

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

КУЧЕРЕНКО ДАРІЯ ЮХИМІВНА

УДК 681.518.54

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕКСПЕРТНОГО
ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ З
ВИКОРИСТАННЯМ ПРОДУКЦІЙНИХ ПРАВИЛ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Шкіль Олександр Сергійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
доцент кафедри автоматизації проектування
обчислювальної техніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Фурман Ілля Олександрович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. П. Василенка, Міністерства
освіти і науки України,
завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій;

кандидат технічних наук, доцент
Ліберг Ігор Геннадійович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», Міністерства освіти і науки
України,
професор кафедри автоматики і управління в технічних
системах.

Захист відбудеться "___" _____ 2015 року о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий "___" _____ 20__ року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.А. Винокурова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні комп'ютерні системи (КС), як складні комплекси, доцільно розглядати як сукупність трьох компонентів: апаратних засобів, програмного забезпечення та персоналу. Використання складних КС, як на виробництві, так і в повсякденному житті, обумовлює актуальність забезпечення якості їх функціонування. Під якістю функціонування КС будемо розуміти ступень пристосованості системи до виконання поставленої задачі. Кількісне значення показника якості функціонування КС залежить від технічного стану її окремих компонентів у певний момент часу. Традиційні методи технічної діагностики КС успішно застосовують тільки тоді, коли можна побудувати формальну модель об'єкта діагностування (ОД), що передбачає наявність бінарного еталона функціонування об'єкта. Зважаючи на складність ОД (компонентів КС) і відсутність бінарних еталонів їх правильного функціонування, часто звертаються до другого (нетрадиційного) підходу – використання методів експертного діагностування. При цьому модель дефектів замінюється моделлю оцінювання діагностичних ознак (ДО), значення яких характеризують технічний стан ОД. Найчастіше специфіка об'єктів експертного оцінювання така, що діагностам складно дати кількісну оцінку значень ДО, а для роботи з якісною діагностичною інформацією, представленою експертами природною мовою, доцільно використовувати математичний апарат нечіткої логіки. Таким чином, комплексна оцінка якості КС формується експертною системою діагностування (ЕСД), база знань (БЗ) якої складається з продукційних правил (ПП), які, як правило, формуються експертом на основі його суб'єктивного представлення ОД.

При організації процесу діагностування виникає питання оцінки якості діагностичних процедур. Якість діагностування є комплексна характеристика, яка визначається низкою показників, а саме, повнотою, тривалістю, глибиною, достовірністю, надійністю та інше. Якщо говорити про експертне діагностування, то додається ще кілька показників: зручність роботи експерта, достовірність БЗ, можливість вибору відповідного алгоритму нечіткого логічного виводу та інше. При роботі зі стандартними інструментальними засобами ЕСД найбільш важливим параметром є достовірність БЗ, тобто об'єктивне відображення в системі ПП параметрів ОД. Одним з основних показників достовірності БЗ є її логічна коректність, тобто отримання єдиного результату діагностування при будь-яких значеннях ДО. Але на сьогоднішній день відсутній єдиний формалізований підхід до синтезу ПП та їх аналізу на логічну коректність.

Тому аналіз системи ПП на логічну коректність є важливою науково-технічною задачею в рамках підготовки та проведення експертного діагностування для оцінки якості функціонування КС.

Значний вклад в розвиток методів діагностування технічних пристроїв, програмних продуктів і компетенцій персоналу внесли П. П. Пархоменко, В. І. Хаханов, Г. Ф. Кривуля, Ю. О. Скобцов, Л. В. Дербунович, В. В. Липаев, А. О. Каргін, С. Д. Штовба, А. Коффман, L. M. Spenser, M. Breuer, M. Abramović, Д. Ф. Люггер, П. Джексон, Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевський, Д. О. Поспелов.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри Автоматизації проектування обчислювальної техніки (АПТОТ) Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ). Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з держбюджетної НДР ХНУРЕ № 259 – «Мультипроцесорна система пошуку, розпізнавання та прийняття рішень для інформаційної комп'ютерної екосистеми» (№ ДР 0111U002956), НДР № 268 «Персональний віртуальний кіберкомп'ютер та інфраструктура аналізу кіберпростору» (№ ДР 0111U002956) та НДР № 232 «Теорія й проектування енергозберігаючих цифрових обчислювальних систем на кристалах, що моделюють і підсилюють функціональні можливості людини» (№ ДР 0109U001646).

При виконанні зазначеної роботи автор брала участь як виконавець, розробивши методи, алгоритми та програмне забезпечення для синтезу ПП, представлених в кубічній формі, та їх аналізу на логічну коректність.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка моделей та методів підвищення якості експертного діагностування комп'ютерних систем за рахунок перевірки на логічну коректність моделі представлення знань експерта.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- аналіз існуючих експертних систем діагностування та методів перевірки їх баз знань на коректність;
- розробити моделі представлення діагностичних ознак різних компонентів КС у вигляді лінгвістичних змінних в системах експертного діагностування;
- вдосконалити модель представлення знань експерта в експертних системах діагностування у вигляді продукційних правил, представлених в кубічній формі, використовуючи кубітне кодування символів багатозначного алфавіту;
- розробити моделі та методи синтезу продукційних правил нечіткого виводу в кубічній формі з довільним числом діагностичних ознак і їх значень;
- розробити моделі та методи аналізу продукційних правил на логічну коректність в системах нечіткого логічного виводу;
- реалізувати розроблені моделі та методи аналізу продукційних правил на логічну коректність у вигляді окремої підсистеми в експертній системі діагностування;
- розробити процедури проведення діагностичних експериментів з експертного діагностування різних компонентів комп'ютерних систем.

Об'єкт дослідження – процеси експертного діагностування комп'ютерних систем, що спрямовані на оцінку якості їх функціонування.

Предмет дослідження – методи синтезу та аналізу бази продукційних правил в системах нечіткого виводу при експертному діагностуванні комп'ютерних систем.

Методи дослідження: булева алгебра та кубічне числення – для представлення продукційних правил та їх перевірки на логічну коректність, кубітні моделі даних – для кодування символів багатозначного алфавіту, правила і процедури нечіткої логіки – для експертного оцінювання якості функціонування

компонентів КС, технічна діагностика – для методів проведення діагностичних експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів. Основний результат дисертації полягає у розробці моделей та методів підвищення якості експертного діагностування КС за рахунок перевірки бази ПП на логічну коректність. При цьому були отримані такі наукові результати.

1. Вперше запропоновано моделі та методи аналізу продукційних правил на логічну коректність в системах нечіткого виводу шляхом їх перевірки на повноту, несуперечливість, зв'язність та мінімальність, що дозволило формалізувати процес формування та аналізу бази знань для підвищення якості експертного діагностування комп'ютерних систем.

2. Вдосконалена модель представлення знань експерта в експертних системах діагностування у вигляді продукційних правил, що подані в кубічній формі, яка відрізняється використанням кубітного кодування символів багатозначного кубічного алфавіту, що дало можливість використовувати логічні операції та значно прискорити обчислення при аналізі продукційних правил.

3. Отримали подальший розвиток моделі представлення діагностичних ознак різних компонентів комп'ютерних систем у вигляді лінгвістичних змінних шляхом створення формалізованого шаблону їх представлення та оцінювання, що дає можливість використовувати єдиний підхід до побудови бази знань експерта і розширити перелік діагностичних ознак в експертних системах діагностування.

4. Отримали подальший розвиток моделі та методи синтезу продукційних правил нечіткого логічного виводу в кубічній формі шляхом призначення ваги кожному терму вхідної лінгвістичної змінної, що дозволяє експерту формалізувати процес і зменшити час на створення продукційних правил з довільним числом діагностичних ознак і діапазонів їх значень.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці процедур аналізу ПП на логічну коректність, а також процедури підготовки та проведення діагностичного експерименту з аналізу якості функціонування КС.

