

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра кібербезпеки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із
застосуванням нечіткої логіки

Назва теми

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

КРМКІ.170288.21.01.10 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ1м21-1

Керівник доц., к. т. н., доцент кафедри Кб

Нормоконтролер старший викладач кафедри Кб



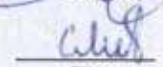
Підпис

Солтис В.М.



Підпис

Чешун В.М.



Підпис

Мостовий С.В.

До захисту допускаю:

Зав. кафедри Кб, к.т.н., доц



Підпис

Клюц Ю.П.

6 12 2022 р.

Хмельницький, 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КІБЕРБЕЗПЕКИ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ПРОГРАМУВАННЯ ТА ЗАХИСТ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ю.П. Кльоц

“1” 07 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Солтис Володимир Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки

Керівник роботи Чешун Віктор Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

кандидат технічних наук, доцент

Затверджена наказом № 83 ректора університету додаток №25 від 01.07.2022

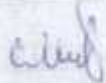
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) на кафедру 20.11.2022

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Підвищення результативності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування через застосування нечіткої логіки.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____
Вступ. Дослідження щодо організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки. Математична модель методу. Алгоритмічна реалізація методу. Апробація методу. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Тема, мета магістерської, наукова новизна, практична значимість, публікації. Дослідження предметної області. Розробка математичної моделі методу. Алгоритмічна реалізація методу. Апробація методу. Висновки.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали і посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Нормоконтроль	Мостовий С.В. Старший викладач кафедри Кб		

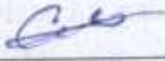
7. Дата видачі завдання «01» липня 2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Прим
1	Вибір напрямку дослідження і узгодження тематики КРМ з керівником	30.06.2022	
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети і задач дослідження; визначення об'єкта і предмета дослідження	2.09.2022	
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	6.09.2022	
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей і методів для вирішення поставленої задачі	22.09.2022	
5	Робота над науковою публікацією	2.10.2021	
6	Робота над розділом 3 – розробка алгоритмів і технологій, їх аналіз	15.10.2022	
7	Робота над розділом 4 – апробація запропонованих рішень	29.10.2022	
8	Узгодження отриманих; оформлення пояснювальної записки згідно вимог	5.11.2022	
9	Попередній захист роботи	25.11.2022	
10	Захист роботи на засіданні ЕК	6.12.2022	

Студент

Керівник проекту (роботи)


Підпис

В.М. Солтис

Ініціали, прізвище


Підпис

В.М. Чешун

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: Метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки

Автор роботи: Солтис Володимир Миколайович

Керівник роботи: к.т.н., доц. Чешун Віктор Миколайович

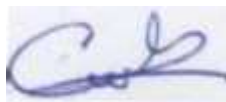
Загальний обсяг роботи: 89 сторінок, 10 рисунків, 3 таблиці, 2 додатки, 21 посилання.

Ключові слова: тестове діагностування, цифровий об'єкт діагностування, нечітка логіка.

Дана кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування за рахунок використання можливостей нечіткої логіки щодо формування найбільш прийняттого логічного висновку за умови нечіткості вихідних діагностичних даних.

В роботі представлено метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки, що відрізняється від існуючих можливістю формування логічного висновку про стан об'єкта діагностування на мінімальних діагностичних даних, а також із урахуванням експертних оцінок або/і статистичних даних.

1.12.2022



ANNOTATION

Theme of qualification work: The method of organizing test trials of a digital diagnostic object using fuzzy logic

Author of the work: Soltys Volodymyr Mykolaiovych

Mentor: Ph.D. Cheshun Viktor Mykolaiovych

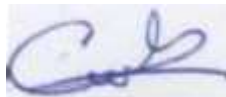
Total volume of work: 89 pages, 10 figures, 3 tables, 2 appendices, 21 links.

Keywords: test diagnosis, digital device, fuzzy logic.

This qualification work is devoted to increasing the efficiency of the organization of test trials of a digital object of diagnosis by using the possibilities of fuzzy logic to form the most acceptable logical conclusion in the case of the vagueness of the initial diagnostic data.

The paper presents a method of organizing test trials of a digital object of diagnosis using fuzzy logic, which differs from the existing ones in the possibility of forming a logical conclusion about the state of the object of diagnosis based on minimal diagnostic data, as well as taking into account expert assessments and/or statistical data.

1.12.2022



ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЦИФРОВОГО ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	6
1.1 Сучасні підходи до організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування.....	6
1.2 Нечітка логіка як інструмент діагностики.....	14
1.3 Постановка задачі.....	27
1.4 Висновки.....	27
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕТОДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЦИФРОВОГО ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	29
2.1 Визначення діагностичної складової математичної моделі	29
2.2 Визначення складових нечіткої логіки в математичній моделі	46
2.3 Висновки.....	46
3 ОПИС МЕТОДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЦИФРОВОГО ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	47
3.1 Опис базових положень методу	47
3.2 Опис алгоритмічної реалізації методу	57
3.3 Висновки.....	67
4 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ І АПРОБАЦІЯ МЕТОДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЦИФРОВОГО ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	68
4.1 Розробка засобів реалізації методу.....	68
4.2 Апробація методу	78
4.3 Висновки.....	86
ВИСНОВКИ.....	87
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	88
ДОДАТКИ.....	90
ДОДАТОК А - КОПІЇ ПУБЛІКАЦІЙ.....	97
ДОДАТОК Б - ПРЕЗЕНТАЦІЯ РОБОТИ.....	100

ВСТУП

Актуальність дослідження. На сьогодні, в умовах неспровокованої терористичної діяльності росіян на території незалежної України, ми як ніколи чітко усвідомили, наскільки жахливими є наслідки виходу з ладу об'єктів критичної інфраструктури, невід'ємною складовою яких є електронні системи контролю і управління, що є цифровими цілком або з цифровими підсистемами чи елементами. І хоча сьогоднішня критична ситуація зумовлена атаками ракет і бойових дронів, до подібних наслідків може призводити і несправність цифрових систем та блоків критичної важливості. Уникати проблем виходу з цифровими пристроями і системами різного ступеня складності і відповідальності допомагає їх надійність.

Найважливішим показником надійності є відсутність відмов під час функціонування технічної системи, цифрової системи тощо. Відмова цифрової системи керування авіаційного обладнання в польотних умовах, суднової цифрової під час плавання корабля, енергетичних установок електростанцій у роботі під навантаженням може призвести до тяжких наслідків. Відповідальною за виявлення дефектів, локалізацію несправностей і запобігання важким наслідкам шляхом підвищення надійності технічних систем є технічна діагностика.

Технічна діагностика, завдяки ранньому виявленню дефектів та несправностей, дозволяє усунути подібні відмови у процесі технічного обслуговування, що підвищує надійність та ефективність експлуатації, а також дає можливість експлуатації технічних систем відповідно призначення за справним станом.

У практиці ресурс таких систем визначається по найслабших екземплярах виробів. При експлуатації кожен екземпляр експлуатується до граничного стану відповідно до рекомендацій системи технічної діагностики.

Аналіз підходів і методів організації тестових випробувань цифрових об'єктів діагностування із дозволяє дійти ствердження, що досягнення у підвищенні інтегральної складності і функціональності цифрових компонентів

та пристроїв, реалізованих на їх основі, мають негативні наслідки для організації діагностичних тестових випробувань. Це породжує інтерес до автоматизації процесів організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нових методів. У зв'язку з необхідністю урахування значної кількості факторів і параметрів та використання нетрадиційних підходів при реалізації тестів, найбільш актуальною на сьогодні є розробка інтелектуальних методів, технік та засобів вирішення діагностичних завдань, одним із різновидів яких є методи на основі нечіткої логіки.

В технічній діагностиці і в реальному житті часто виникають ситуації, коли неможливо однозначно вирішити, є твердження істинним чи хибним. В таких ситуаціях нечітка логіка пропонує дуже цінну гнучкість міркувань.

Отже, актуальність роботи полягає в тому, що в умовах постійного і незупинного зростання складності цифрових електронних компонентів і пристроїв залишається актуальною проблема ефективної організації їхньої діагностики, для вирішення якої може застосовуватись нечітка логіка [1].

Ця кваліфікаційна робота присвячена розробці методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування за рахунок використання можливостей нечіткої логіки для ідентифікації технічного стану об'єкта за умови нечіткості вихідних діагностичних даних.

Об'єктом дослідження є процес діагностування об'єктів цифрової електроніки.

Предметом дослідження є методи формування діагностичного висновку за умови нечіткості або недостатності вихідних діагностичних даних.

Щоб реалізувати програму для досліджень необхідно:

а) виявити аналогії методів та задач технічної діагностики й нечіткої логіки, що можуть бути використані у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування;

б) визначити основні положення методу організації тестових випробувань

цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки;

в) розробити математичну модель методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки;

г) здійснити алгоритмічну реалізацію методу;

д) провести апробацію дієвості прийнятих теоретичних і алгоритмічних рішень методу.

В основі методів дослідження лежать базові положення технічної діагностики, теорії тестового діагностування, теорії нечіткої логіки, теорії множин.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Розроблено математичну модель для організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування з урахуванням специфіки використання нечіткої логіки;

2. Розроблено метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки, що відрізняється від існуючих можливістю формування логічного висновку про стан об'єкта діагностування на мінімальних діагностичних даних, а також із урахуванням експертних або розрахункових оцінок коефіцієнтів приналежності результатів діагностування досліджуваним станам об'єкта.

Практична значимість отриманих результатів полягає у підвищенні ефективності процесу тестового діагностування цифрових об'єктів через збільшення кількості діагностичних експериментів із вірною ідентифікацією технічного стану об'єкта без виконання для цього додаткових тестових випробувань.

Публікації. За темою магістерської роботи підготована до видання 1 стаття у фаховому журналі та опублікована 1 теза доповідей на міжнародній науково-практичній конференції.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЦИФРОВОГО ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

1.1 Сучасні підходи до організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування

Для ефективного вирішення поставленого завдання організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування (ЦОБД) із застосуванням нечіткої логіки першочергово слід визначитися з понятійними визначеннями, які будуть використовуватись в роботі, та проаналізувати існуючі сучасні підходи до організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування.

Першочергово розглянемо базові визначення сфери досліджень.

Технічна діагностика – наукова сфера, що охоплює теоретичні засади, методи й засоби встановлення технічного стану об'єкта діагностування.

Таким чином, технічне діагностування – процес встановлення (розпізнавання або ідентифікації тощо) технічного стану об'єкта діагностування.

Виходячи з цього, технічною діагностикою називається наука про розпізнавання або ідентифікацію розпізнавання стану певної системи, що є об'єктом діагностування.

Технічна діагностика як наука вивчає методи отримання та оцінювання діагностичної інформації, різноманітні діагностичні моделі та алгоритми прийняття рішень в задачах технічного діагностування.

Технічний стан - сукупність схильних до зміни в процесі виробництва або експлуатації властивостей об'єкта, що характеризується в певний момент ознаками, встановленими нормативно-технічною документацією.

Контроль технічного стану – визначення технічного стану об'єкта діагностування.

Вид технічного стану – множина технічних станів, які задовольняють певним вимогам, що визначають справність об'єкта (працездатність чи правильність функціонування тощо).

Розрізняють різновиди станів об'єкта.

Справний або несправний стан:

- справний стан – технічний стан об'єкта, у якому він відповідає всім встановленим вимогам нормативних характеристик;
- несправний стан – технічний стан об'єкта, у якому він відповідає хоча б одній із встановлених вимог нормативних характеристик.

Працездатний або непрацездатний стан:

- працездатний стан – технічний стан об'єкта, у якому він здатний виконувати всі задані функції, зберігаючи при цьому значення заданих параметрів у межах норм;
- непрацездатний стан – технічний стан об'єкта, у якому значення хоча одного заданого параметра характеризує нездатність об'єкта виконувати задані функції, що не відповідає встановленим вимогам.

Повне чи часткове функціонування:

- повне або правильне функціонування – технічний стан об'єкта, у якому він виконує регламентовані функції зберігаючи значення заданих параметрів їх виконання у межах норм;
- часткове або неправильне функціонування – технічний стан об'єкта, у якому він не виконує частини необхідних регламентованих функцій.

З визначень технічних станів об'єкта випливає, що у стані справності об'єкт завжди працездатний і правильно функціонує у всіх режимах, а у стані неправильного функціонування – непрацездатний і несправний. Правильно функціонуючий об'єкт також може бути непрацездатним, отже, несправним. Працездатний об'єкт теж може бути несправним.

Розглянемо також визначення, пов'язані з поняттям контролепридатності.

Контрольнепридатність – властивість, що характеризує пристосованість об'єкта до проведення контролю заданими засобами.

Показник контролепридатності – це кількісна характеристика контролепридатності.

Рівень контролепридатності – це відносна характеристика контролепридатності, яка заснована на порівнянні сукупності показників

контролепридатності ЦОБД з відповідною сукупністю базових показників.

Технічне діагностування це завжди процес визначення технічного стану ЦОБД лише з певною точністю.

Результатом діагностування є висновок щодо ідентифікації технічного стану ЦОБД із зазначенням, за необхідності і можливості, місця, виду та причини дефекту. Число станів, які необхідно розрізняти в ході діагностування характеризується глибиною пошуку дефектів.

Глибина пошуку дефектів – ступінь деталізації результатів при технічному діагностуванні, що вказує з заданою точністю на складову частину об'єкта, де визначається місце несправності.

Діагностування технічних об'єктів має наступні діагностичні задачі:

- оцінка технічного стану об'єкта діагностування;
- виявлення несправностей та визначення місця їх виникнення (локалізація несправностей)
- прогнозування залишкового ресурсу роботоздатності об'єкта діагностування;
- моніторинг технічного стану об'єкта діагностування.

Основна мета технічної діагностики – підвищення надійності технічних систем. [2,3].

