертів – 3.

Маємо наступні результати:

$$PD_{ch} = 1 \times 0,7 = 0,7;$$

$$SK_{ch} = 3 \times 1 = 3;$$

$$DS_{ch} = 0,7 / 1 = 0,7;$$

$$EF_{ch} = \frac{0,7 \times 3}{1} = 2,1;$$

$$PD_{ch \cup ch^-} = 1 \times 0,7 + 1 \times 0,9 + 1 \times 0,9 = 2,5;$$

$$SK_{ch \cup ch^-} = 3 \times 1 + 9 \times 1,2 = 13,8;$$

$$DS_{ch \cup ch^-} = 2,5 / 3 = 0,83;$$

$$EF_{ch \cup ch^-} = \frac{0,83 \times 13,8}{3} = 3,82;$$

$$F = \frac{3,82}{2,1} = 1,82.$$

Отже, для розглянутого прикладу, ефективність використання НЕСД у порівнянні з експертними системами діагностування, висновки яких базуються тільки на чіткій інформації зростає у 1,82 рази.

## Висновки

Для визначення ефективності функціонування НЕСД КЗ обрано показники достовірності та повноти діагностування.

Дослідження руху та перетворень діагностичної інформації різними модулями НЕСД КЗ, дало можливість аналітичного оцінювання ефективності функціонування цих модулів.

У процесі дослідження отримано аналітичну оцінку ефективності використання нечіткої діагностичної інформації.

Приклад оцінювання ефективності показав її приріст у 1,82 рази та підтвердив перевагу використання нечітких експертних систем для діагностування комп'ютерних засобів.

### Література

1. 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.

2. Локазюк В.М., Гнатчук Є.Г. Алгоритмізація нечіткого логічного висновку для процесу діагностування комп'ютерних засобів // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ, 2006. – № 6 (87). – С. 52-58.

3. Перевозніков С.І., Гнатчук Є.Г. Методика опрацювання експертної інформації при побудові нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – № 2. – С. 110-112.

4. Гнатчук Є.Г. Нечітка експертна система діагностування комп'ютерних засобів // Радіоелект-

ронні і комп'ютерні системи. – 2005. – № 4 (12). – С. 141-144.

5. Гнатчук Є.Г. Представлення інформації у базі знань нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів // Матеріали VI міжн. наук. конференції студентів та молодих учених "ПОЛІТ". – 2006. – С. 126.

6. Gnatchuk E.G. Knowledge base of fuzzy diagnosis expert system of computer devices // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 7 (19). – С. 121-125.

7. Поморова О.В. Теоретичні основи, методи та засоби інтелектуального діагностування комп'ютерних систем: Монографія. – Хмельницький: ТОВ «Тріада-М», 2007. – 253 с.

8. 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.

9. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення.

*Надійшла до редакції 6.02.2008*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.В. Лукін, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.