Розроблено програмний модуль, який автоматизує процес перетворення компактного представлення ПП у розгорнуту форму, а також їх аналізу на логічну коректність для подальшого використання в якості бази знань в ЕСД. Програма може бути використана як автономно, так і спільно з пакетом Fuzzy Logic Toolbox.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємстві ПАТ «УРБП Шлях» при проведенні експертного діагностування корпоративної комп'ютерної мережі (довідка про впровадження від 11.09.2014) та у навчальний процес кафедри АПОТ ХНУРЕ (акт про впровадження від 10.09.2014).

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати дисертаційного дослідження, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У друкованих роботах, опублікованих у співавторстві, авторові належить: [1] – модель опису станів дефектів КС через діагностичні ознаки; [2] – аналіз можливих причин помилок користувача КС, оцінки рівня доступу користувача КС для вирішення поставлених завдань з використанням нечіткої логіки; [3] – евристичний метод

синтезу ПП для оцінки компетентності персоналу; [4] – формальна модель синтезу ПП; [5] – модель експертного оцінювання показників якості комп'ютерної програми з використанням нечіткого логічного виводу; [6] – кубічна модель представлення ПП з використанням багатозначного алфавіту, методи перевірки ПП на коректність, операції на цьому алфавіті; [7] – структура діагностичного експерименту з перевірки компетентності та спосіб вибору критеріїв оцінювання кваліфікаційних завдань; [8] – компактна модель представлення ПП у вигляді вектора; [9] – модель лінгвістичної змінної з незалежними термами, квантова модель кодування символів багатозначного алфавіту та операції над кубітами; [10] – модель ЕСД на базі нечіткої логіки; [11] – модель оцінки компетентності користувача КС; [12] – структура системи нечіткого виводу для оцінки правильності виконання кваліфікаційного завдання; [13] – модель ОД.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися і обговорювалися на конференціях: 10-а Міжнародна конференція з розробки та застосування САД-систем в мікроелектроніці CADSM'2009 (Поляна-Свалява, 24-28 лютого 2009); 4-а Міжнародна науково-технічна конференція «Гарантоздатні (надійні та безпечні) системи, сервіси та технології» DESSERT'2009 (Кіровоград, 22-25 квітня 2009); 5-а Міжнародна науково-технічна конференція «Гарантоздатні (надійні та безпечні) системи, сервіси та технології» DESSERT'2010 (Кіровоград, 11-15 травня 2010 року); 12-а Науково-практична конференція «Інформаційні технології в освіті та управлінні» (Нова Каховка, 27-29 травня 2010); 2-а Науково-практична конференція «Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі» (Львів, 23-25 листопада 2010); 24-а Науково-практична конференція «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» (Алушта, 23-29 вересня 2011 року); 13-а Науково-практична конференція «Інформаційні технології в освіті та управлінні» (Нова Каховка, 30 травня-3 червня 2011); 9th IEEE East-West Design & Test Symposium «EWDTS'2011» (Севастополь, 9-12 вересня 2011); 2-й Міжнародна науково-технічна конференція «Надійність та безпечність критичних інфраструктур» CrISS-DESSERT'2013 (Кіровоград, 23-26 травня 2013); 12th IEEE East-West Design & Test Symposium «EWDTS'2014» (Київ, 26-29 вересня 2014).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладені у 13 друкованих працях. Серед яких 8 статей, опублікованих у наукових виданнях, які включені до переліку наукових фахових видань України (з них 4 входять до міжнародних науково-метричних баз), 1 стаття у закордонному міжнародному виданні, що входить до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS, а також 4 матеріали у збірках праць міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій (з них 3 входить до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS).

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи – 193 сторінки, у тому числі: основний текст – 146 с., 39 рисунків (на 9 с.), 48 таблиць (на 12 с.), список використаних джерел з 107 найменувань (на 13 с.), 3 додатки (на 34 с.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність задач, що розв'язуються у дисертаційній роботі, сформульовано мету дослідження, визначається наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, наведено відомості про апробацію та впровадження результатів.

У **першому розділі** проаналізовано основні сучасні тенденції у експертному діагностуванні КС. Розглянуто основні технології, що використовуються при експертному аналізі: експертні системи та системи нечіткого виводу. Проаналізовано моделі представлення знань експертів. Показана роль і місце аналізу ПП у загальному циклі експертного діагностування складних КС.

У **другому розділі** запропоновано структуру експертної системи діагностування КС, що передбачає необхідність розробки моделі об'єкту діагностування, в якості якого виступають ті чи інші компоненти КС (апаратні засоби, програмне забезпечення чи персонал). Алгоритм роботи ЕСД базується на механізмі нечіткого виводу, ядром якого є база знань. В якості моделі представлення знань експерта в області технічної діагностики використана продукційні модель. Для забезпечення логічної коректності бази продукційних правил до складу ЕСД входить модуль їх синтезу та аналізу.

Підготовка діагностичного експерименту (ДЕ) починається в першу чергу з розробки моделі ОД, що описує його технічний стан. Далі наведені етапи підготовки (створення моделі ОД) та проведення ДЕ з оцінки якості функціонування КС з використанням запропонованої ЕСД.

1. Вибір ДО, їх кількості та ваг. Визначає замовник спільно з діагностом.

2. Вибір кількості рівнів оцінювання (діапазонів оцінювання) вхідних ДО і результату діагностування. Це фактично складання моделі технічного стану КС і способів її оцінювання. Визначається діагностом за узгодженням із замовником.

3. Вибір числових меж оцінювання кожного ДО і результату діагностування. Визначається діагностом за узгодженням з експертом і замовником.

4. Вибір процедур нормування оцінок у відповідності з прийнятим шаблоном оцінювання (універсальним для всіх лінгвістичних змінних). Виконується діагностом за узгодженням з експертом.

5. Визначення функцій приналежності на заданому діапазоні (при використанні нечіткого логічного висновку). Виконується експертом.

6. Складання бази продукційних правил та їх перевірка на логічну коректність. Виконується експертом спільно з діагностом.

7. Оцінювання ДО і нормування результатів відповідно до прийнятої процедури. Виконується діагностом за узгодженням з експертом.

8. Ухвалення рішення про результати діагностування з використанням інструментальних засобів експертного оцінювання і бази знань у формі ПП. Виконується діагностом за узгодженням із замовником.

Таким чином, експерт надає діагносту шаблон оцінювання, в рамках якого він повинен виконати оцінку, тобто призвести кількісні або якісні виміри відповідних ДО, що описують стан ОД. Оцінка кількісної ознаки зводиться до вказівкою відповідного чисельного значення або інтервалу, в якому, на думку

діагноста, лежить значення оцінюваної ознаки. Часто специфіка об'єктів експертного оцінювання така, що діагностам складно дати кількісну оцінку значень ДО. В таких ситуаціях мова йде про якісні ДО, для отримання експертної оцінки яких треба скористатися вербально-числовою шкалою.

Для збереження одноманітності оцінювання якості функціонування всіх компонентів КС і мінімального навантаження на експерта з точки зору шкалювання результатів оцінювання, застосована мінімальна трирівнева квантільна стандартизація оцінок ДО: «Високий» (В), «Середній» (С), «Низький» (Н). Для оцінки результатів діагностування (РД) рекомендується п'ятирівнева градація: «Дуже низький» (ДН), «Низький» (Н), «Середній» (С), «Достатній» (Д), «Високий» (В). Така градація досить близька до традиційної п'ятибальної шкали оцінювання і спрощує ухвалення рішення експертом про технічний стан КС. Для нормування результатів діапазон шкали оцінювання ДО і РД приймається за 100%.