Технічна діагностика дозволяє із заданою достовірністю розділяти несправні та справний стани об'єкта діагностування, а кінцева мета полягає у локалізації несправностей та у відновленні і найбільш тривалому підтриманні справного стану об'єкта. За такого підходу заходи контролю та технічної діагностики можна розглядати як складову частину підсистеми технічного сервісу або системи технічної експлуатації.

Несправності можуть виникнути при програмуванні через вплив перешкод, неякісну розробки самих схем тощо. Статистично до 20 % цифрових вузлів мають дефекти після виконання монтажу плати, понад половина з яких – це короткі замикання з'єднань. Це вимагає постійного доопрацювання моделей дефектів та переходу до найбільш адекватних моделей, до моделей розширеного класу дефектів, які враховують поєднання дефектів (константних

дефектів, дефектів коротких замикань та різних нетрадиційних дефектів).

Діагностування виконується на всіх етапах розробки і експлуатації цифрового об'єкта.

На етапах виготовлення після розміщення проекту в компонентному базисні роблять функціональне та тестове діагностування.

Діагностування, яке здійснюється під час функціонування об'єкта і на який подаються лише робочі дії, називається функціональним технічним діагностуванням.

Технічне діагностування, у якому на об'єкт подаються спеціальні тестові впливи, що використовуються суто лише для діагностики, називається тестовим діагностуванням. Впливи, що подаються на об'єкт при тестовому діагностуванні, називаються тестами діагностування або просто тестами.

Функціональне діагностування вирішує завдання контролю функціонування та, як правило, реалізується на випробувальних стендах з використанням фізичних, а не віртуальних об'єктів діагностування. Повнота функціонального діагностування обмежується повнотою наявних функціональних тестів і моделей дефектів. При цьому правильна відповідна реакція тесту дозволяє стверджувати, що встановлено відсутність дефектів із заданого переліку. Тобто, контрольована тестом функція вірна тільки в межах виконаного тесту і лише для певного виду функціональних дефектів.

Тестове діагностування, яке робиться під час монтажу плат, блоків та виробів, надає можливість оцінити правильність розміщення складових, перевірити їх справність та справність всього пристрою і локалізувати несправний вузол. На етапі експлуатації або при регламентних роботах для перевірки кожного функціонального вузла (модуля, плати, блоку, виробу) застосовується АСТД, інтегрована із системою управління та моніторингу (СУІМ). Така система поряд з функціональним контролем робочих характеристик та параметрів дозволяє проводити вибіркове чи повне тестове діагностування цифрових пристроїв у складі блоку, виробу чи системи. Набір апаратних засобів у разі дуже широкий: від спеціалізованих технологічних тестерів і вимірювальних приладів до вбудованих апаратури засобів

вбудованого контролю (СВК).

Статистика стверджує, що від 80 до 90% дефектів сучасних цифрових пристроїв є дефекти монтажу, для діагностики яких необхідно проводити структурне тестування.

Будь-яка діюча стратегія діагностики поєднує в тих чи інших поєднаннях структурне тестування і функціональне тестування.

Функціональне діагностування як вихідну інформацію для побудови тестової програми використовує алгоритм функціонування цифрового пристрою. Воно не дозволяє виявити значну частину можливих несправностей за відсутності даних про причини та характер можливих несправностей, через підвищену складність контрольованого цифрового пристрою або за низьких вимог щодо повноти контролю.

Функціональне діагностування виявляє несправності плати, які існують, але витрати при цьому на розробку та проведення функціонального тестування зазвичай значні, а діагностика несправностей монтажу, що забезпечує функціональне тестування, не дуже ефективна, тому без попереднього структурного функціонального тестування цифрових пристроїв далеко не завжди виправдане.

Структурне діагностування – у процесі розробки тестової програми використовуються дані про структуру цифрового пристрою та характер можливих несправностей. Структурне діагностування забезпечує досить повну перевірку працездатності цифрового пристрою. Однак, для складних цифрових пристроїв методи структурного цифрового пристрою малоефективні через велику кількість елементів схеми та відсутність адекватних моделей несправностей, характерних для сучасних надскладних пристроїв.

В структурному тестуванні діагностика зазвичай набагато детальніша, а повнота покриття наявних несправностей помітно вища.

Намір отримати 100% покриття дефектів цілком виправданий, хоча на практиці рівень покриття несправностей є компромісом ряду факторів:

- вартість тестопридатного проектування пристрою;
- час і вартість розробки тестів;

– час і вартість прогону тесту і виконання супутніх діагностичних процедур.

Жодна з технологій тестування не забезпечує стовідсоткове покриття дефектів самостійно і для будь-яких схем тощо, тому забезпечити прийнятний рівень діагностики покликані комбінації різних технологій пошуку дефектів для таких схем і для таких типів несправностей, де вони максимально ефективні.

Сформулювати критерії вибору засобів та стратегій технічної діагностики непросто. Першочергово слід враховувати вирішувані завдання технічної діагностики.

Завдання технічної діагностики цифрових пристроїв, які вирішуються в даний час, можна класифікувати.

Технічна діагностика складових при їх виробництві та експлуатації:

– верифікація правильності розробки та функціонування компонентів за наявності JTAG-доступу до окремих внутрішніх точок. Забезпечення засобів такого доступу передбачене згідно стандарту P1687;

– структурне тестування зв'язків між вбудованими модулями за спільно з іншими структурами, серед яких внутрішні ланцюги сканування та механізми вбудованого тестування. Апаратні та алгоритмічні принципи такого тестування визначаються за стандартом IEEE 1500;

– емуляція мікропроцесорів в ході їх тестування. Апаратні та алгоритмічні принципи такого тестування визначаються за стандартом IEEE 5001 (Nexus 5001).

Технічна діагностика окремих друкованих плат при їх виробництві та експлуатації:

– діагностика несправностей монтажу, що орієнтована на виявлення дефектів монтажу компонентів та зв'язків між ними.

– діагностика несправностей монтажу, що орієнтована на виявлення дефектів монтажу інших модулів (елементи пам'яті, кластерні структури) та зв'язків між ними [4,5].

– внутрішньосхемне програмування програмованих елементів (ПЛМ, FPGA, Перепрограмовані ПЗП, I2C-пристрої), а також ІС флеш-пам'яті [5].

Технічна діагностика сукупностей вузлів при їх компонуванні та експлуатації:

- діагностика наявності або відсутності дефектів у платі (роз'ємі крос-плати) з допомогою адресних ідентифікаторів роз'ємів;
- діагностика несправностей з'єднання модулів із роз'ємом крос-плати;
- діагностика несправностей зв'язків між модулями через кросплату;
- управління схемами самотестування окремих модулів, зібраних у вузол, тобто, пуск програм самотестування з діагностикою несправностей за результатами тесту.

Технічна діагностика окремих цифрових пристроїв в їх виробництві та експлуатації має ряд проблем:

– діагностика функціональних несправностей, як цифрових, так і аналогових, нездійсненна за допомогою JTAG-технологій, хоча JTAG-технології широко використовуються для отримання доступу до внутрішніх високошвидкісних ланцюгів схеми та маніпулювання ними. Прикладом може бути методика IBIST фірми Intel [3];

– ускладнена технічна діагностика окремих модулів при їх виробництві або експлуатації, а також сукупностей вузлів при їх збиранні та експлуатації;

– неможливе виявлення дефектів монтажу елементів, що не мають підтримки контролепридатності, а також діагностика дефектів наявних зв'язків між ними;

– проблемне виконання тестів, спрямованих на виявлення динамічних несправностей, що є функцією часу;

– проблемне виконання тестів, спрямованих на виявлення дефектів шин даних типу прояву паразитних зв'язків (crosstalk), тремтіння фази (jitter), інтерференції тощо.

Завдання технічної діагностики, вирішувані у багатьох методах, спрямовані на виявлення структурних, а не функціональних несправностей. При цьому зазвичай виходять з припущення, що внаслідок застосування тестопридатного проектування є доступ до можливих місць виникнення несправностей за допомогою того чи іншого конектора, якщо тестування

здійснюється на рівні окремих плат або підсистем.

Вибір стратегії тестування та пошуку дефектів є непростим завданням для виробників сучасних цифрових пристроїв високої складності. Ефективність стратегії тестування може обмежуватись при виборі технічної політики компанії через прагнення до зниження вартості пристроїв.

Виробництво сучасних складних цифрових пристроїв обумовлює такі проблеми діагностики:

- значне обмеження можливостей контролю візуально якості монтажу, зокрема, через застосування BGA-корпусів;
- майже повна фізична відсутність можливості доступу до вузлів та контактів через високу щільність монтажу і провідників та брак місця з обох сторін друкованої плати, що обмежує можливості застосування внутрішньосхемного тестування;
- недостатня тестопридатність звужує можливості тестового покриття несправностей навіть за наявності відповідних технічних і програмно-апаратних засобів;
- висока вартість кваліфікованих фахівців при неавтоматизованому пошуку дефектів та налагодженні пристроїв, а також значні витрати часу;
- висока вартість засобів діагностування;
- загалом ускладнена діагностика несправностей при внутрішньосхемному тестуванні та функціональному тестуванні.

Виділяють такі основні сфери застосування систем і методів діагностування:

- тип 1: на етапі виробництва об'єкта (у процесі налагодження або приймання);
- тип 2: на етапі експлуатації об'єкта (при технічному обслуговуванні у процесі застосування, у процесі зберігання, а також у процесі транспортування);
- тип 3: під час ремонту виробу (перед ремонтом і після ремонту).

1.2 Нечітка логіка як інструмент діагностики

В технічній діагностиці і в реальному житті часто виникають ситуації, коли неможливо однозначно вирішити, є твердження істинним чи хибним. В таких ситуаціях нечітка логіка пропонує дуже цінну гнучкість міркувань.

У більшості застосувань, що використовуються на сьогодні в автоматизації технологічних процесів, нечітка логіка як інструмент дозволяє застосувати досвід кваліфікованих операторів і технологів для управління різними процесами.

Ще на початку дев'яностих років минулого віку з'явився інтерес до отримання нечітких методів управління, які потім і отримали назву «нечітка логіка управління». У зазначений час з'явилася (в основному в Японії) велика кількість електротехнічних та електронних застосувань у побутовій техніці, в яких були реалізовані методи управління нечіткого типу. Пральні машини, що працюють цілком автоматично та не потребують будь-якого людського регулювання, інтелектуальні відеокамери з технологією Steadyshot (TM), що сама забезпечує автоматичну стабілізацію зображення, а також багато інших інновацій, що й стали привертати увагу широкого загалу фахівців і користувачів до терміну «Нечітка логіка».

Сьогодні кількість застосунків заснованих на нечітких методах управління безперервно збільшується як для безперервних процесів, застосунків пакетної обробки, так і для автоматизованих систем.

Нечітка логіка, завдяки її використанню в інформаційній галузі, отримала формулювання як повноцінний метод програмування. Нечітка логіка дозволяє систематизувати емпіричні знання й застосувати їх для управління процесами у разі наявності труднощів із застосуванням класичних методів управління. Нечітка логіка дозволяє описати методи управління, які потім можна застосувати для реальних систем і дозволяє врахувати при цьому досвід операторів та технологів для реалізації динамічного управління процесом.

Це дозволяє, зокрема, описувати в нечіткій логіці частини виробничого процесу (ініціалізація, завдання параметрів тощо) і виконувати подальше

керування ним.

Алгоритм нечіткої логіки допомагає прийняти рішення після розгляду всіх неоднозначних доступних даних, на основі яких приймається найкраще рішення для ситуаційних умов. Метод нечіткої логіки імітує спосіб ухвалення інтуїтивного рішення людиною, де мозок враховує всі можливості змін між абсолютною істиною і хибністю.

Аналіз історичних і практичних аспектів виникнення і застосування нечіткої логіки дозволяє зробити базові заключення [6,7,8]:

- нечітка логіка як специфічний термін вперше використано у 1965 році професором Каліфорнійського університету в Берклі Лотфі Заде. Він зауважив, що традиційна комп'ютерна логіка не здатна виконувати маніпуляції з даними, які відображують суб'єктивні чи неясні людські ідеї;

- нечіткість вказує на речі, які не дуже зрозумілі чи розпливчасті в представлення, що загалом характеризує потенційні сфери застосування нечіткої логіки;

- нечітка логіка не повинна використовуватися там, де можна прописати певний чіткий алгоритм рішення;

- нечітка логіка як інструмент це проста у реалізації та гнучка техніка машинного навчання;

- нечітка логіка використовує ступінь істинності як математичну базу у моделі невизначеності

- чітка логіка має жорстку межу Т (істина) або F (хибне), в той час як нечітка межа розпливчата з певним показником ступеня належності;

- чіткий вибір широко застосовується для проектування цифрових систем, а от нечіткий вибір застосовується лише у спеціальних нечітких контролерах;

- посудомийні і пральні машини, підсистеми контролю і керування автомобілем, автоматична трансмісія, управління фітнесом та спортивні гаджети, медична та технічна діагностика – окремі популярні галузі ефективного застосування нечіткої логіки.

Відзначимо основні важливі властивості нечіткої логіки:

- гнучка та проста у застосуванні техніка машинного навчання;
- допомагає наслідувати логіку людської думки;
- нечітка логіка може мати не лише два типові булевих значення, які представляють два можливі рішення;
- нечітка логіка дуже зручний метод для невизначених чи приблизних міркувань
- нечітка логіка розглядає формування висновку у вигляді процесу поширення пружних обмежень
- нечітка логіка дозволяє формувати нелінійні функції довільної складності;
- нечітка логіка має реалізовуватись з урахуванням досвіду експертів.

Архітектурна модель нечіткої логіки (Fuzzy Logic) [8] складається із чотирьох основних частин:

- із бази сформованих правил;
- із процедури фаззифікації;
- із механізму логічного висновку;
- із процедури дефаззифікації.

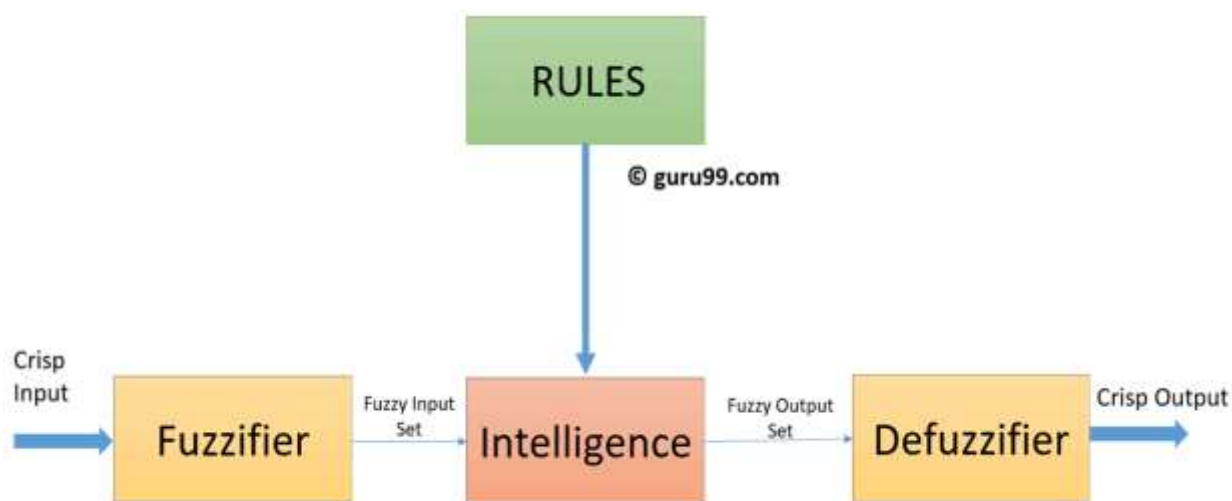


Рисунок 1.1 – Архітектура нечіткої логіки

База правил містить усі правила та умови «якщо-то», які є запропонованими експертами для управління нечіткою системою прийняття

рішень. Нещодавне оновлення теорії нечіткої логіки дає різні методи проектування та налаштувань нечітких контролерів. Ці оновлення значно скорочують необхідну кількість нечітких правил.

Фаззифікація допомагає конвертувати вхідні чіткі дані в нечіткі. Фаззифікація дає змогу конвертувати чіткі числа в нечіткі множини. Чіткі входи вимірюються і оцінюються в числах датчиками та передаються в систему нечіткого керування для подальшої обробки.

Механізм логічного висновку допомагає визначити ступінь відповідності нечітких введень фаззифікації та правилам. На основі ступеня відповідності висновки визначає, які правила повинні бути реалізовані до заданого поля введення. За цим правила об'єднуються для рішення і вироблення контрольних дій.

Дефаззифікація виконується для перетворення нечітких множин у чітке значення. Є багато різновидів методів дефаззифікації, через що потрібно вибрати, який з них найкраще підходить для використання з нечіткою експертною системою.

Нечітка логіка має велику кількість застосувань включно із її використанням в критичних системах, від роботи яких залежить життя людини.

В роботі [9] розглядається приклад застосування нечіткої логіки для керування літаком.

Моделювання динаміки польоту літака, що виконує різні цільові завдання пілотування, вимагає від моделі льотчика-оператора можливості розв'язання багатоконтурних багатоканальних завдань. Прикладом завдань є виконання маневру віраж (розворот). Віраж є маневром, що часто використовується при бойовому маневруванні, який є однією з найскладніших фігур пілотажу, оскільки вимагає від льотчика координованих дій командними важелями управління.

Льотчик, виконуючи маневр, здійснює керування літаком двома каналами: крену та тангажу, що дозволяє витримувати умову горизонтальності маневру за показаннями варіометра. Для виконання розвороту без участі льотчика знадобилася модель, що досить точно повторює його дії. Для

вирішення цього завдання розроблено методику побудови моделі дій льотчика на основі нечіткої логіки, яка включає кілька етапів:

- формування банку даних керуючих дій льотчика під час виконання завдання пілотування та його попередній аналіз;

- формування fuzzy-моделі першого наближення за результатами аналізу банку даних;

Формування навчальної вибірки з банку даних;

- «навчання» fuzzy-моделі першого наближення з навчальної вибірки;

- виконання моделлю завдання пілотування;

- порівняння та аналіз результатів.

Банк даних управляючих дій льотчика зроблено через вибірку параметрів, отриманих під час вирішення групою льотчиків завдання пілотування.

Формалізація термів здійснена за допомогою симетричної гаусової функції приналежності. Вибір типу функції приналежності обумовлений її достатньою гнучкістю та простотою, оскільки вона задається лише двома параметрами [6]. Це дозволяє скоротити розмірність задачі за подальшої оптимізації моделі (у роботі використано нечітку модель типу Мамдані [6]).

Через експертний підхід введено лінгвістичні терми: "негативне велике" (ob); "негативне середнє" (os); "негативне мале" (om); "нейтральне" (n); "позитивне мале" (pm); "позитивне середнє" (ps); "позитивне велике" (pb).

Використовуючи лінгвістичні терми «прив'язуються» значення величин вертикальної швидкості та прискорення, а також кута крену і швидкості крену до певних терм. Усього сформовано 49 правил для кожного каналу управління.

В результаті отримана модель першого наближення (рисунок 1.2), яка включає два fuzzy-блоки (блок управління в каналі тангажу і блок управління в каналі крену).

Fuzzy-модель першого наближення одразу дала задовільний результат, оскільки завдання пілотування моделлю виконувалося.

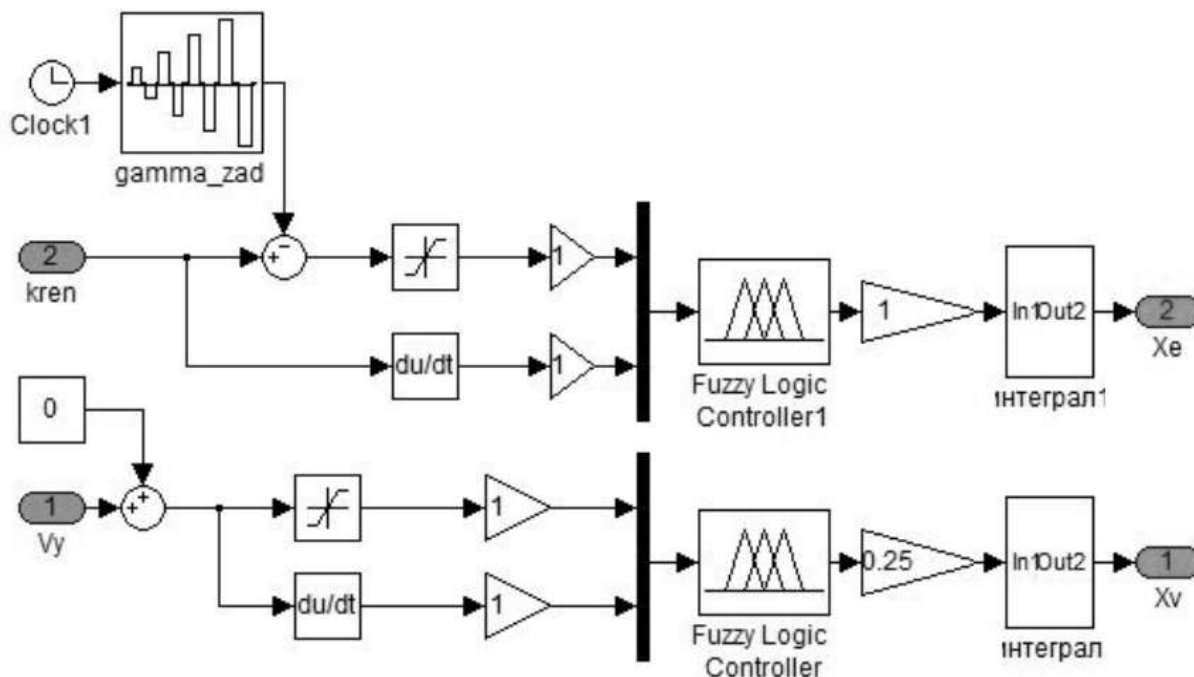


Рисунок 1.2 – Архітектура нечіткої моделі першого наближення

Слід зазначити, що нечітка логіка широко використовується не лише в організації тестових випробувань цифрових об'єктів діагностування, а і в багатьох інших діагностичних процесах, що потребує розгляду для вирішення задачі кваліфікаційної роботи.

В роботі [10] описуються результати дослідження з метою розробки системи підтримки прийняття рішень на основі обробки статистичних даних для діагностики захворювань. Стосовно медичного обслуговування впровадження та розповсюдження інформаційних технологій стає все більш популярними та актуальними. На отримання будь-якої довідки, не кажучи вже про реальне обстеження з необхідністю спілкування з лікарем, у деяких лікувальних закладах йде багато часу, нервів та сил. Сьогодні сучасна людина не може дозволити собі нераціональне витрачання часу. З появою різних нездужань у людини-користувача виникає потреба у швидкій діагностиці стану здоров'я. Тут з'являється проблема в тому, щоб вчасно розпізнати захворювання, призначити правильне лікування і змусити користувача звернутися до лікаря, до фахівця для обстеження за допомогою спеціальних медичних технологій, продовження діагностики та подальшого лікування.

Авторами розроблено математичний апарат на основі нечіткої логіки та

прямого ланцюжка міркувань. За допомогою нечіткої логіки синтезовано модель підтримки ухвалення рішення для діагностики належності хвороби до класу очних захворювань. Проведено комп'ютерне моделювання алгоритмів.

У роботі представлена математична модель з використанням нечіткої логіки, яка стала основою розробки прикладної програми, призначеної для проведення первинної діагностики можливого захворювання. Програма видає рекомендацію для подальшого звернення до фахівця. Вихідні дані, на основі яких проводилася розробка моделі, належать до очних захворювань. Будь-яке нездужання завдає незручності людині. Захворювання очей сприймається як завдання ураження органічних і фізичних здібностей людини, погіршується гострота і чіткість зору. Людина втрачає здатність до зорового аналізу навколишньої дійсності. Накопичено величезну статистику, що підтверджує негативний вплив несприятливих факторів на зорові органи людини.

Аналіз зібраних авторами даних показав, що їх характер досить різноплановий і практично всі вони мають лише лінгвістичний опис. Тому для їх обробки необхідно було підібрати такий математичний апарат, який дозволив би провести їх опис, структурування та систематизацію. Для цього запропоновано використовувати модель на основі нечіткої логіки.

Таким чином, предметом дослідження став аналіз статистичних даних, що проводиться за допомогою елементів нечітких множин, що дозволило розробити математичну модель визначення класу захворювання, а потім, за допомогою прямого ланцюжка міркувань встановити передбачуваний діагноз як рекомендацію системи підтримки прийняття рішень. Завданнями дослідження було вивчення діагностики захворювань як інформаційного процесу, аналіз статистичних даних, опис, структурування та систематизація даних за допомогою елементів нечітких множин та розробка математичної моделі з використанням правил виведення. Результатом дослідження є інформація щодо встановлення належності представлених нездужань (симптомів) до класу захворювань.

Вхідна інформація: симптоми пацієнта – весь перелік симптомів, які присутні у пацієнта під час захворювання; дані про пацієнта для коректної

постановки діагнозу.

Механізми: база даних; програмний модуль діагностики захворювань – система підтримки прийняття рішень, за допомогою якої користувач може провести комп'ютерну діагностику захворювань.

База даних містить таку інформацію: статистичні дані про хворих за віковими групами; статистичні дані про хворих за первинними симптомами; статистичні дані про хворих з можливих причин виникнення захворювання; список класів захворювань; список захворювань; список симптомів; перелік причин виникнення захворювань; вікова шкала.

Управління процесом:

- прямий ланцюжок міркувань – це реалізація бази знань клінічних досліджень діагностики захворювань;

- модель нечіткого висновку – це правила виведення класу захворювання з використанням статистичних даних. У рамках роботи розглядається лише потік управління, пов'язаний із розробкою моделі підтримки прийняття рішення на основі нечіткої логіки та статистичних даних.

Вихідною інформацією є можливий діагноз – виведення певного захворювання як результат обробки даних пацієнта.

Постановку діагнозу сформульовано як механізм вибору на множині Y з урахуванням нечіткої логіки. Ступінь належності деякого значення обчислюється як відношення числа експериментів, в яких воно зустрічалося в певному інтервалі шкали, до максимального для цього значення кількості експериментів по всіх інтервалах

Нечітка композиція базується на типових операціях:

- операція логічної кон'юнкції використовується для того, щоб визначити ступінь належності симптому або захворювання пацієнта до області захворювання (наприклад, вікове захворювання або інфекційне).

- операція логічної диз'юнкції використовується визначення максимального значення оцінки ступеня належності симптому до області захворювання.

Модель звужує область захворювань та відсіює кількість симптомів. Крім

цього, вона з достатнім ступенем ймовірності первинних симптомів дозволяє вказати належність стану пацієнта до певного класу захворювання.

В роботі [11] досліджуються нечіткі класифікатори у діагностиці серцево-судинних захворювань.

Автори роботи описали нечіткий класифікатор визначення ризику ішемічної хвороби серця, який включає 44 правила. Вхідними ознаками є холестерин, артеріальний тиск, фізична активність, вік, індекс маси тіла (ІМТ), куріння та діабет. Класифікатор визначає три класи ризику захворювання:

- здоровий (healthy)
- початкова стадія (early-stage)
- прогресуюча стадія (advanced-stage).

Нечіткий класифікатор показав точність передбачення ішемічної хвороби серця на рівні 99,3%.

D. Pal та співавтори [12] розробили нечітку експертну систему стратифікації ризику ішемічної хвороби серця з використанням клінічної та первинної інформації від пацієнтів.