Таким чином, будь який ОД може бути описаний набором ДО, представлених у вигляді лінгвістичних змінних (ЛЗ), а РД формується згідно з алгоритмом нечіткого виводу Мамдані. Проаналізувавши послідовність цього алгоритму, стає зрозуміло, що ні форма функції приналежності, ні кількість та вага ЛЗ, ні границі значень їх термів не впливають на спосіб представлення ПП у формі диз'юнкції кон'юнкцій значень ДО:

$$РД(Y) = ДО_1(X)ДО_2(X)...ДО_n(X) \vee ... \vee ДО_1(X)ДО_2(X)...ДО_n(X),$$

де РД – результат діагностування, $ДО_1...ДО_n$ – діагностичні ознаки, $X = H \vee C \vee B$ – терми вхідних ДО, $Y = OH \vee H \vee C \vee D \vee B$ – терми вихідної змінної РД.

Експертне діагностування КС (етапи 1-8) передбачає, окрім формування коректної бази ПП, підготовку ДЕ з оцінки якості функціонування різних ОД.

При експертному діагностуванні апаратного забезпечення КС на прикладі оцінки продуктивності маршруту деякої корпоративної комп'ютерної мережі адміністратор, проаналізувавши всі «вузькі» місця в мережі, виділив наступні ДО:

1. «Час реакції вузла» (ДО_1), що визначається як інтервал між виникненням запиту користувача до якої-небудь мережевої служби та отриманням відповіді на нього. Оцінка цього параметра буде здійснюватися за допомогою утиліти ring при довжині пакету 32 байта за період, що дорівнює довжині робочого дня (8 годин). Отримав середнє значення, нормуємо його по 100-бальній шкалі. Таким чином, шкала оцінювання ДО: від 40 до 100 мсек. – низький рівень (0- 60 б.); від 15 до 50 мсек. – середній рівень (50- 85 б.); від 0 до 20 мсек. – високий рівень (80-100 б.).

2. «Коефіцієнт втрати пакетів» (ДО_2), що визначається процентом втрачених запитів-відповідей від даного вузла. Оцінка цього параметра буде здійснюватися за допомогою утиліти ring при довжині пакету 32 байта за 8 годин. Отримав середнє значення, нормуємо його по 100-бальній шкалі. Шкала оцінювання ДО: від 0 % до 2 % – низький рівень (0- 20 б.); від 1 % до 6 % – середній рівень (10- 60 б.); від 5 % до 10 % – високий рівень (50-100 б.).

3. «Реальна пропускна здатність» (ДО_3) визначається шляхом копіювання файлу великого розміру (100 Мбайт) з сервера. Отримав середнє значення за 8

годин, нормуємо його по 100-бальній шкалі. Таким чином, шкала оцінювання ДО: від 0,01 до 45 Мбіт/с – низький рівень (0-15 б.); від 30 до 210 Мбіт/с – середній рівень (10- 70 б.); від 150 до 300 Мбіт/с – високий рівень (50-100 б.).

У вигляді ЛЗ вхідні ДО та РД мають наступний вигляд (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри функцій приналежності ЛЗ

ДО_1 «час реакції вузла»					
Терми	Діапазони		Параметри		
Н	0	60	a=20, b=60		
С	50	85	M=67.5, σ=8.5		
В	80	100	a=80, b=98		
ДО_2 «коефіцієнт втрати пакетів»					
Терми	Діапазони		Параметри		
Н	0	20	a=10, b=35		
С	10	60	M=36, σ=15		
В	50	100	a=45, b=80		
ДО_3 «реальна пропускна здатність»					
Терми	Діапазони		Параметри		
Н	0	15	a=10, b=20		
С	10	70	M=42, σ=18		
В	50	100	a=43, b=80		
РД «продуктивність маршруту»					
Терми	Діапазони		Параметри		
			М	σ	
ДН	0	25	12,5	6,5	
Н	15	45	30	7,75	
С	35	65	50	7,75	
Д	55	85	70	7,75	
В	75	100	87,5	6,5	

При експертному діагностуванні програмного забезпечення на прикладі оцінки якості web-сервісу зберігання та обміну інформацією діагност скористався наступними характеристиками якості ПЗ (ISO 9126:2004).

1. «Результативність» (ДО_1) визначається повнотою та точністю реалізації основних функцій. Оцінка цього параметра буде здійснюватися за допомогою методу зваженого підсумовування, в якому нормовані величини параметрів множаться на відповідні ваги. Основні функції: F1– завантаження / вивантаження документів; F2 – управління доступом до файлів; F3 – реєстрація / авторизація; F4 – пошук по файлах користувачів. Відсортуємо ці функції за важливістю: F4=1, F3=2, F2=3, F1=4 (найважливіша функція). Оцінив повноту та точність кожної функції, підставимо ці значення в наступний вираз та отримаємо оцінку результативності ПЗ: $4 \cdot F_1 + 3 \cdot F_2 + 2 \cdot F_3 + F_4$. Шкала оцінювання ДО_1: низький рівень (0-70 б.); середній рівень (55-85 б.); високий рівень (70-100 б.).

2. «Продуктивність» (ДО_2) визначається часом реакції сервісу на запити при вирішенні головної функціональної задачі (в секундах): t_{up} – час вивантаження файлу (1 МБ) зі швидкістю Інтернет з'єднання 1,2 МБит/сек.; t_{down} – час завантаження файлу (1 МБ) зі швидкістю Інтернет з'єднання 3,7 МБит/сек. Вимірюємо час t_{up} та t_{down} , нормуємо ці значення за 100-бальною шкалою. Підставивши нормовані значення в $(t'_{down} + t'_{up})/2$, отримаємо оцінку продуктивності. Шкала оцінювання ДО_2: низький рівень (0-40 б.); середній рівень (30-70 б.); високий рівень (60-100 б.).

3. «Безпека» (ДО_3) має зворотну залежність від рівня ризику, що визначається як потенційний збиток, який може бути нанесений користувачеві в результаті використання даного сервісу. Шкала оцінювання ДО_3: низький рівень (50-100 б.); середній рівень (20-80 б.); високий рівень (0-30 б.).

4. «Відповідність очікуванням» (ДО_4) – комфортність використання web-сервісу, що визначається сумою балів, за якими оцінювались низка параметрів (дозавантаження після можливого обриву, завантаження у декілька потоків, завантаження групи файлів та інше). Шкала оцінювання ДО_4: низький рівень (0-40 б.); середній рівень (30-70 б.); високий рівень (60-100 б.).

У вигляді ЛЗ вхідні ДО та РД мають наступний вигляд (табл. 2).

Таблиця 2 – Параметри функцій приналежності ЛЗ

Назва ЛЗ	Параметри термів			Функція приналежності
«Результативність»	Терми	Діапазони		
	Н	0	70	
	С	55	85	
	В	70	100	
«Продуктивність» «Відповідність очікуванням»	Терми	Діапазони		
	Н	0	40	
	С	30	70	
	В	60	100	
«Безпека»	Терми	Діапазони		
	Н	0	30	
	С	20	80	
	В	50	100	
«Якість ПЗ»	Терми	Діапазони		
	ДН	0	25	
	Н	15	45	
	С	35	65	
	Д	55	85	
	В	75	100	

При експертному діагностуванні компетентності персоналу КС на прикладі оцінки правильності виконання кваліфікаційного завдання експертом запропоновано наступне завдання відкритої форми: «Вибрати та настроїти точку

доступу для Wi-Fi-мережі, орієнтованої на максимальну зону обслуговування. Характеристики мережі: площа приміщення – 30 кв.м., число робочих місць – 10, швидкість для кожного клієнта приблизно 2 Мбіт/с». Експерт та автор завдання запропонували наступні критерії оцінювання: обґрунтування вибору точки доступу з точки зору співвідношення «ціна/функціональність» (ОК_1); можливість масштабування мережі; коректність настройки внутрішніх параметрів мережі (ОК_2); коректність настройки безпеки мережі (ОК_3); працездатність мережі з заданими параметрами (ОК_4). У вигляді ЛЗ вхідні ДО та РД мають наступний вигляд (табл. 3).

Таблиця 3 – Параметри функцій приналежності ЛЗ

Назва ЛЗ	Параметри термів	Функція приналежності																	
«Оцінка критерію» (ОК)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Терми</th> <th colspan="2">Діапазони</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Н</td> <td>0</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>С</td> <td>30</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>В</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	Терми	Діапазони		Н	0	40	С	30	70	В	60	100						
	Терми	Діапазони																	
	Н	0	40																
	С	30	70																
В	60	100																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Терми</th> <th colspan="2">Діапазони</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ДН</td> <td>0</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Н</td> <td>27</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>С</td> <td>44</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>Д</td> <td>53</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td>В</td> <td>65</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	Терми	Діапазони		ДН	0	35	Н	27	47	С	44	56	Д	53	73	В	65	100	
Терми	Діапазони																		
ДН	0	35																	
Н	27	47																	
С	44	56																	
Д	53	73																	
В	65	100																	

Таким чином, незважаючи на різну природу ОД, всі діагностичні ознаки об'єднує єдиний простір оцінювання – однакова кількість термів для вхідних (три) і вихідних (п'ять) ЛЗ та 100-відсоткова шкала їх виміру. Це дозволило застосувати єдиний підхід до формування бази знань в ЕСД.

У **третьому розділі** запропоновано моделі та методи формування й аналізу бази ПП для ЕСД. У класичній формі ПП мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 & \text{ЯКЩО} \quad \{DO_1 = H\} \text{ I } \{DO_2 = H\} \text{ I } \{DO_4 = C\} \text{ АБО} \\
 & \quad \quad \quad \{DO_1 = C\} \text{ I } \{DO_3 = H\} \text{ I } \{DO_4 = H\} \text{ АБО} \\
 & \text{ТО} \quad \quad \quad \{DO_1 = H\} \text{ I } \{DO_2 = H\} \text{ I } \{DO_3 = C\}, \\
 & \quad \quad \quad RD = ДН.
 \end{aligned} \tag{1}$$

У зв'язку з використанням конструкцій природної мови розгорнута форма представлення ПП (5) хоч і легко читається, однак подальший формальний аналіз ПП ускладнений, а із зростанням їх числа – практично неможливий.

Для формалізації процесу синтезу та аналізу бази ПП було використано представлення кон'юнкцій термів ЛЗ у векторній формі, аналогічно кубічному представленню логічних функцій в багатозначному алфавіті. Так, ПП в (1) у кубічній формі будуть мати наступний вигляд:

$$RD^{ДН} = \{HNHC, CXHN, HNCX\}. \tag{2}$$

Для формалізації та подальшої автоматизації роботи з даною кубічною формою подання ПП був використаний багатозначний алфавіт кубічного обчислення АЗ, що складається з трьох примітивів Н, С, В. Дані символи

приймають чіткі значення, при цьому залишаючись еквівалентами термів нечітких лінгвістичних змінних. Для цього запропонована процедура перетворення графіка функції приналежності, при якій нечіткі значення термів ЛЗ замінюються їх чіткими еквівалентами. Наприклад, для ЛЗ «ДО» функція приналежності (рис. 1(а)) буде мати вигляд П-подібної функції приналежності, терми якої не перетинаються (рис. 1 (б)).

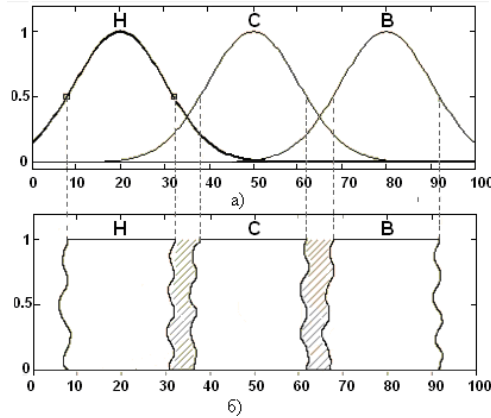


Рисунок 1 – Графік функції приналежності у вигляді гаусової кривої (а) та П-подібної функції приналежності з розмитими межами (б)

Введемо багатозначний алфавіт кубічного обчислення A_3 :

$$A_3 = \{H, C, B, X = \{H, C, B\}, K = \{H, C\}, L = \{C, B\}, M = \{H, B\}, \emptyset(U)\},$$

де $X = H \cup C \cup B$ – універсум, а U з одного боку – це символ алфавіту, який служить для замикання алфавіту щодо теоретико-множинних операцій, а з іншого – результат операції перетину і позначає порожню множину \emptyset .

Для ефективної програмної реалізації пропонується закодувати кожен символ розглянутого алфавіту таким чином, щоб максимально спростити і прискорити процес обчислень при роботі з ними.

Символи запропонованого алфавіту кодуються наступним чином:

$$H = 001, C = 010, B = 100,$$

$$K = \{H \vee C\} = 001 \vee 010 = 011, \quad L = \{C \vee B\} = 010 \vee 100 = 110,$$

$$M = \{H \vee B\} = 001 \vee 100 = 101,$$

$$X = \{H \vee C \vee B\} = 001 \vee 010 \vee 100 = 111, \quad \emptyset(U) = 000\}.$$

Теоретико-множинні операції (перетин, об'єднання та алгебраїчна сума) над символами алфавіту зводяться до відповідних порозрядних логічних операцій над їх кубітами (табл. 4). А логічним еквівалентом операції доповнення буде інверсія, наприклад, $\bar{L} = \bar{110} = 001 = H, \bar{C} = \bar{010} = 101 = M, \bar{X} = \bar{111} = 000 = U$.

Таблиця 4 – Операції над кубітами

Кубітне представлення										Логічні еквіваленти			
K	L	M	B	\cap	H	K	B	M	=	H	C	B	\bar{B}
0	1	1	1		0	0	1	1	=	0	0	1	1
1	1	0	0	\wedge	0	1	0	0	=	0	1	0	0
1	0	1	0		1	1	0	1		1	0	0	0

$$L = L \cap X = 110 \wedge 111 = 110,$$

$$U = H \cap C = 001 \wedge 010 = 000,$$

$$B = M \cap L = 101 \wedge 110 = 100.$$

Продовження таблиці 4

K	L	M	B	\cup	H	K	B	M	$=$	K	X	M	M	$K = H \cup C = 001 \vee 010 = 011,$ $X = K \cup M = 011 \vee 101 = 111,$ $X = H \cup C \cup B = 001 \vee 010 \vee 100 = 111.$
0	1	1	1		0	0	1	1		0	1	1	1	
1	1	0	0	\vee	0	1	0	0	$=$	1	1	0	0	
1	0	1	0		1	1	0	1		1	1	1	1	
K	L	M	B	$+$	H	K	B	M	$=$	C	M	H	H	$K + X = 011 \oplus 111 = 100 = B,$ $C + C = 010 \oplus 010 = 000 = U(\emptyset),$ $L + M = 110 \oplus 101 = 011 = K.$
0	1	1	1		0	0	1	1		0	1	0	0	
1	1	0	0	\oplus	0	1	0	0	$=$	1	0	0	0	
1	0	1	0		1	1	0	1		0	1	1	1	

Кубічне представлення ПП дало можливість використати евристичний алгоритм їх синтезу, який базується на принципі призначення ваги кожному терму вхідної лінгвістичної змінної. Границі вагових діапазонів визначаються кількістю термів вхідних ЛЗ, а кількість варіантів оцінювання кон'юнкцій – кількістю ознак, що оцінюються. Тоді формальна умова для синтезу ПП в класичному розгорнутому форматі буде наступною: кон'юнкція термів вхідних ЛЗ (вхідний куб) визначає відповідний терм вихідної ЛЗ, якщо вона належить ваговому діапазону, що визначена для даного терму.

Розглянуто базу ПП для опису технічного стану ОД, яку у компактному мінімізованому вигляді можна представити наступним чином (табл. 5).