Нечіткі правила та фактори ризику сформовані методом багатоетапного структурованого інтерв'ю з лікарями-кардіологами. Виявлено наступні фактори ризику: вік, куріння, ожиріння (ІМТ), гіпертонія (сistolічний артеріальний тиск – САТ, діастолічний артеріальний тиск – ДАТ), діабет (рівень цукру в крові натще – УЦК), ліпідний профіль (ОХС, ЛПНГ, ЛПВЩ, ТГ), біль у грудях.

Вихідною змінною є нечітка змінна «ризик», яка приймає нечіткі значення: низький; середній; високий.

Ці нечіткі значення визначаються також трапецієподібною функцією належності, що відповідає чіткому значенню відсотка ризику. Діапазони кожної змінної ризику визначаються як низький ризик [0-30%], середній ризик [30-55%] та високий ризик [55-100%].

Точність класифікації нечіткої експертної системи – 84,2%.

В роботі [13] пропонується рішення із застосування теорії нечіткої логіки для діагностики і оцінки професійної придатності учнів.

Зіткнувшись у процесі професійної орієнтації учнів з оцінкою їхньої

професійної придатності до тієї чи іншої професії, вчителі оперують даними, які мають деяку частку невизначеності у зв'язку з лінгвістичною неоднозначністю, формалізацією критеріїв оцінки, несуворими межами опису різних ознак. У зв'язку з цим висновки про профпридатності можуть мати достатню міру неточності. У цих обставинах доцільним стало використання теорії нечіткої логіки в оцінці професійної придатності школярів, яка дозволяє оперувати нечіткими вхідними даними, а також дає можливість формалізації критеріїв оцінки та порівняння в умовах невизначеності інформації. У роботі наведено алгоритм застосування цієї теорії для оцінки професійної придатності школярів, який базується на виконанні таких етапів:

1. Визначення професійно-важливих якостей, відповідних конкретній професії, виходячи з яких робиться висновок про профпридатності особистості до професії.

2. Діагностика учня та представника відповідної професії (для отримання можливості проведення порівняльного аналізу) на наявність у них професійно-важливих якостей. Для забезпечення можливості застосування апарату нечіткої логіки у вирішенні поставленої задачі, результати кожної з діагностичних методик наводяться в порівняний вигляд (до значень від 0 до 1, де 0 – якість відсутня абсолютно; 1 – діагностована якість присутня в повній мірі).

3. Визначення ступеня значущості кожної з професійно-важливих якостей. Для найточнішого результату організується експертна група, що з кількох представників цієї професії, які ранжують запропоновані їм професійно-важливі якості залежно від своїх значимості. Кількість балів шкали оцінок дорівнює кількості професійно-важливих якостей. Підсумковий ступінь значущості ($p(x)$) визначається як середньоарифметичні значення.

4. Розрахунок чисельного значення рівня професійної придатності учня до заданої професії.

5. Розрахунок чисельного значення рівня професійної придатності представника заданої професії.

6. Визначення рівня професійної придатності та розрахунок їх межі.

7. Приведення чисельного показника рівня професійної придатності учня

та професіонала у відсотки.

8. Подання описаних рівнів професійної придатності характерними функціями приналежності лінгвістичних змінних.

9. Визначення рівня професійної придатності учня до конкретної професії.

В роботі [7] описано метод кластеризації діагностичних даних із застосуванням нечітких множин.

Авторами наведено комплексний метод аналізу часових рядів, заснований на застосуванні методу нечітких множин, фракталів та вейвлет-аналізу, при вирішенні завдань діагностики технічних систем. Метод нечітких множин використовується для кластеризації діагностичних даних, оброблених із застосуванням вейвлет-перетворень, а фрактальний аналіз служить для визначення необхідної кількості кластерів.

Представлений метод (аналіз вібраційного стану об'єкта діагностики) складається з кластеризації даних (за методом нечітких множин), отриманих за допомогою вейвлет-перетворення. Кількість кластерів, що аналізуються, визначається за допомогою кореляційної розмірності часового ряду. Наведений в роботі приклад ілюструє можливості методу та його чутливість на зміни миттєвих частотних та енергетичних характеристик ряду, а підбір відповідних критеріїв оцінки кластерів дозволить отримати хороший інструмент для розробки нових підходів до вирішення завдання щодо визначення ймовірності виникнення відмов у технічних системах за даними вібродіагностики.

В роботі [14] приводяться результати дослідження щодо використання нечіткої логіки для діагностики технічного стану об'єкту.

Передбачається, що є об'єкт, технічний стан якого характеризується набором діагностичних параметрів. За значеннями цих параметрів необхідно оцінити, в якому стані знаходиться об'єкт: справний або несправний. Ця задача може бути вирішена, наприклад, методами машинного навчання. Однак проблема полягає в тому, що не можна заздалегідь визначити, який із методів машинного навчання забезпечить коректне вирішення задачі.

Для перетворення чітких вхідних значень діагностичних параметрів

об'єкта на нечіткі вихідні, що характеризують технічний стан об'єкта, використовується алгоритм нечіткого логічного висновку Мамдані. Для оцінки ефективності використання нечіткої логіки для діагностики технічного стану об'єктів при двох значеннях вихідної змінної використовуються критерії якості бінарної класифікації: F-міра та критерій AUC.

Ефективність пропонованого підходу показана на прикладі діагностики технічного стану об'єкта за вісьмома заданими параметрами його функціонування з використанням нечіткої логіки, а також базовими методами машинного навчання (логістична регресія, дискримінантний аналіз та наївний байєсовський класифікатор). Показано, що застосування нечіткої логіки дозволяє підвищити точність технічної діагностики на 5-8% порівняно з базовими методами машинного навчання.

Для опису параметрів функціонування об'єкта (вхідних змінних) вводиться лінгвістична змінна, що приймає два нечіткі значення «відмінно» і «погано». Змінній присвоюється нечіткий терм «відмінно», якщо значення параметра об'єкта, що реєструється, знаходиться у відрізку допустимих значень. Якщо значення параметра виходить за критичні межі, то лінгвістична змінна набуває значення «погано». Критичні межі діагностичних параметрів визначаються експертом.

Для опису термів лінгвістичної перемінної діагностичних параметрів об'єкта вводяться функції приналежності.

Для терму «відмінно» застосовується z-подібна функція приналежності:

$$\mu_z = \begin{cases} 1, x \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2, \frac{a+b}{2} < x < b \\ 0, b \leq x \end{cases}$$

Для терму «погано» застосовується s-подібна функція приналежності:

$$\mu_s = \begin{cases} 0, x \leq a \\ 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1-2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2, \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1, b \leq x \end{cases}$$

Логіка складання бази знань наступна. Передбачається, що якщо значення хоча б одного з параметрів виходить за критичні межі, то діагностується несправний стан об'єкта, якщо значення всіх параметрів знаходяться в області допустимих значень, діагностується справний стан об'єкта.

Для перетворення чітких вхідних значень на нечіткі вихідні використовується алгоритм нечіткого логічного висновку Мамдані, який має такі кроки.

1. Фаззифікація чисельних значень параметрів об'єкта. Нехай вхідні змінні прийняли деякі конкретні (чіткі) значення $x_1, \dots, x_r$. До кожного з причин бази правил з допомогою функцій власності обчислюються дані ступеня істинності.

2. Логічний висновок. Для кожного правила системи нечіткого висновку, що включає передумови, пов'язані між собою за допомогою логічної операції «П», визначаються дані ступеня істинності висновків як мінімальне значення істинностей всіх його передумов.

3. Композиція. Нечіткі значення вихідної змінної кожного укладання бази правил об'єднуються у підсумкову нечітку підмножину з допомогою операції логічного максимуму ступенів істинності.

4. Визначення результату. З отриманої нечіткої множини значень змінної виходу методом лівого (правого) максимуму визначається кінцевий технічний стан об'єкта діагностування у вигляді визначення: «справний стан» або «несправний стан».

1.4 Постановка задачі

Мета кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні ефективності організації тестових випробувань ЦОБД за рахунок використання можливостей нечіткої логіки щодо формування найбільш прийнятного логічного висновку за умови нечіткості вихідних діагностичних даних.

Об'єктом дослідження є процес діагностування об'єктів цифрової електроніки.

Предметом дослідження є методи формування діагностичного висновку за умови нечіткості або недостатності вихідних діагностичних даних.

Щоб реалізувати програму для досліджень необхідно:

а) виявити аналогії методів та задач технічної діагностики й нечіткої логіки, що можуть бути використані у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування;

б) визначити основні положення методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки;

в) розробити математичну модель методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки;

г) здійснити алгоритмічну реалізацію методу;

д) провести апробацію дієвості прийнятих теоретичних і алгоритмічних рішень методу.

1.5 Висновки

Аналіз підходів і методів організації тестових випробувань цифрових об'єктів діагностування із дозволяє дійти ствердження, що досягнення у підвищенні інтегральної складності і функціональності цифрових компонентів та пристроїв, реалізованих на їх основі, мають негативні наслідки для організації діагностичних тестових випробувань. Це породжує інтерес до автоматизації процесів організації тестових випробувань ЦОБД із

застосуванням нових методів. У зв'язку з необхідністю урахування значної кількості факторів і параметрів та використання нетрадиційних підходів при реалізації тестів, найбільш актуальною на сьогодні є розробка інтелектуальних методів, технік та засобів вирішення діагностичних завдань, одним із різновидів яких є методи на основі нечіткої логіки.

Переваги нечіткої логіки як інструменту:

- простота та зрозумілість;
- нечітка логіка не вимагає точних вхідних даних;
- нечітка логіка не потребує точних міркувань або єдино прийнятних міркувань;
- нечітка логіка допомагає впоратися з невизначеністю в технічних системах;
- нечітка логіка ефективна і широко використовується в комерційних та практичних цілях;
- нечітка логіка допомагає контролювати машини та споживчі товари;
- нечітка логіка може працювати у ситуації, коли датчик зворотного зв'язку перестає працювати;
- нечітка логіка може легко змінюватися, щоб покращити чи змінити продуктивність системи;
- нечітка логіка може використовувати недорогі датчики, що допоможе знизити загальну вартість та складність системи;
- нечітка логіка забезпечує часто найбільш ефективне вирішення складних питань.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕТОДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЦИФРОВОГО ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

2.1 Визначення діагностичної складової математичної моделі

Базисом для ефективного вирішення поставленого в кваліфікаційній роботі завдання розробки методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки є визначення параметрів та апарату математичної моделі методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки повинна поєднувати в собі інструменти для відображення і обробки діагностичної складової та складової характерної для нечіткої логіки.

Першим кроком здійснюємо визначення елементів діагностичної складової математичної моделі методу.

Як визначалося в попередньому розділі, технічна діагностика дозволяє із заданою достовірністю розділяти несправні та справний стани об'єкта діагностування, а кінцева мета полягає у локалізації несправностей та у відновленні і найбільш тривалому підтриманні справного стану об'єкта. Результатом діагностування є висновок щодо ідентифікації технічного стану ЦОБД із зазначенням, за необхідності і можливості, місця, виду та причини дефекту. Число станів, які необхідно розрізняти в ході діагностування характеризується глибиною пошуку дефектів.

Глибина пошуку дефектів – ступінь деталізації результатів при технічному діагностуванні, що вказує з заданою точністю на складову частину об'єкта, де визначається місце несправності.

Намір отримати 100% покриття дефектів цілком виправданий, хоча на практиці рівень покриття несправностей є компромісом ряду факторів:

- вартість тестопридатного проектування пристрою;
- час і вартість розробки тестів;
- час і вартість прогону тесту і виконання супутніх діагностичних процедур.

Умови проведення тестового діагностування можуть включати залежно

від задач діагностики:

- склад діагностичних параметрів;
- гранично допустимі найменші та найбільші значення діагностичних параметрів;
- періодичність діагностування виробу;
- експлуатаційні параметри засобів, що застосовуються;
- параметри режиму технічного діагностування або контролю.

Діагностичним параметром є параметр, який використовується для визначення технічного стану об'єкта.

Під діагностичними параметрами загалом розуміють різноманітні репрезентативні параметри, за якими можна формулювати висновки про стан об'єкта. Розподіляють прямі та непрямі діагностичні параметри.

Прямі діагностичні параметри безпосередньо характеризують стан об'єкта.

Непрямі діагностичні параметри безпосередньо не характеризують стан об'єкта, але вони пов'язані із прямими параметрами функціональними залежностями.

При функціональній діагностиці об'єкта безпосередньо в процесі його роботи поряд з параметрами, що розглядаються окремо, можуть використовуватися також як ознака стану функціональні зв'язки (функціональні залежності) параметрів.

Технічне діагностування здійснюється в системі технічного діагностування, яка є сукупністю засобів та ЦОБД і при необхідності виконавців, підготовлена до діагностування та здійснює його за правилами, встановленими документацією.

Системи діагностування орієнтуються на вирішення однієї чи кількох задач:

- перевірки справності;
- перевірки працездатності;
- перевірки функціонування;
- пошук дефектів.

При цьому складовими системи діагностування є:

- об'єкт діагностування, під яким розуміють сам цей об'єкт або ж його складові, технічний стан яких підлягає визначенню;
- засоби технічного діагностування;
- сукупність додаткових вимірювальних приладів;
- засоби комутації та сполучення з об'єктом.

Щодо об'єкта технічного діагностування системи діагностування можуть:

- попереджати поступові відмови;
- виявляти явні відмови;
- виявляти неявні відмови;
- здійснювати пошук несправних вузлів, блоків, складальних одиниць тощо;
- локалізувати місце несправності.

Виходячи з цього уточнюємо елементи діагностичної складової математичної моделі методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки.

Метод організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки орієнтований на ідентифікацію стану об'єкта діагностування. Відповідно, в математичній моделі потрібні елементи для опису різноманіття станів об'єкта діагностування:

$$\text{STATES:}\{\text{State}_1, \text{State}_2, \dots, \text{State}_i, \dots, \text{State}_k\},$$

де STATES – множина, що містить перелік різноманітних технічних станів ЦОБД State_i .

Метод організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки реалізується як метод тестового діагностування, а значить математична модель має містити елементи для опису різноманіття розроблених тестів:

$$\text{TESTS:}\{\text{Test}_1, \text{Test}_2, \dots, \text{Test}_i, \dots, \text{Test}_m\},$$

де $TESTS$ – множина, що містить перелік тестів, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

Відповідно до орієнтації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки на тестове діагностування математична модель має містити елементи для опису різноманіття реакцій ЦОБД при використанні розроблених тестів:

$$REACTIONS: \{Reaction_1, Reaction_2, \dots, Reaction_i, \dots, Reaction_m\},$$

де $REACTIONS$ – множина, що містить перелік описів можливих (очікуваних від справного ЦОБД) відповідей (реакцій ЦОБД) на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

Окрім очікуваних від справного ЦОБД відповідей-реакцій $Reaction_i \in REACTIONS$ в процесі тестового діагностування завжди використовуються реальні відповіді-реакції ЦОБД на тести $Test_i \in TESTS$. Позначивши їх як $R(Test_i \in TESTS)$ ми можемо стверджувати про отримання в ході діагностування ЦОБД ще однієї множини діагностичних даних математичної моделі методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки:

$$R(TESTS): \{R(Test_1), R(Test_2), \dots, R(Test_i), \dots, R(Test_m)\},$$

де $R(TESTS)$ – множина, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

Для реалізації методу елементи $Reaction_i \in REACTIONS$, майже у всіх випадках, не є окремими векторами однократних відповідей-реакцій ЦОБД на

тест $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, а можуть поєднувати цілу послідовність таких векторів (для ЦОБД з трьома контрольованими точками-виходами, як приклад, при урахуванні для формування висновку десяти векторів одноразових реакцій, що знімаються з виходів ЦОБД при використанні тесту $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, розмірність векторів $\text{Reaction}_i \in \text{REACTIONS}$ і $R(\text{Test}_i \in \text{TESTS})$ буде дорівнювати тридцяти бітам, а за потреби виконати при використанні тесту $\text{Test}_j \in \text{TESTS}$ сто зчитувань з виходів ЦОБД розмір векторів $\text{Reaction}_i \in \text{REACTIONS}$ і $R(\text{Test}_i \in \text{TESTS})$ буде 300 біт).

Загалом, множина TESTS і множина REACTIONS повинна містити як мінімум такий набір тестів та можливих (очікуваних від справного ЦОБД) відповідей (реакцій ЦОБД), який дозволить встановити справність об'єкта діагностування. Такий набір даних є мінімально необхідним для реалізації тестування, яке ідентифікується як контроль працездатності об'єкта діагностування. Для ідентифікації різноманіття технічних станів ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$, зумовлених наявністю різних несправностей як поодиноких, так і кратних (декілька одразу), множина TESTS , що містить перелік тестів, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$, має бути суттєво доповнена (інколи навіть в рази). Аналогічного доповнення має зазнати множина REACTIONS , що містить перелік описів можливих відповідей (реакцій) на застосування тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$.

В той же час, множина REACTIONS , що містить перелік описів можливих відповідей (реакцій) на застосування тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, синтезованих для використання в ході ідентифікації справного технічного стану ЦОБД $\text{State}_s \in \text{STATES}$, може мати потенційну (нечітко виражену) можливість щодо обмеження (звуження) кола можливих несправностей, що і є напрямком застосування нечіткої логіки в даній роботі.

З'єднуючим елементом при розгляді вже включених до моделі складових в технічній діагностиці є бінарна матриця покриття CoatingMatrix розмірності

$|\text{TESTS}| \times |\text{STATES}|$, елементи якої CM_{ij} вказують на можливість тесту $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ активізовувати несправності, характерні для стану $\text{State}_s \in \text{STATES}$, про що можна здійснити висновок порівнянням значень $\text{Reaction}_i \in \text{REACTIONS}$ і $R(\text{Test}_i \in \text{TESTS})$:

$$\text{CoatingMatrix} = \begin{vmatrix} \text{CM}_{1,1} & \text{CM}_{1,2} & \dots & \text{CM}_{1,|\text{STATES}|} \\ \text{CM}_{2,1} & \text{CM}_{2,2} & \dots & \text{CM}_{2,|\text{STATES}|} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \text{CM}_{|\text{TESTS}|,1} & \text{CM}_{|\text{TESTS}|,1} & \dots & \text{CM}_{|\text{TESTS}|,|\text{STATES}|} \end{vmatrix} \quad (2.1)$$

$$\text{CM}_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \text{State}_j \in \text{STATES} \text{ не впливає на } R(\text{Test}_i) \in R(\text{TESTS}), \\ 1, & \text{якщо } \text{State}_j \in \text{STATES} \text{ впливає на } R(\text{Test}_i) \in R(\text{TESTS}). \end{cases} \quad (2.2)$$

У підсумок визначення елементів діагностичної складової математичної моделі методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки надамо перелік обраних складових:

- $\text{STATES}:\{\text{State}_1, \text{State}_2, \dots, \text{State}_i, \dots, \text{State}_k\}$ – множина, що містить перелік різноманітних технічних станів ЦОБД State_i ;
- $\text{TESTS}:\{\text{Test}_1, \text{Test}_2, \dots, \text{Test}_i, \dots, \text{Test}_m\}$ – множина, що містить перелік тестів, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$;
- $\text{REACTIONS}:\{\text{Reaction}_1, \text{Reaction}_2, \dots, \text{Reaction}_i, \dots, \text{Reaction}_m\}$ – множина, що містить перелік описів можливих (очікуваних від справного ЦОБД) відповідей (реакцій ЦОБД) на застосування тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$;
- $R(\text{TESTS}):\{R(\text{Test}_1), R(\text{Test}_2), \dots, R(\text{Test}_i), \dots, R(\text{Test}_m)\}$ – множина, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД

$State_i \in STATES;$

– CoatingMatrix – бінарна матриця покриття розмірності $|TESTS| \times |STATES|$, елементи якої CM_{ij} вказують на можливість тесту $Test_i \in TESTS$ активізовувати несправності стану $State_s \in STATES$.

2.2 Визначення складових нечіткої логіки в математичній моделі

Аналіз підходів і методів організації тестових випробувань цифрових об'єкті діагностування із дозволяє дійти ствердження, що досягнення у підвищенні інтегральної складності і функціональності цифрових компонентів та пристроїв, реалізованих на їх основі, мають негативні наслідки для організації діагностичних тестових випробувань. Це породжує інтерес до автоматизації процесів організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нових методів. У зв'язку з необхідністю урахування значної кількості факторів і параметрів та використання нетрадиційних підходів при реалізації тестів, найбільш актуальною на сьогодні є розробка інтелектуальних методів, технік та засобів вирішення діагностичних завдань, одним.

Одним із перспективних напрямків інтелектуалізації організації тестових випробувань цифрового пристрою як об'єкта тестового діагностування є застосування нечіткої логіки, що зумовлено, зокрема, потребою прийняття рішень в нечітких умовах, коли відповідні реакції ЦОБД не є однозначними для встановлення діагнозу.

Для реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки нам треба здійснити визначення елементів теорії нечіткої логіки математичної моделі методу.

Архітектурна модель нечіткої логіки (Fuzzy Logic) складається із чотирьох основних частин:

- із бази сформованих правил;
- із процедури фазифікації;

- із механізму логічного висновку;
- із процедури дефазифікації.

Отже, першочергово необхідно сформувати базу правил нечіткої моделі методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування. База правил містить усі правила та умови «якщо-то», які є запропонованими експертами для управління нечіткою системою прийняття рішень. Тобто, самі правила бази мають формуватися експертами-діагностами або на основі чи з урахуванням їх експертних знань щодо особливостей ЦОБД та його поведінки при кожному тестовому випробуванні з використанням тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$. Нам же належне завдання визначити загальні правила синтезу або формулювання експертних правил бази даних методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки.

Базу правил формуємо виходячи із постановки, що у нас є, як мінімум, повний комплект тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$, достатній для перевірки справності ЦОБД (ідентифікації справного стану ЦОБД $State_s \in STATES$ або, іншими словами, спростування за отримуваними сигналами відповідей-реакцій ЦОБД $R(Test_i \in TESTS)$ і, відповідно, для спростування гіпотез про перебування ЦОБД в кожному із несправних технічних станів $State_i \in STATES$, де $i \neq s$.

Якщо комплект тестів $Test_i \in TESTS$ є безнадлишковим для ідентифікації справного стану ЦОБД $State_s \in STATES$ і спростування гіпотез про перебування ЦОБД в кожному із несправних технічних станів $State_i \in STATES$ при $i \neq s$, то для контролю справності ЦОБД знадобиться використати всі тести $Test_i \in TESTS$ і перевірити на відповідність еталонним значенням, очікуваним від справного ЦОБД відповідей (реакцій ЦОБД), $Reaction_i \in REACTIONS$, реально отриманих при застосування тестів $Test_i \in TESTS$ відповідних реакцій $R(Test_i) \in R(TESTS)$.

Якщо комплект тестів $Test_i \in TESTS$ є надлишковим для ідентифікації справного стану ЦОБД $State_s \in STATES$, то для спростування гіпотез про перебування ЦОБД в кожному із несправних технічних станів $State_i \in STATES$ при $i \neq s$ буде достатньо використати лише частину тестів $Test_i \in TESTS$, що відкриває можливості на формування різних наборів тестів для досягнення мети і, як наслідок, до використання технологій оптимізації тестових послідовностей з метою отримання найкращою за заданими критеріями. Оскільки синтез і оптимізація тестових послідовностей не є предметом дослідження методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки, то деталізувати це питання не будемо. Зазначимо, що, якщо комплект тестів $Test_i \in TESTS$ є надлишковим для ідентифікації справного стану ЦОБД $State_s \in STATES$, то для виконання завдання буде використано частину тестів $Test_i \in TESTS$, а з цього слідує, що потрібно буде зробити аналогічну кількість перевірок на відповідність еталонним значенням, очікуваним від справного ЦОБД відповідей (реакцій ЦОБД), $Reaction_i \in REACTIONS$ реально отриманих при застосуванні тестів $Test_i \in TESTS$ відповідних реакцій $R(Test_i) \in R(TESTS)$.

Отже, в будь-якому разі, порівняння еталонів відповідних реакцій $Reaction_i \in REACTIONS$ і реально отриманих при застосування тестів $Test_i \in TESTS$ відповідних реакцій $R(Test_i) \in R(TESTS)$ має виконуватись лише тестів $Test_i \in TESTS$, що використані для практичного діагностування ЦОБД.

ЦОБД може бути визнаним справним, якщо для всіх використаних тестів $Test_i \in TESTS$ стосовно відповідних реакцій $Reaction_i \in REACTIONS$ і $R(Test_i) \in R(TESTS)$ буде виконуватись вимога:

$$Reaction_i = R(Test_i) \quad (2.4)$$

Якщо ж умова 2.4 не є дійсною хоча б стосовно одного задіяного в тестуванні ЦОБД тесту $Test_i \in TESTS$, то це свідчить про наявність некоректності в роботі ЦОБД, тобто, про наявність в ньому якихось

несправностей і перебування ЦОБД в певному несправному технічному стані $State_i \in STATES$.

В термінах нечіткої логіки зазначені правила можна сформулювати наступним чином.

Правило ідентифікації справного стану ЦОБД:

Rule₁: ЯКЩО $R(Test_1)=Reaction_1 \text{ I } R(Test_2)=Reaction_2 \text{ I } \dots \text{ I } R(Test_i)=Reaction_i \text{ I } \dots \text{ I } R(Test_m)=Reaction_m$ ТО Діагноз є "Справний стан".

Правило визнання несправного стану ЦОБД :

Rule₂: ЯКЩО $R(Test_1) \neq Reaction_1 \text{ АБО } R(Test_2) \neq Reaction_2 \text{ АБО } \dots \text{ АБО } R(Test_i) \neq Reaction_i \text{ АБО } \dots \text{ АБО } R(Test_m) \neq Reaction_m$ ТО Діагноз є "Несправний стан".

Слід відзначити, що правило Rule 2 використовується лише для визнання факту несправного стану ЦОБД, але не для ідентифікації певного несправного технічного стану $State_i \in STATES$.

З наведеного опису правила Rule 1 і Rule 2 витікають абсолютно логічно і можуть бути реалізовані математично, тому ґрунтувати математичну модель нечіткої логіки на них недоцільно і їх цінність для методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки є лише репрезентивною.

Більше зацікавлення викликає база правил, яка дозволить ідентифікувати з певною достовірністю несправний стан ЦОБД $State_i \in STATES$ при використанні тестової послідовності, не призначеної для ідентифікації цього стану. Наприклад, ідентифікувати з певною достовірністю несправний стан ЦОБД $State_i \in STATES$ при використанні тестової послідовності, орієнтованої на ідентифікацію справного стану $State_s \in STATES$ при $i \neq s$.

Саме задача ідентифікації стану ЦОБД за відсутності повної його перевірки відноситься до задач, що характеризується високим показником невизначеності і є полем застосування методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки.

При розгляді задачі ідентифікації стану ЦОБД за відсутності повної його перевірки будемо враховувати, що несправний ЦОБД реагує на різні тести $Test_i \in TESTS$ при перебуванні в різних станах $State_i \in STATES$ по різному, що і

дозволяє розрізняти ці стани та ідентифікувати стан ЦОБД або звузити кількість гіпотетично можливих станів ЦОБД.