Таблиця 5 – Компактне представлення ПП

Ваговий діапазон	Вхідний вектор	Вихідний терм	Кількість кон'юнкцій
(5 – 6)	$HHHKK$	OH	6
(7 – 8)	$HNKCC$	H	20
	$HNHKB$		25
(9 – 11)	$HNXBV$	C	30
	$HXCXB$		60
	$CCCCX$		5
(12 – 13)	$HLBBB$	D	25
	$CCLBB$		20
(14 – 15)	$BBBBL$	B	6

В останньому стовпчику табл. 5 вказана кількість кон'юнкцій (ПП), що залежить від числа символів H, C, B та X , що повторювалися в кожному векторі

(R_B, R_C, R_H, R_X) : $k_j = \frac{(R_B + R_C + R_H + R_X)!}{R_B! \cdot R_C! \cdot R_H! \cdot R_X!}$. А для векторів, що містять символи

K, L, M , число кон'юнкцій залежатиме від того, який з цих символів присутній у векторі. Наприклад для векторів, що містять символ $K = \{H, C\}$:

$$k_j = \frac{(R_B + R_C + (R_H + 1))!}{R_B! \cdot R_C! \cdot (R_H + 1)!} + \frac{(R_B + (R_C + 1) + R_H)!}{R_B! \cdot (R_C + 1)! \cdot R_H!}.$$

Однак, не зважаючи на той факт, що запропонований алгоритм синтезу ПП дозволяє формалізувати цей процес, отримана таким чином база ПП підлягає

подальшому аналізу на логічну коректність. Тобто база ПП має бути повною, несуперечливою, зв'язною та мінімальною.

1. База знань є повною якщо для кожного вхідного вектора $\forall T = (T_1, T_2, \dots, T_n)$ механізм нечіткого виводу може отримати деяке значення вихідної змінної $y \in E_y$, тобто існує як мінімум одне правило, котре ставить у відповідність вхідному вектору T_i лінгвістичне значення вихідної змінної y .

2. База знань є несуперечливою (узгодженою), якщо вона не містить несумісні правила – правила з однаковими лінгвістичними умовами, але різними висновками, наприклад, такими, як правила П1 та П2:

$$П1: \text{ЯКЩО } \{x_1 = H\} I \{x_2 = H\}, \text{ ТО } y = ДН$$

$$П2: \text{ЯКЩО } \{x_1 = H\} I \{x_2 = H\}, \text{ ТО } y = Н.$$

Ці правила є суперечливими, оскільки одна й та сама умова (HH) активізує різні вихідні терми ($ДН$ та $Н$).

3. База знань є зв'язною, якщо для будь-якої пари суміжних правил значення вихідної ЛЗ теж є суміжними, тобто умови цих правил відрізняються тільки одним з n підумов і в цих підумовах використовується одна і та ж ЛЗ з різними значеннями.

Наприклад, нижче приведенні правила:

$$П1: \text{ЯКЩО } \{x_1 = H\} I \{x_2 = H\} I \{x_3 = H\} I \{x_4 = H\} I \{x_5 = C\}, \text{ ТО } y = ДН$$

$$П2: \text{ЯКЩО } \{x_1 = H\} I \{x_2 = H\} I \{x_3 = H\} I \{x_4 = H\} I \{x_5 = B\}, \text{ ТО } y = Н$$

є суміжними, тому що терми $Н$ і $С$ змінної x_5 – суміжні.

4. Мінімальна БЗ – це база, з якої не можна видалити жодне ПП, не порушивши тим самим її повноти.

На прикладі бази ПП, що наведена у таблиці 5, розглянуто алгоритм аналізу ПП на логічну коректність. Для цього система ПП повинна бути представлена наступним чином: $k^{<ДН,Н,С,Д,В>} = \{k_1^{ДН}, k_1^H, k_2^H, k_1^C, k_2^C, k_3^C, k_1^Д, k_2^Д, k_1^B\}$, де $k_1^{OH} = ННННК$, $k_1^H = ННКСС$, $k_2^H = НННКВ$, $k_1^C = ННХВВ$, $k_2^C = НХССВ$, $k_3^C = ССССХ$, $k_1^Д = НЛВВВ$, $k_2^Д = ССЛВВ$, $k_1^B = ВВВВЛ$ – компактні мінімізовані форми кубів.

Аналіз даної бази ПП на повноту полягає у перевірці того, що набір кубів $k^{<ДН,Н,С,Д,В>}$ покриває всі m^n вхідних векторів T_i , де $i = \overline{1, m^n} = \overline{1, 243}$, $m = 3$ – число термів вхідних змінних, $n = 5$ – число вхідних змінних. Тобто не існує такого вектора, який би не належав якому-небудь кубу:

$$T_i \in k^{<ДН,Н,С,Д,В>} \Leftrightarrow T_i \cap k^{<ДН,Н,С,Д,В>} = T_i, \text{ де}$$

$$\begin{aligned} T_i \in k_1^{ДН} &\Leftrightarrow T_i \cap k_1^{ДН} = T_i, & T_i \in k_1^H &\Leftrightarrow T_i \cap k_1^H = T_i, & T_i \in k_2^H &\Leftrightarrow T_i \cap k_2^H = T_i, \\ T_i \in k_1^C &\Leftrightarrow T_i \cap k_1^C = T_i, & T_i \in k_2^C &\Leftrightarrow T_i \cap k_2^C = T_i, & T_i \in k_3^C &\Leftrightarrow T_i \cap k_3^C = T_i, \\ T_i \in k_1^Д &\Leftrightarrow T_i \cap k_1^Д = T_i, & T_i \in k_2^Д &\Leftrightarrow T_i \cap k_2^Д = T_i, & T_i \in k_1^B &\Leftrightarrow T_i \cap k_1^B = T_i. \end{aligned}$$

Аналіз даної бази ПП на несуперечливість полягає у перевірці того, що попарний перетин усіх кубів всередині набору $k^{<DH,H,C,D,B>}$ дає пусту множину:

$$\begin{aligned} k_j^{DH} \cap \{k_j^H, k_j^C, k_j^D, k_j^B\} &= \emptyset, & k_j^H \cap \{k_j^C, k_j^D, k_j^B\} &= \emptyset, \\ k_j^C \cap \{k_j^D, k_j^B\} &= \emptyset, & k_j^D \cap \{k_j^B\} &= \emptyset. \end{aligned}$$

Результат перевірки наведено далі:

$$\begin{aligned} k_1^{DH} \cap \{k_1^H, k_2^H, k_1^C, k_2^C, k_3^C, k_1^D, k_2^D, k_1^B\} &= \emptyset, & k_2^H \cap \{k_1^C, k_2^C, k_3^C, k_1^D, k_2^D, k_1^B\} &= \emptyset, \\ k_1^C \cap \{k_1^D, k_2^D, k_1^B\} &= \emptyset, & k_2^C \cap \{k_1^D, k_2^D, k_1^B\} &= \emptyset, & k_3^C \cap \{k_1^D, k_2^D, k_1^B\} &= \emptyset, \\ k_1^D \cap \{k_1^B\} &= \emptyset, & k_2^D \cap \{k_1^B\} &= \emptyset. \end{aligned}$$

Аналіз даної бази ПП на зв'язність полягає у пошуку суміжних правил: $HHHHC \in k_1^{DH}$ і $HHHHB \in k_2^H$; $HHCCC \in k_1^H$ і $HHCCB \in k_2^C$; $HHHCB \in k_2^H$ і $HHHBV \in k_1^C$; $CCCCB \in k_3^C$ і $CCCBV \in k_2^D$; $HBBBB \in k_1^D$ і $CVBBV \in k_1^B$; $CCBBV \in k_2^D$ і $CVBBV \in k_1^B$.

Аналіз даної бази ПП на мінімальність полягає у перевірці трьох умов:

1. З точки зору створення тупикових форм: куб $k_1^C = HHXBV$ був сформований в результаті склеювання трьох векторів: $HHHBV$, $HHCBV$, $HHBBV$; куб $k_2^C = HXCXB$ – $HHCCB$, $HCCXB$, $HVCXB$; куб $k_3^C = CCCCX$ – $CCCCH$, $CCCCC$, $CCCCB$.