Виходячи з положення, що в різних станах $State_i \in STATES$ ЦОБД реагує на різні тести $Test_i \in TESTS$ по різному, можна сформулювати гіпотезу, що кожному стану $State_i \in STATES$ при тестуванні ЦОБД тестами $Test_i \in TESTS$ може бути обмежений набір тестів, на яких ЦОБД буде видавати різні за характером відповідні реакції, які можна сприймати трьома способами:

- вірна відповідна реакція $R(Test_i) = Reaction_i$ (реакція відповідає справному стану, тобто, несправність, характерна для несправного стану $State_i \in STATES$, на тесті $Test_i \in TESTS$ не проявляється);

- невірна відповідна реакція $R(Test_i) \neq Reaction_i$ (реакція не відповідає справному стану, тобто, несправність, характерна для несправного стану $State_i \in STATES$ проявляється на тесті $Test_i \in TESTS$ викривленням вихідних сигналів ЦОБД);

- непередбачувана відповідна реакція – залежно від умов може отримуватись $R(Test_i) = Reaction_i$ або $R(Test_i) \neq Reaction_i$, але обидва варіанти не дають змоги робити висновок про прояв ознак саме несправності, що характерна для несправного стану $State_i \in STATES$.

Перші два види ($R(Test_i) = Reaction_i$ або $R(Test_i) \neq Reaction_i$) реагування ЦОБД на тести $Test_i \in TESTS$ повинні враховуватись при формуванні правил нечіткої моделі, тоді як непередбачуваність може ігноруватися або навпаки, розглядатися в обох варіантах, що значно збільшить кількість правил бази.

База правил методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки може розростатися, якщо враховувати можливість різної поведінки ЦОБД при тестуванні залежно від особливостей додаткових параметрів і факторів тестового процесу.

Розглянемо принципи формування правил за чітко визначеними реакціями $R(Test_i) = Reaction_i$ або $R(Test_i) \neq Reaction_i$.

Нехай експертами визначено, що для стану $State_1 \in STATES$ на наборі з 6 тестів $Test_i \in TESTS$ вірна відповідна реакція $R(Test_i) = Reaction_i$ очікується на

тестах $Test_1 \in TESTS$, $Test_2 \in TESTS$, $Test_3 \in TESTS$ і невірна відповідна реакція $R(Test_i) \neq Reaction_i$ очікується на тестах $Test_4 \in TESTS$ і $Test_6 \in TESTS$; для стану $State_2 \in STATES$ вірна відповідна реакція $R(Test_i) = Reaction_i$ очікується на тестах $Test_1 \in TESTS$, $Test_2 \in TESTS$ і невірна відповідна реакція $R(Test_i) \neq Reaction_i$ очікується на тестах $Test_3 \in TESTS$ і $Test_6 \in TESTS$; для стану $State_2 \in STATES$ вірна відповідна реакція $R(Test_i) = Reaction_i$ очікується на тестах $Test_4 \in TESTS$, $Test_6 \in TESTS$ і невірна відповідна реакція $R(Test_i) \neq Reaction_i$ може виникати на тесті $Test_2 \in TESTS$ або $Test_3 \in TESTS$ або на обох цих тестах. Всі незгадані в описі тести для кожного окремо взятого стану відносяться до третього типу – непередбачувана відповідна реакція.

Тоді ми отримаємо три правила для вказаних описів.

Для стану $State_1 \in STATES$:

Rule₃: ЯКЩО $R(Test_1) = Reaction_1$ І $R(Test_2) = Reaction_2$ І $R(Test_3) = Reaction_3$ І $R(Test_4) \neq Reaction_4$ І $R(Test_6) \neq Reaction_6$ ТО Діагноз є "Підозра на несправний стан $State_1 \in STATES$ ".

Для стану $State_2 \in STATES$:

Rule₄: ЯКЩО $R(Test_1) = Reaction_1$ І $R(Test_2) = Reaction_2$ І $R(Test_3) \neq Reaction_3$ І $R(Test_6) \neq Reaction_6$ ТО Діагноз є "Підозра на несправний стан $State_2 \in STATES$ ".

Для стану $State_3 \in STATES$:

Rule₅: ЯКЩО $R(Test_4) = Reaction_4$ І $R(Test_6) = Reaction_6$ І ($R(Test_2) = Reaction_2$ АБО $R(Test_3) \neq Reaction_3$ АБО $R(Test_2) = Reaction_2$ І $R(Test_3) \neq Reaction_3$) ТО Діагноз є "Підозра на несправний стан $State_3 \in STATES$ ".

Сукупність сформованих для використання при реалізації методу правил Rule_i утворить базу правил, яку в моделі ідентифікуємо як множину:

$$RULES: \{Rule_1, Rule_2, \dots, Rule_i, \dots, Rule_w\},$$

де RULES – множина, що містить перелік правил, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

Як буде показано при деталізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки, за різних обставин різним станам $State_i \in STATES$ може відповідати різна кількість правил, а також правила різних станів можуть повністю або частково дублюватися або поглинатися. За таких умов розрізнення станів ускладнюється через відсутність чітких ознак для спростування гіпотез про певні стани і надання пріоритету щодо вибору інших.

Для вибору пріоритетного стану і прийняття вірного рішення щодо діагнозу в нечітких умовах застосування методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки необхідно перейти до процедури фаззифікації.

Фаззифікація допомагає конвертувати вхідні чіткі дані в нечіткі. Чіткими виходами для методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки є відповідні реакції ЦОБД $R(Test_i) \in R(TESTS)$, а також елементи $Reaction_i$ множини $REACTIONS$, що містить перелік описів можливих (очікуваних від справного ЦОБД) відповідей (реакцій ЦОБД) на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

Нам необхідно визначити в межах методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки принципи фаззифікації, які дозволять конвертувати перелічені вхідні чіткі дані в нечіткі.

Нечіткість виникає щодо ідентифікації несправного стану $State_i \in STATES$ в процесі діагностування, якщо застосовуваний набір тестів $Test_i \in TESTS$ не призначений для ідентифікації цього стану за будь-яких причин.

Найпростішим варіантом для визнання приналежності поточного стану ЦОБД певній категорії станів $State_i \in STATES$ і подальшого висновку про надання пріоритету щодо факту ідентифікації певного стану $State_i \in STATES$, за відсутності статистичних та експертних даних, є використання чисельного показника кількості попадання кожного стану $State_i \in STATES$ в число підозрюваних при застосовуванні набору тестів $Test_i \in TESTS$. Оскільки

кількість тестів, на яких проявляється несправність, характерна для кожного несправного технічного стану $State_i \in STATES$, не є однаковою (для різних $State_i \in STATES$ кількість тестів і умови покриття можуть бути різними, як видно з правил Rule 3-Rule 5) як і кількість самих правил, що теж має враховуватись.

Аналіз показує, що, за відсутності статистичних та експертних даних, в якості чисельного показника кількості попадання кожного стану $State_i \in STATES$ в число підозрюваних може бути використано значення, яке визначає співвідношення кількості правил нечіткої моделі, що підтверджують можливість перебування ЦОБД в несправному технічному стані $State_i \in STATES$ за результатами застосування набору тестів $Test_i \in TESTS$ (враховуються реально отримані результати перевірки правил), до загальної кількості правил, що потенційно орієнтовані на підтвердження можливості перебування ЦОБД в несправному технічному стані $State_i \in STATES$ за результатами застосування того ж набору тестів $Test_i \in TESTS$.

Наприклад, якщо в нас для набору тестів $Test_i \in TESTS$ є 5 правил, що потенційно орієнтовані на підтвердження можливості перебування ЦОБД в несправному технічному стані $State_i \in STATES$, то вага кожного питання буде визначатися рівною 0.2, а перевірка всіх 5 правил нечіткої логіки дозволить вивести показник приналежності стану $State_i \in STATES$ до числа підозрюваних на ідентифіковані через суму ваг правил з вірними відповідями. Якщо для 5 правил з однаковими вагами рівними 0.2 після перевірки результатів застосування набору тестів $Test_i \in TESTS$ з вірними відповідями виявиться 3 правила, то показник приналежності стану $State_i \in STATES$ до числа підозрюваних на успішну ідентифікацію буде дорівнювати 0.6.

За умови наявності лише одного правила його ваговий коефіцієнт буде дорівнювати одиниці і, відповідно, при його виконанні технічний стан $State_i \in STATES$ буде автоматично попадати у число найбільш імовірних (якщо він буде єдиним з такою оцінкою, то, відповідно його буде класифіковано як найбільш імовірний стан з найбільшим показником імовірності ідентифікації стану ЦОБД).

Зазначений варіант оцінки показника приналежності станів $State_i \in STATES$ до категорії ідентифікованих є досить простим, але застосовуваним його можна вважати лише в елементарних діагностичних задачах, або за відсутності можливості отримати додаткові вхідні експертно-статистичні дані.

Процес ідентифікації будь-якого стану $State_i \in STATES$ на сьогоднішній день є надзвичайно складним і тому, як правило, базується на використанні статистичних і експертних оцінок та рекомендацій. Через це визначення ваги кожного питання набору тестів $Test_i \in TESTS$ у формуванні показника приналежності стану $State_i \in STATES$ категорії ідентифікованих при застосуванні методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки доцільно довірити саме експертам-діагностам, що володіють статистичними даними і власним досвідом.

Для реалізації експерименту згідно методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки введемо у модель матрицю вагових коефіцієнтів приналежності $MembershipMatrix$ розмірністю $|TESTS| \times |STATES|$, елементи якої MM_{ij} вказують нечіткий показник ефективності тесту $Test_i \in TESTS$ щодо ідентифікації стану $State_s \in STATES$:

$$MembershipMatrix = \begin{vmatrix} MM_{1,1} & MM_{1,2} & \dots & MM_{1,|STATES|} \\ MM_{2,1} & MM_{2,2} & \dots & MM_{2,|STATES|} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ MM_{|TESTS|,1} & MM_{|TESTS|,1} & \dots & MM_{|TESTS|,|STATES|} \end{vmatrix} \quad (2.5)$$

За умов використання експертних знань для визначення ваги кожного питання набору тестів $Test_i \in TESTS$ у формуванні показника приналежності стану $State_i \in STATES$ категорії ідентифікованих при застосуванні методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки виникає потреба зберігання отриманих чисельних значень, для чого в математичну модель методу введемо ще одну множину:

$$W(RULES): \{W(Rule_1), W(Rule_2), \dots, W(Rule_i), \dots, W(Rule_w)\},$$

$W(RULES)$ – множина, що містить чисельні значення екпертної або розрахункової оцінки ваги правил, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

За наявності можливості, кожне чисельне значення $W(Rule_k) \in W(RULES)$ оцінки ваги правил сформованої бази повинне формуватися експертом-діагностом або на основі відповідних екпертних знань. Якісна екпертна оцінка правил дасть максимальний ефект від використання методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки.

За відсутності можливості екпертної оцінки правил або за потреби проведення діагностичних випробувань ЦОБД без екпертної оцінки, множина $W(RULES)$ заповнюється розрахунковими чисельними значеннями $W(Rule_k) \in W(RULES)$ оцінки ваги правил, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

Розрахункові чисельні значеннями $W(Rule_k) \in W(RULES)$ оцінки ваги правил для кожного стану ЦОБД $State_i \in STATES$ визначаються за формулою:

$$W(Rule_k(State_i \in STATES)) = \frac{1}{|Rule_j(State_i \in STATES) \in RULES|}, \quad (2.6)$$

де $W(Rule_k(State_i \in STATES))$ – чисельне значення оцінки ваги правила $W(Rule_k) \in W(RULES)$, яке і розраховується; $|Rule_k(State_i \in STATES) \in RULES|$ – загальна кількість правил $Rule_k$ (де $k=1 \dots |RULES|$) в базі $RULES$, орієнтованих на ідентифікацію стану ЦОБД $State_i \in STATES$.

На значеннях $W(Rule_k) \in W(RULES)$ базується механізм логічного висновку. Механізм логічного висновку допомагає визначити ступінь відповідності нечітких введень фазифікації та правилам. На основі ступеня відповідності висновків визначає, які правила повинні бути реалізовані до заданого поля введення. За цим правила об'єднуються для рішення і вироблення

контрольних дій.

Фактично, для кожного тестового випробування з набору тестів $Test_i \in TESTS$ можна виділити набір технічних станів $State_i \in STATES$, для яких у відповідній реакції $R(Test_i) \in R(TESTS)$ відбудеться видозміна значень відносно еталонного значення відповіді-реакції ЦОБД $Reaction_i \in REACTIONS$. Відповідно, на основі подібних визначень формується база правил, що перетворює здатність тестів $R(Test_i) \in R(TESTS)$ в правила, з яких слідує рішення щодо ступеня приналежності кожного стану $State_i \in STATES$ категорії можливих (ідентифікованих).

Для перетворення нечітких множин у чітке значення виконується дефаззифікація. Є багато різновидів методів дефаззифікації, через що потрібно вибрати, який з них найкраще підходить для використання з нечіткою експертною системою.

Для нашого методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки пропонується найпростіший метод дефаззифікації через обчислення сумарного показника приналежності стану $State_i \in STATES$ до числа підозрюваних на успішну ідентифікацію як суми ваг однойменних показників для кожного правила з позитивним висновком за результатами його перевірки.

У підсумок визначення елементів нечіткої логіки математичної моделі методу надамо перелік обраних складових:

– $R(TESTS); \{R(Test_1), R(Test_2), \dots, R(Test_i), \dots, R(Test_m)\}$ – множина, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$;

– $MembershipMatrix$ – матриця вагових коефіцієнтів приналежності розмірністю $|TESTS| \times |STATES|$, елементи якої MM_{ij} вказують нечіткий показник ефективності тесту $Test_i \in TESTS$ щодо ідентифікації стану $State_s \in STATES$.

2.3 Висновки

За результати аналітики і досліджень в цьому розділі запропонована математична модель методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки, яка базується на положеннях технічної діагностики, теорії тестового діагностування, теорії нечіткої логіки, теорії множин.

Створення математичної моделі методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки здійснено в 2 етапи:

- визначення елементів діагностичної складової математичної моделі;
- визначення елементів теорії нечіткої логіки математичної моделі.