2. З точки зору ліквідації надлишковості всередині одного й того ж вихідного терму не існує куба, що міг би поглинатися іншим:

$$\begin{aligned} k_1^H \cap k_2^H &= HHKCC \cap HHHKB = \emptyset, & k_1^C \cap k_2^C &= HHXBV \cap HXCXB = \emptyset, \\ k_1^C \cap k_3^C &= HHXBV \cap CCCCX = \emptyset, & k_2^C \cap k_3^C &= HXCXB \cap CCCCX = \emptyset, \\ k_1^D \cap k_2^D &= HLBBV \cap CCLBV = \emptyset. \end{aligned}$$

3. З точки зору покриття всі прості кон'юнкції повинні покриватися мінімальним числом тупикових кубів: аналіз таблиці 5 це підтверджує.

У **четвертому розділі** описується реалізація розроблених моделей та методів синтезу та аналізу ПП на коректність в окремому програмному модулі «Production rules analyzer» («PRA»), який може використовуватися як автономно, так і спільно з пакетом Fuzzy Logic Toolbox (FLT) системи Matlab. Програма «PRA» використовується на етапі підготовки ДЕ при створенні бази знань. Це дозволяє ще до початку експертного оцінювання підготувати вхідні дані для пакету FLT шляхом автоматичного перетворення ПП, що представлені в кубічній формі, в розгорнуту форму (рис. 2). Розроблена програма в повному обсязі реалізує алгоритм перевірки ПП, представлених в кубічній формі, на логічну коректність (перевірка на повноту, несуперечливість, зв'язність та мінімальність).

Для реалізації графічного інтерфейсу була обрана кросплатформна бібліотека QT (версія 4.8) на мові програмування C++. Вона дозволяє абстрагуватися від викликів низькорівневих функцій системи, надаючи натомість зручний інтерфейс класів для управління програмою.

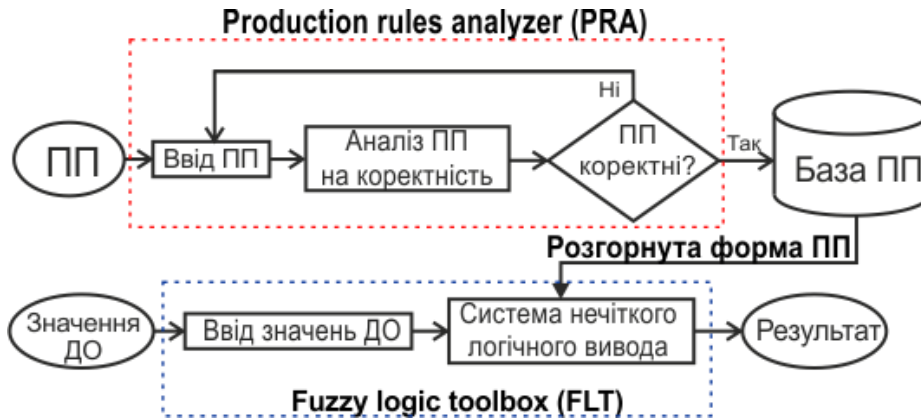


Рисунок 2 – Програма «PRA» в загальному циклі експертного діагностування

Наведено відомості про результати експертного діагностування якості функціонування різних компонентів КС з використанням пакету FLT, підготовка ДЕ для котрих була розглянута у розділі 2. Для автоматизації синтезу та аналізу ПП на коректність була використана розроблена програма «PRA».

На етапі підготовки бази знань експерт в галузі діагностики комп'ютерних мереж запропонував 27 ПП, що описували взаємодію між вхідними ДО та РД («продуктивністю маршруту»):

$\{HНК\} \rightarrow ДН$; $\{HNB, HCC\} \rightarrow H$; $\{HCB, CCC\} \rightarrow C$; $\{HBB, CCB\} \rightarrow D$; $\{BBL\} \rightarrow B$.

Експерт в галузі діагностики програмного забезпечення запропонував 76 ПП, що описували взаємодію між вхідними ДО та РД («якістю ПЗ»):

$\{HNNH\} \rightarrow ДН$; $\{HNNL, HHCC\} \rightarrow H$; $\{CCCX, HHBL, HCVL\} \rightarrow C$;
 $\{BBVK, BBCC\} \rightarrow D$; $\{BBBB\} \rightarrow B$.

Експерт в галузі діагностики компетентності персоналу запропонував 197 ПП, що описували взаємодію між вхідними ДО та РД («оцінкою завдання»):

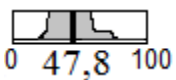
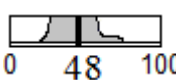
$\{HHHНК\} \rightarrow ДН$; $\{HНКСС, HHHKB\} \rightarrow H$; $\{HHXBV, HXCCB, CCCCX\} \rightarrow C$;
 $\{HLBBV, CCLBV\} \rightarrow D$; $\{BBBBL\} \rightarrow B$.

Результати проведення ДЕ з оцінки якості функціонування компонентів КС наведені у таблиці 6. Результати дефазифікації отримані для двох методів акумуляції: методу максимуму (max) та методу обмеженої суми (sum).

Таблиця 6 – Результати ДЕ, отриманих в Fuzzy logic Toolbox

ДО	Оцінки ДО	Результат нечіткого виводу	
		max	sum
Оцінка продуктивності ділянки мережі	ДО_1 = 69 балів, ДО_2 = 70 балів, ДО_3 = 10 балів.	$\mu_C(52,7) \approx 0,941$ 	$\mu_C(52,5) \approx 0,949$
Оцінка якості ПЗ	ДО_1 = 75 балів, ДО_2 = 87 балів, ДО_3 = 21 бал, ДО_4 = 45 балів.	$\mu_C(57,8) \approx 0,60$ 	$\mu_C(58,2) \approx 0,57$

Продовження таблиці 6

Оцінка правильності виконання КЗ	ОК_1=35 балів, ОК_2=60 балів, ОК_3=35 балів, ОК_4=40 балів, ОК_5= 65 балів.	$\mu_C(47,8) \approx 0,60$ 	$\mu_C(58,2) \approx 0,65$ 
--	---	---	---

Під час ДЕ з оцінки якості функціонування компонентів КС на етапі синтезу ПП було встановлено зв'язок між кількістю ПП (кон'юнкцій ЛЗ) і формою їх подання: розгорнутою і компактною (рис. 3 (а)).

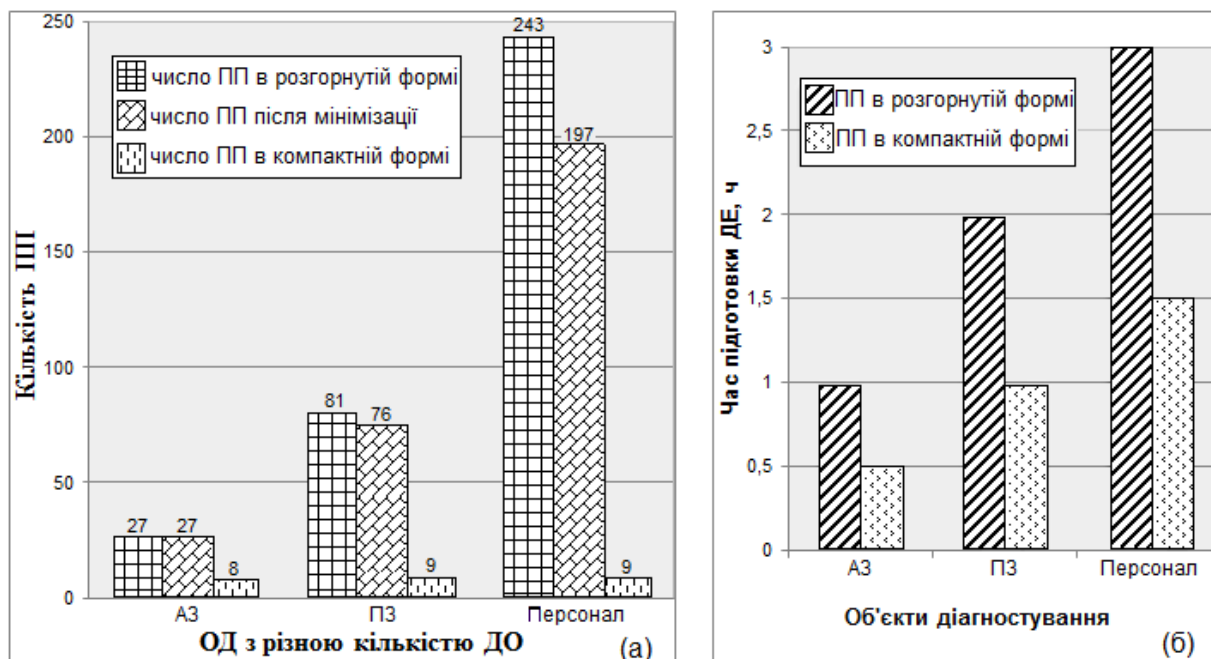


Рисунок 3 – Оцінка ефективності підходу: (а) – вплив форми подання ПП на їх кількість, (б) – залежність часу підготовки ДЕ від форми подання ПП

Як видно з рис. 3 (а), при аналізі якості АЗ не потрібно аналізувати всі $m^n = 3^3 = 27$ ПП ($n = 3$ ДО, $m = 3$ термів), а лише 8 компактних форм їх подання; при аналізі якості ПЗ (чотири ДО) замість $3^4 = 81$ ПП – 9 компактних форм; при аналізі якості виконання КЗ (п'ять ДО) в ході оцінки рівня компетентності персоналу замість $3^5 = 243$ ПП – 9 компактних форм.

Враховуючи той факт, що ручний аналіз і введення ПП в систему нечіткого виводу в рамках FLT забирає більшу частину часу, відведеного на ДЕ, запропонована компактна форма представлення ПП значно скорочує цей час (рис. 3 (б)). Таким чином, запропонована кубічна форма представлення ПП дозволяє не тільки формалізувати процес їх синтезу та аналізу, але й автоматизувати процес їх подальшого введення до Fuzzy logic toolbox.

Розглянута можливість використання чітких ПП при функціональній верифікації цифрових пристроїв на етапі перевірки логічної коректності специфікації. Два приклади, що наведені у цьому розділі, показують, що будь-яку вимогу, що відображується в плані верифікації, можна записати у вигляді модифікованого ПП. Сукупність таких правил складе базу ПП, яка в свою чергу

може бути піддана формальній перевірці на коректність. Така перевірка дозволить знайти суперечності в плані верифікації ще до етапу написання testbench.

У **висновках** наведені основні результати дисертаційної роботи. **Додатки** містять бази ПП для експертного діагностування якості компонентів КС, лістинг розробленого ПЗ, а також довідки про впровадження результатів дисертації.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення якості експертного діагностування комп'ютерних систем за рахунок перевірки на логічну коректність моделі представлення знань експерта. У ході виконання дисертаційного дослідження отримані такі результати.

1. Обґрунтовано необхідність розробки методів аналізу бази знань експертних систем діагностування, представленої у вигляді продукційних правил, на логічну коректність. Розроблені методи базуються на кубічному поданні продукційних правил і теоретико-множинних операцій, що дало можливість перевірити продукційні правила на суперечливість, повноту, зв'язність і мінімальність. Дані методи дозволяють зменшити часові витрати при аналізі бази продукційних правил і поліпшити її якість, що безпосередньо веде до підвищення якості експертного діагностування комп'ютерних систем.

2. Удосконалена кубічна модель представлення продукційних правил за рахунок використання кубітного кодування символів багатозначного кубічного алфавіту. Даний підхід заснований на унітарному позиційному кодуванні примітивів запропонованого алфавіту, при цьому теоретико-множинні операції над символами замінюються логічними. Це дозволило значно прискорити обчислення при аналізі бази продукційних правил.

3. Показані переваги використання експертного діагностування комп'ютерних систем. Отримали подальший розвиток моделі та методи створення об'єкта діагностування, засновані на представленні діагностичних ознак різних компонентів комп'ютерних систем у вигляді лінгвістичних змінних. Використання чітко формалізованого шаблону оцінювання діагностичних ознак та проведення діагностичного експерименту надалі дозволило використовувати єдиний підхід до побудови бази знань експерта і розширити перелік діагностичних ознак в експертних системах діагностування.

4. Розглянуто проблему створення бази продукційних правил. Показано, що відсутність формального підходу при синтезі такої бази знань веде до суттєвих втрат часу на етапі їх аналізу. Це зумовило необхідність подальшого розвитку методів синтезу продукційних правил, представлених в кубічній формі. Запропонований підхід заснований на принципі призначення ваги кожному терму вхідної лінгвістичної змінної і дозволяє експерту формалізувати та прискорити процес створення продукційних правил з довільним числом діагностичних ознак і діапазонів їх значень.

5. Розроблені моделі та методи підвищення якості експертного діагностування використані при аналізі якості трьох компонентів комп'ютерної системи. У ході діагностичного експерименту для перетворення компактного

представлення продукційних правил в розгорнуту форму і їх перевірки на логічну коректність застосовувалась програма «Production rules analyzer», що дозволило підвищити достовірність результатів діагностування КС.

6. Розроблена модель об'єкта діагностування та методика проведення діагностичного експерименту використовуються на підприємстві ПАТ «УРБП Шлях» при експертному діагностуванні продуктивності корпоративної комп'ютерної мережі, а також у навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кривуля, Г. Ф. Классификационные признаки для диагностики компьютерных неисправностей с использованием нечетких экспертных систем / Г. Ф. Кривуля, Д. Е. Кучеренко, Сами Механна // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – Харьков: ХАИ. – 2009. – Вып.5 (39). – С. 127-131. (Входить до міжнародних науково-метричних баз Index Copernicus, INSPEC, Google Scholar)

2. Кривуля, Г. Ф. Моделирование диагностических состояний и компетентности пользователя компьютерной системы / Г. Ф. Кривуля, Д. Е. Кучеренко // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – Харьков: ХАИ. – 2010. – № 7(48). – С. 185-189. (Входить до міжнародних науково-метричних баз Index Copernicus, INSPEC, Google Scholar).

3. Кривуля, Г. Ф. Процедуры диагностирования компетентностей пользователей компьютерных систем / Г. Ф. Кривуля, А. С. Шкіль, Д. Е. Кучеренко, Е. В. Гаркуша // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – №1. – С.68-75.

4. Кривуля, Г. Ф. Нечеткая логика в экспертной оценке ИКТ-компетентностей / Г. Ф. Кривуля, А. С. Шкіль, Д. Е. Кучеренко, Е. В. Гаркуша // Вестник ХНТУ. – Херсон: ХНТУ. – 2011. – №2 (41). – С. 13-22.

5. Кривуля, Г.Ф. Экспертное оценивание качества программного обеспечения / Г.Ф. Кривуля, А.С. Шкіль, Д.Е. Кучеренко // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – Харьков: ХАИ. – 2013. – №5(64). – С. 282-287. (Входить до міжнародних науково-метричних баз Index Copernicus, INSPEC, Google Scholar).

6. Krivoulya, G. F. Analysis of production rules in expert systems of diagnosis / G. F. Krivoulya, A. S. Shkil, D. Ye. Kucherenko // Automatic control and computer sciences. – 2013. – Vol. 47 (No. 6). – P. 331-341. (Входить до міжнародних науково-метричних баз SCOPUS, INSPEC, Google Scholar).