Таким чином, математична модель методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки поєднала в собі елементи технічної діагностики і нечіткої логіки.

Загальне представлення математичної моделі має вигляд.

$$M = \langle \text{STATES, TESTS, R}(\text{TESTS}), \text{REACTIONS, CoatingMatrix, RULES, W}(\text{RULES}), \text{MembershipMatrix, } \Delta W \rangle$$

Таким чином, математична модель містить необхідні інструменти і математичний апарат методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки для наступних етапів його реалізації:

- задання множин діагностичних даних;
- формулювання бази правил нечіткої логіки;
- фаззифікації;
- формування нечіткого висновку за умови відсутності статистичних та експертних діагностичних даних;
- формування нечіткого висновку за умови наявності статистичних та експертних діагностичних даних;
- дефаззифікації.

3 ОПИС МЕТОДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЦИФРОВОГО ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

3.1 Опис базових положень методу

Опис базових положень методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки розпочнемо з визначення мети і задач методу.

В технічній діагностиці і в реальному житті часто виникають ситуації, коли неможливо однозначно вирішити, є твердження істинним чи хибним. В таких ситуаціях нечітка логіка пропонує дуже цінну гнучкість міркувань.

Ще на початку дев'яностих років минулого віку з'явився інтерес до отримання нечітких методів управління, які потім і отримали назву «нечітка логіка управління». У зазначений час з'явилася (в основному в Японії) велика кількість електротехнічних та електронних застосувань у техніці, в яких були реалізовані методи управління нечіткого типу.

В умовах постійного і незупинного зростання складності цифрових електронних компонентів і пристроїв залишається актуальною проблема ефективної організації їхньої діагностики, для вирішення якої може застосовуватись теорія нечіткої логіки.

Виходячи з цього виникла задача розробки методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки. Основне призначення цього методу і мета кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування за рахунок використання можливостей нечіткої логіки щодо формування найбільш прийняттого логічного висновку за умови нечіткості вихідних діагностичних даних.

Метод організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки орієнтовано на застосування в сфері технічної діагностики ЦОБД, сама нечітка логіка при цьому є лише інструментом підвищення ефективності процедури досягнення мети в класичній задачі технічної діагностики -

ідентифікації стану ЦОБД, тому об'єктом дослідження в роботі постає процес діагностування об'єктів цифрової електроніки.

З іншого аспекту, метод організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки орієнтовано на забезпеченні можливості здійснення логічного висновку про стан ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки за умови нечіткості або недостатності вихідних діагностичних даних і виникає потреба дослідити властивості та можливості подібних методів, тому предметом дослідження є методи формування діагностичного висновку за умови нечіткості або недостатності вихідних діагностичних даних, до числа яких буде відноситися і створюваний метод.

Щоб реалізувати програму планованих досліджень вже виконано роботи:

- виявлено аналогії методів та задач технічної діагностики й нечіткої логіки, що можуть бути використані у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування;

- розроблено математичну модель методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки, яка базується на базових положеннях технічної діагностики, теорії тестового діагностування, теорії нечіткої логіки, теорії множин.

Також сформульовано основні визначення методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки: мету, предмет і об'єкт дослідження:

- мета полягає у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування за рахунок використання можливостей нечіткої логіки щодо формування найбільш прийнятного логічного висновку за умови нечіткості вихідних діагностичних даних.

- об'єктом дослідження є процес діагностування об'єктів цифрової електроніки.

- предметом дослідження є методи формування діагностичного висновку за умови нечіткості або недостатності вихідних діагностичних даних.

Подальший опис базових положень методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки робитимемо базуючись на

математичній моделі з розділу 2.

Для реалізації методу тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки необхідними вхідними даними є:

- множина STATES, що містить перелік різноманітних можливих технічних станів ЦОБД;

- множина TESTS, що містить перелік тестів, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$;

- множина REACTIONS, що містить перелік описів можливих (очікуваних від справного ЦОБД) відповідей (реакцій ЦОБД) на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$;

- множина $R(TESTS)$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

Множини різноманітних можливих технічних станів ЦОБД STATES, переліку синтезованих тестів TESTS і опису можливих (очікуваних від справного ЦОБД) відповідей (реакцій ЦОБД) є вхідними даними для проведення діагностичних випробувань над ЦОБД, а множина $R(TESTS)$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, є результатом проведення діагностичних випробувань над ЦОБД.

Для покращення результатів застосування методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки бажано і доцільно мати імовірнісні характеристики $p(State_i)$ можливості перебування ЦОБД в різноманітні технічних станів $State_i \in STATES$, що утворюють множину ROBABILITIES, але це не завжди можливе. Саме з цієї причини метод організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки передбачає можливість реалізації як із застосуванням даних множини

ROBABILITIES імовірнісних характеристик $p(\text{State}_i)$ можливості перебування ЦОБД в різноманітні технічних станів $\text{State}_i \in \text{STATES}$, так і за відсутності відповідних даних або за потреби реалізації діагностичних випробувань над ЦОБД без таких даних.

На старті роботи методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки необхідно сформуванати базу правил нечіткої логіки RULES, принципи формування якої розглядалися в математичній моделі цього методу.

Формування бази правил RULES виконуємо на основі положення, що в різних станах $\text{State}_i \in \text{STATES}$ ЦОБД реагує на різні тести $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ по різному і тому кожному стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$ при тестуванні ЦОБД тестами $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ може бути обмежений набір тестів, на яких ЦОБД буде видавати різні за характером відповідні реакції, які можна сприймати трьома способами:

- вірна відповідна реакція $R(\text{Test}_i) = \text{Reaction}_i$ (реакція відповідає справному стану, тобто, несправність, характерна для несправного стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$, на тесті $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ не проявляється);

- невірна відповідна реакція $R(\text{Test}_i) \neq \text{Reaction}_i$ (реакція не відповідає справному стану, тобто, несправність, характерна для несправного стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$ проявляється на тесті $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ викривленням вихідних сигналів ЦОБД);

- непередбачувана відповідна реакція – залежно від умов може отримуватись $R(\text{Test}_i) = \text{Reaction}_i$ або $R(\text{Test}_i) \neq \text{Reaction}_i$, але обидва варіанти не дають змоги робити висновок про прояв ознак саме несправності, що характерна для несправного стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$.

Перші два види ($R(\text{Test}_i) = \text{Reaction}_i$ або $R(\text{Test}_i) \neq \text{Reaction}_i$) реагування ЦОБД на тести $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ повинні враховуватись при формуванні правил нечіткої моделі, тоді як непередбачуваність може ігноруватися або навпаки, розглядатися в обох варіантах, що значно збільшить кількість правил бази.

Базові принципи формування правил за чітко визначеними реакціями $R(\text{Test}_i)=\text{Reaction}_i$ або $R(\text{Test}_i)\neq\text{Reaction}_i$ розглядалися на прикладах в розділі 2, тому узагальнимо їх.

Кожне правило $\text{Rule}_i \in \text{RULES}$ формується стосовно певного технічного стану ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$ експертами або на підставі експертних знань і повинне включати в себе всі чітко визначені ознаки прояву властивостей стану ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$ у реакціях $R(\text{Test}_i) \in R(\text{TESTS})$ на застосування кожного тесту $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, який ініціює прояв характерних ознак стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$, що визначається за реакціями ЦОБД $R(\text{Test}_i)=\text{Reaction}_i$ або $R(\text{Test}_i)\neq\text{Reaction}_i$.

Для подальшого вдосконалення методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки можливе застосування поглибленого аналізу особливостей реакцій $R(\text{Test}_i) \in R(\text{TESTS})$ при їх порівнянні з еталонами $\text{Reaction}_i \in \text{REACTIONS}$ аж до порозрядного порівняння і експертного аналізу, що не є завданням даної роботи і може бути предметом подальших досліджень.

В той же час можлива і доцільна деталізація правил $\text{Rule}_i \in \text{RULES}$ з метою збільшення точності експертної оцінки ваги правил щодо ідентифікації стану ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$ із подальшим виходом на більш точний логічний висновок. Деталізація правил $\text{Rule}_i \in \text{RULES}$ доцільна, якщо немає суттєвих обмежень на розміри бази правил RULES і правила є складними, що робить можливим замінити одне правило $\text{Rule}_i \in \text{RULES}$ декількома простішими без втрат у точності опису.

Розглянемо сказане на прикладі Rule_5 :

Rule_5 : ЯКЩО $R(\text{Test}_4)=\text{Reaction}_4$ І $R(\text{Test}_6)=\text{Reaction}_6$ І $(R(\text{Test}_2)=\text{Reaction}_2$ АБО $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$ АБО $R(\text{Test}_2)=\text{Reaction}_2$ І $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3)$ ТО Діагноз є "Підозра на несправний стан $\text{State}_3 \in \text{STATES}$ ".

В описі в дужках розміщена складна умова:

$$\begin{aligned} &R(\text{Test}_2)=\text{Reaction}_2 \text{ АБО } R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3 \text{ АБО} \\ &\text{АБО } R(\text{Test}_2)=\text{Reaction}_2 \text{ І } R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3, \end{aligned} \quad (4.1)$$

яка відображує різні варіанти спрацьовування правила Rule_5 за реакціями $R(\text{Test}_2)=\text{Reaction}_2$ і $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$.

Зазначені в (4.1) різні варіанти спрацьовування правила Rule_5 за реакціями $R(\text{Test}_2)=\text{Reaction}_2$ і $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$ можуть бути перетворені в набір спрощених правил, кожне з яких відноситься до окремого фрагменту складеної умови:

- Rule_6 : ЯКЩО $R(\text{Test}_4)=\text{Reaction}_4$ І $R(\text{Test}_6)=\text{Reaction}_6$ І
 $R(\text{Test}_2)=\text{Reaction}_2$ ТО Діагноз є "Підозра на несправний стан $\text{State}_3 \in \text{STATES}$ ";
- Rule_7 : ЯКЩО $R(\text{Test}_4)=\text{Reaction}_4$ І $R(\text{Test}_6)=\text{Reaction}_6$ І
 $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$ ТО Діагноз є "Підозра на несправний стан $\text{State}_3 \in \text{STATES}$ ";
- Rule_8 : ЯКЩО $R(\text{Test}_4)=\text{Reaction}_4$ І $R(\text{Test}_6)=\text{Reaction}_6$ І
 $R(\text{Test}_2)=\text{Reaction}_2$ І $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$ ТО Діагноз є "Підозра на несправний стан $\text{State}_3 \in \text{STATES}$ ".

Отримані правила є Rule_6 - Rule_8 є значно простішими за Rule_5 і заносяться до бази правил RULES не як доповнення, а саме в заміну правила Rule_5 .

Сукупність сформованих і деталізованих за описаними принципами для використання при реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки правил Rule_i утворить цільову базу правил RULES.

Особливістю отримуваної при деталізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки так цільової бази правил RULES є те, що за різних обставин різним станам $\text{State}_i \in \text{STATES}$ може відповідати різна кількість правил, а також правила різних станів можуть повністю або частково дублюватися або поглинатися. За таких умов розрізнення станів ускладнюється через відсутність чітких ознак для спростування гіпотез про певні стани і надання пріоритету щодо вибору інших.

Для досягнення максимальної ефективності застосування бази правил RULES при реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки доцільно використовувати показник ваги (вагомості або достовірності) кожного правила $\text{Rule}_i \in \text{RULES}$ для ідентифікації

стану $State_k \in STATES$, з яким пов'язане це правило $Rule_i \in RULES$, у порівнянні із іншими правилами $Rule_j \in RULES$, пов'язаними з тим самим станом $State_k \in STATES$. Ці показники оцінювання вагомості формуються експертами і утворюють базу вагових коефіцієнтів правил (множину значень $W(RULES)$), сумарне значення вагових коефіцієнтів в якій для правил, що сформульовані для одного питання $State_k \in STATES$ може бути рівним або меншим за одиницю.

Саме якісна експертна оцінка правил дасть максимальний ефект від використання методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки.

За відсутньої можливості експертної оцінки правил або за потреби проведення діагностичних випробувань ЦОБД без експертної оцінки, множина $W(RULES)$ заповнюється розрахунковими чисельними значеннями $W(Rule_k) \in W(RULES)$ оцінки ваги правил, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$ за методом.

Розрахункові чисельні значення $W(Rule_k) \in W(RULES)$ оцінки ваги правил для кожного стану ЦОБД $State_i \in STATES$ визначаються за формулою (2.6).

Значення $W(Rule_k) \in W(RULES)$ є основою формування логічного висновку при використанні правил одразу з чисельною оцінкою гіпотез приналежності результату стосовно підозри на перебування ЦОБД в технічному стані $State_i \in STATES$, з яким пов'язане правило $Rule_k \in RULES$.