7. Кривуля, Г. Ф. Диагностика компетентности пользователей компьютерных систем / Г. Ф. Кривуля, А.С. Шкіль, Д. Е. Кучеренко, Е. В. Гаркуша // АСУ и приборы автоматизации. – 2010. – Вып. 150. – С. 125-133.

8. Шкіль, О. С. Оцінювання завдань відкритої форми з розгорнутою відповіддю при комп'ютерному тестуванні / О. С. Шкіль, Д. Ю. Кучеренко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів: вид. Львівської політехніки. – 2011. – №731. – С. 3-9. (Входить до міжнародної науково-метричної бази INSPEC).

9. Кривуля, Г. Ф. Анализ корректности продукционных правил в системах нечеткого логического вывода с использованием квантовых моделей / Г. Ф. Кривуля, А. С. Шкиль, Д. Е. Кучеренко // АСУ и приборы автоматики. – Харьков. – 2014. – Вып. 165. – С. 42-53.

10. Krivoulya, G. Fuzzy expert system for diagnosis of computer failures / G. Krivoulya, Z. Dudar, D. Kucherenko, Sami Mehanna// CADSM'2009: Proc. of the Xth International conf., 2009. –Polyana, Ukraine: Lviv Polytechnic National University, 2009. – P. 225-230. (Входить до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS).

11. Кучеренко, Д. Ю. Аналіз компетентностей користувачів як складова частина надійного функціонування комп'ютерних систем /Д. Ю. Кучеренко, О. В. Гаркуша // Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі: 2-а наук.-практ. конф. – Львів, Україна: вид. Львівської політехніки, 2010. – С. 155-159.

12. Krivoulya, G. Competence as a support factor of the computer system operation / G. Krivoulya, A. Shkil, D. Kucherenko // EWDTs'2011: Proc. of International conf., 2011. – Sevastopol, Ukraine: KhNURE, 2011. – P. 303-310. (Входить до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS, IEEE Xplore Library).

13. Krivoulya, G. Expert evaluation model of the computer system diagnostic features / G. Krivoulya, A. Shkil, D. Kucherenko, A. Lipchansky, Ye. Sheremet // EWDTs'2014: Proc. of international conf., 2014. – Kiev, Ukraine: KhNURE, 2014. – P. 286-289. (Входить до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS, IEEE Xplore Library).

АНОТАЦІЯ

Кучеренко Д.Ю. Моделі та методи підвищення якості експертного діагностування комп'ютерних систем з використанням продукційних правил. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Харківський національний університет радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України, Харків, 2015.

Метою роботи є розробка моделей та методів підвищення якості експертного діагностування комп'ютерних систем за рахунок перевірки на логічну коректність моделі представлення знань експерта. У дисертаційній роботі вперше запропоновано моделі та методи аналізу продукційних правил на логічну коректність в системах нечіткого виводу шляхом їх перевірки на повноту, несуперечливість, зв'язність та мінімальність, що дозволило формалізувати процес формування та аналізу бази знань для підвищення якості експертного діагностування комп'ютерних систем; вдосконалена модель представлення знань експерта в експертних системах діагностування у вигляді продукційних правил, що подані в кубічній формі, яка відрізняється використанням кубітного кодування символів багатозначного кубічного алфавіту, що дало можливість використовувати логічні операції та значно прискорити обчислення при аналізі продукційних правил; отримали подальший розвиток моделі представлення діагностичних ознак різних компонентів комп'ютерних систем у вигляді

лінгвістичних змінних шляхом створення формалізованого шаблону їх представлення та оцінювання, що дає можливість використовувати єдиний підхід до побудови бази знань експерта і розширити перелік діагностичних ознак в експертних системах діагностування; отримали подальший розвиток моделі та методи синтезу продукційних правил нечіткого логічного виводу в кубічній формі шляхом призначення ваги кожному терму вхідної лінгвістичної змінної, що дозволяє експерту формалізувати процес і зменшити час на створення продукційних правил з довільним числом ознак і діапазонів їх значень.

Ключові слова: експертна система діагностування, база знань, діагностичні ознаки, система нечіткого виводу, продукційні правила.

АННОТАЦИЯ

Кучеренко Д.Е. Модели и методы повышения качества экспертного диагностирования компьютерных систем с использованием продукционных правил. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2015.

Целью работы является разработка моделей и методов повышения качества экспертного диагностирования компьютерных систем за счет проверки на логическую корректность модели представления знаний эксперта. Объект исследования – процессы экспертного диагностирования компьютерных систем, направленные на оценку качества их функционирования. Предмет исследования – методы синтеза и анализа базы продукционных правил в системах нечеткого вывода при экспертном диагностировании компьютерных систем.

В ходе выполнения диссертационной работы получены следующие научные результаты: впервые предложены модели и методы анализа продукционных правил на логическую корректность в системах нечеткого вывода путем их проверки на полноту, непротиворечивость, связность и минимальность, что позволило формализовать процесс формирования и анализа базы знаний для повышения качества экспертного диагностирования компьютерных систем; усовершенствованная модель представления знаний эксперта в экспертных системах диагностики в виде продукционных правил, представленных в кубической форме, которая отличается использованием кубитного кодирования символов многозначного кубического алфавита, что позволило использовать логические операции и значительно ускорить вычисления при анализе продукционных правил; получили дальнейшее развитие модели представления диагностических признаков различных компонентов компьютерных систем в виде лингвистических переменных путем создания формализованного шаблона их представления и оценки, что дает возможность использовать единый подход к построению базы знаний эксперта и расширить перечень диагностических признаков в экспертных системах диагностики; получили дальнейшее развитие модели и методы синтеза продукционных правил нечеткого логического вывода в

кубической форме путем назначения веса каждому терму входной лингвистической переменной, что позволяет эксперту формализовать процесс и уменьшить время на создание продукционных правил с произвольным числом диагностических признаков и диапазонов их значений.

Практическая ценность полученных результатов состоит в разработке процедур проверки продукционных правил на корректность, а также процедуры проведения диагностического эксперимента по анализу качества функционирования КС. Разработан программный модуль, который упрощает процесс перехода от компактной формы представления продукционных правил к развернутой форме, а также выполняет их анализ на логическую корректность для дальнейшего использования в качестве базы знаний в экспертных системах диагностирования.

Ключевые слова: экспертная система диагностирования, база знаний, диагностические признаки, система нечеткого вывода, продукционные правила.

ABSTRACT

Kucherenko D. Ye. Models and quality improvement methods of computer systems' expert diagnosis using production rules. – Manuscript.

Thesis for a candidate of technical science degree in specialty 05.13.05 – computer systems and components. – Kharkiv National University of RadioElectronics, Ministry of education and science of Ukraine, Kharkiv, 2015.

The purpose of the work is to develop models and quality improvement methods of computer systems' expert diagnosis by checking the logical correctness of the expert's knowledge representation model. In the thesis the models and analysis methods of the logical correctness of production rules in fuzzy inference systems by checking them for completeness, consistency, coherence, and minimality were proposed, that made it possible to formalize the processes of knowledge base formation and analysis for improving the quality of computer systems expert diagnosis; the representation model of expert knowledge in diagnosis expert systems as a production rules in a cubic form, which is characterized by qubit encoding of multi-valued cubic alphabet characters, that made it possible to use logical operations, and to accelerate computation greatly during production rules analysis, was improved; the model of diagnostic features representation of various components of computer systems in a form of linguistic variables through the establishment of a formalized template of their representation and estimation was further developed, which allows using the unified approach to construction of an expert knowledge base and expanding a list of diagnostic features in diagnosis expert systems; the models and synthesis methods of fuzzy inference production rules in a cubic form by assigning weights for each term of input linguistic variable were further developed, which allow an expert to formalize the process and reduce the time for creating production rules with an arbitrary number of diagnostic features and ranges of their values.

Keywords: diagnosis expert system, knowledge base, diagnostic features, fuzzy inference system, production rules.