Наприклад, якщо всі попередньо формованих нами правила $Rule_1$ - $Rule_8$ об'єднати в множину $RULES$:

$RULES: \{Rule_1, Rule_2, Rule_3, Rule_4, Rule_5, Rule_6, Rule_7, Rule_8\}$,

і для цієї множини використати експертні оцінки ваги правил $W(Rule_k) \in W(RULES)$ з множини значень:

$RULES: \{1.0, 1.0, 0.8, 0.5, 0.9, 0.3, 0.4, 0.2\}$,

то раніше сформовані правила $Rule_k \in RULES$ можна представити в уточненому вигляді:

– Rule₁: ЯКЩО $R(Test_1)=Reaction_1$ І $R(Test_2)=Reaction_2$ І ... І $R(Test_i)=Reaction_i$ І ... І $R(Test_m)=Reaction_m$ ТО Діагноз є "Справний стан з приналежністю 1.0";

– Rule₂: ЯКЩО $R(Test_1) \neq Reaction_1$ АБО $R(Test_2) \neq Reaction_2$ АБО ... АБО $R(Test_i) \neq Reaction_i$ АБО ... АБО $R(Test_m) \neq Reaction_m$ ТО Діагноз є "Несправний стан з приналежністю 1.0";

– Rule₃: ЯКЩО $R(Test_1)=Reaction_1$ І $R(Test_2)=Reaction_2$ І $R(Test_3)=Reaction_3$ І $R(Test_4) \neq Reaction_4$ І $R(Test_6) \neq Reaction_6$ ТО Діагноз є "Несправний стан $State_1 \in STATES$ з приналежністю 0.8";

– Rule₄: ЯКЩО $R(Test_1)=Reaction_1$ І $R(Test_2)=Reaction_2$ І $R(Test_3) \neq Reaction_3$ І $R(Test_6) \neq Reaction_6$ ТО Діагноз є "Несправний стан $State_2 \in STATES$ з приналежністю 0.5";

– Rule₅: ЯКЩО $R(Test_4)=Reaction_4$ І $R(Test_6)=Reaction_6$ І $(R(Test_2)=Reaction_2$ АБО $R(Test_3) \neq Reaction_3$ АБО $R(Test_2)=Reaction_2$ І $R(Test_3) \neq Reaction_3)$ ТО Діагноз є "Несправний стан $State_3 \in STATES$ з приналежністю 0.9";

– Rule₆: ЯКЩО $R(Test_4)=Reaction_4$ І $R(Test_6)=Reaction_6$ І $R(Test_2)=Reaction_2$ ТО Діагноз є "Несправний стан $State_3 \in STATES$ з приналежністю 0.3";

– Rule₇: ЯКЩО $R(Test_4)=Reaction_4$ І $R(Test_6)=Reaction_6$ І $R(Test_3) \neq Reaction_3$ ТО Діагноз є "Несправний стан $State_3 \in STATES$ з приналежністю 0.4";

– Rule₈: ЯКЩО $R(Test_4)=Reaction_4$ І $R(Test_6)=Reaction_6$ І $R(Test_2)=Reaction_2$ І $R(Test_3) \neq Reaction_3$ ТО Діагноз є "Несправний стан $State_3 \in STATES$ з приналежністю 0.2".

В наведеному наборі правил $RULES$ спеціально залишене правило $Rule_5 \in RULES$, з якого отримані правила є Rule₆-Rule₈ і вони мали бути

включені до бази правил RULES саме в заміну правила Rule₅. Це зроблено для того, щоб продемонструвати, що значення 0.9 сумарного показника приналежності діагнозу «Несправний стан State₃ ∈ STATES» для правил Rule₆-Rule₈ відповідає аналогічному показнику для узагальнюючого правила Rule₅ ∈ RULES, але використання трьох елементарних правил є більш гнучким, оскільки при спрацьовуванні частини з них буде отриманий менший сумарний показник за показник для правила Rule₅ ∈ RULES, яке буде давати завжди показник 0.9 за дійсності хоча б одного з складових до нього правил Rule₆-Rule₈.

Також слід відзначити взаємну суперечливість частини правил Rule_i ∈ RULES, що унеможлиблює одночасне спрацьовування їх всіх. Так, правило Rule₁ ∈ RULES може спрацювати лише саме, оскільки воно єдине, що описує справний стан ЦОБД, і будь-яка несправність порушить істинність цього правила.

Інша сторона – поглинання правил, що зумовлює подібні умови спрацьовування або спрямованість на однакові стани. З розглянутого прикладу вже було видно можливість поглинання правилом Rule₅ ∈ RULES сукупності правил Rule₆-Rule₈ з тієї ж множини RULES, через що правило Rule₅ ∈ RULES, яке повністю покривається іншими правилами і не несе додаткової практичної цінності має бути вилучене з бази правил RULES як надлишкове.

Правило Rule₂ ∈ RULES, сформоване для фіксації будь-якої несправності, буде дійсним за спрацьовування будь-якого наступного правила, що є орієнтованими на ідентифікацію окремих несправних станів State_i ∈ STATES. Правило Rule₂ ∈ RULES може бути теж вилучене з бази правил RULES як надлишкове за умови, що всі стани можуть бути відокремлені від справного стану за іншими правилами Rule_i ∈ RULES. Якщо ж частина несправних станів State_i ∈ STATES не описується правилами Rule_i ∈ RULES, то Rule₂ ∈ RULES, сформоване для фіксації будь-якої несправності, потрібно залишити, але його можна спростити до виправданих метою і експертною оцінкою варіантів.

Правило Rule₁ ∈ RULES, що описує справний стан ЦОБД) і порушується

за будь-якої несправності, і протилежне правило $\text{Rule}_2 \in \text{RULES}$, сформоване для фіксації будь-якої несправності, є найбільш чіткими і тому мають найбільші показники оцінки вагомості $W(\text{Rule}_k) \in W(\text{RULES})$. Інші вагові оцінки менші, але можуть існувати ще правила високої достовірності з максимально високими показниками оцінки вагомості.

На значеннях $W(\text{Rule}_k) \in W(\text{RULES})$ базується механізм логічного висновку, а також ці значення є основою етапу дефазифікації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки. Для перетворення нечітких множин у чітке значення виконується дефазифікація. Є багато різновидів методів дефазифікації, через що потрібно вибрати, який з них найкраще підходить для використання з нечіткою експертною системою.

Для нашого методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки пропонується найпростіший метод дефазифікації через обчислення сумарного показника приналежності стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$ до числа підозрюваних на успішну ідентифікацію як суми ваг однойменних показників для кожного правила з позитивним висновком за результатами його перевірки.

Дефазифікація полягає у визначенні оціночних значень приналежності стану ЦОБД кожному із станів $\text{State}_i \in \text{STATES}$ і здійснюється визначенням сумарних показників оцінок $W(\text{Rule}_k) \in W(\text{RULES})$ для кожного стану після застосування і підтвердження дієвості (здійснення умов) правил.

На основі значень $W(\text{State}_i \in \text{STATES})$ множина STATES розподіляється на можливі і неможливі стани ЦОБД. Якщо всі стани $\text{State}_i \in \text{STATES}$ крім одного $\text{State}_k \in \text{STATES}$ мають нульовий рейтинг ваги $W(\text{State}_i \in \text{STATES})$, то робиться логічний висновок про ідентифікацію зазначеного стану $\text{State}_k \in \text{STATES}$ і дефазифікація дає імовірність знаходження ЦОБД у стані з високим значенням $\text{State}_k \in \text{STATES}$ рівною одиниці. Аналогічний висновок може бути зроблений, якщо значення $W(\text{State}_k \in \text{STATES})$ для одного стану $\text{State}_k \in \text{STATES}$ значно перевищує аналогічні показники $W(\text{State}_i \in \text{STATES})$ для інших станів $\text{State}_i \in \text{STATES}$. Якщо ж розрив значень $W(\text{State}_i \in \text{STATES})$ для

всіх або певних станів $State_i \in STATES$ є невеликим, то може бути зроблений висновок про знаходження ЦОБД в певному стані лише з певним ступенем імовірності або може бути зроблено розподіл множини станів на нечіткі підмножини з різними імовірностями дійсності гіпотези щодо знаходження ЦОБД у станах цих підмножин.

Для уточнення оцінки можливості знаходження ЦОБД у станах $State_i \in STATES$ при нечіткому розподілі цих станів на підмножини в якості уточнення оцінок дефазифікації можуть використовуватись статистичні дані множини $PROBABILITIES$, що містить імовірнісні характеристики можливості перебування ЦОБД в різноманітні технічних станів $State_i \in STATES$.

3.2 Опис алгоритмічної реалізації методу

Опис алгоритмічної реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки робимо у відповідності до визначених у попередньому підрозділі базових положень методу.

В реалізації методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки можна виділити два основних етапи:

- реалізація тестових випробувань ЦОБД;
- формування висновку щодо приналежності отриманих відповідей-реакцій ЦОБД можливим його технічним станам.

Обидва цих етапи складається з сукупності підетапів, кожен з яких має спец особливості алгоритмічної реалізації і оперує з певними вхідними даними і формує власні вихідні дані, які можуть бути фінальними в процесі і вхідними в наступному.

Розглянемо специфіку реалізація тестових випробувань ЦОБД у відповідності до визначених у попередньому підрозділі базових положень і потреб методу.

У методі організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням

нечіткої логіки будемо спиратися на найпростішу модель алгоритму діагностування. Алгоритм технічного діагностування розглядаємо в найкласичнішому варіанті як сукупність інструкцій про порядок проведення тестових випробувань, в якій чітко визначено набір і послідовність подання на ЦОБД тестів, який є безумовним (не змінюється залежно від умов проходження тесту і особливостей відповідей-реакцій ЦОБД) і сталим. В процесі діагностування отримуються і накопичуються відповіді-реакції ЦОБД, які піддаються аналізу з метою прийняття рішення про ідентифікацію стану ЦОБД або про застосування наступного тесту, уточнюючого недостатні результати для прийняття рішення.

Для проведення діагностування нам потрібна тестова послідовність, яку в математичній моделі методу ми визначили як множину TESTS, що містить перелік тестів, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів об'єкта діагностування.

Тестова послідовність TESTS подається на ЦОБД, а з контрольних точок ЦОБД зчитуються відповіді-реакції, які накопичуються і утворюють множину $R(TESTS)$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації технічних станів ЦОБД.

Отримувана множина $R(TESTS)$ відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$ і є шуканим виходом діагностичного експерименту.

Таким чином, є можливість дати опис алгоритму діагностування (етап тестування) згідно методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки.

Алгоритм 3.1. Узагальнений алгоритм реалізації тестових випробувань.

3.1.1. Ввести опис тесту – множину TESTS, що містить перелік тестів $Test_i \in TESTS$ у послідовності, відповідній потребам експерименту.

3.1.2. Ініціювати лічильник використаних тестів: $i=1$.

3.1.3. Обрати тест $Test_i \in TESTS$.

3.1.4. Виконати $Test_i \in TESTS$.

3.1.5. Зафіксувати відповіді-реакції ЦОБД $R(\text{Test}_i)$ на тест $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$.

3.1.6. Занести отримані відповіді-реакції ЦОБД $R(\text{Test}_i)$ до множини $R(\text{TESTS})$, що накопичує перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$.

3.1.7. Збільшити лічильник використаних тестів: $i = i + 1$.

3.1.8. Перевірити умову наявності ще не використаних тестів $i \leq |\text{TESTS}|$.

3.1.9. Якщо $i \leq |\text{TESTS}|$ (не всі тести виконано), перейти до п.3.1.3.

3.1.10. Кінець алгоритму.

Результати тестових перевірок у вигляді множини $R(\text{TESTS})$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, переходять на наступний етап діагностичного процесу – у систему обробки і прийняття рішень, де піддаються аналізу з метою прийняття рішення про ідентифікацію стану ЦОБД або про застосування наступного тестового набору, уточнюючого недостатні результати для прийняття рішення для ідентифікації стану ЦОБД.

Саме цей етап потребує застосування інтелектуальних засобів обробки даних і прийняття рішень і базується на теорії нечіткої логіки в межах методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки.

Оскільки наступні описи стосуються застосування в методі нечіткої логіки, вони будуть містити характерні для цієї теорії етапи:

- процедура (алгоритм) фазифікації;
- процедура (алгоритм) логічного висновку;
- процедура (алгоритм) дефазифікації.

Чіткими виходами для методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки є відповідні реакції ЦОБД $R(\text{Test}_i) \in R(\text{TESTS})$, а також елементи Reaction_i множини REACTIONS , що містить перелік описів можливих (очікуваних від справного ЦОБД) відповідей (реакцій ЦОБД) на застосування тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$. Також до

чітких виходів методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки слід віднести сама множина $STATES$, що містить перелік різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i$, а також матрицю покриття $CoatingMatrix$ технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$ застосуванням набору тестів $Test_i \in TESTS$.

Першою йде процедура (алгоритм) фаззифікації, яка має конвертувати вхідні чіткі дані в нечіткі. Фаззифікація в методі передбачає визначення значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$.

Вхідні дані процедури (алгоритму) фаззифікації методу – матриця покриття $CoatingMatrix$ технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$ застосуванням набору тестів $Test_i \in TESTS$. Очікуваний вихідний результат – матриця вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$ $MembershipMatrix$.

В описі базових положень методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки також запропоновано і описано 2 підходи до визначення значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$ – розрахунковий (базовий) і експертний (рекомендований як кращий).

За розрахунковим підходом ваговий коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$ визначається пропорційним розподілом загальної максимальної ваги приналежності між усіма тестами, що забезпечують прояв характерних для стану $State_i \in STATES$ несправностей на значення відповідних реакцій ЦОБД $R(Test_i) \in R(TESTS)$, що проявляється як неспівпадання реально отриманого значення відповіді-реакції і еталонного, тобто, $R(Test_i) \neq Reaction_i$.

Таким чином, є можливість дати опис алгоритму формування значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$ у вигляді матриці вагових коефіцієнтів приналежності $MembershipMatrix$ за розрахунковим підходом.

Алгоритм 3.2. Формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix за розрахунковим підходом.

3.2.1. Ввести матрицю покриття CoatingMatrix.

3.2.2. Ініціювати лічильник станів: $j=1$.

3.2.3. Ініціювати лічильник тестів: $i=1$.

3.2.4. Ініціювати лічильник виявлених активних тестів $Test_i \in TESTS$ для перевірки стану $State_i \in STATES$ рівним нулю: $k=0$.

3.2.5. Збільшити лічильник виявлених активних тестів $Test_i \in TESTS$ для перевірки стану $State_i \in STATES$ на значення $CM_{ij} \in CoatingMatrix$ (якщо тест $Test_i \in TESTS$ для перевірки стану $State_i \in STATES$ не є придатним, $CM_{ij}=0$; якщо тест $Test_i \in TESTS$ для перевірки стану $State_i \in STATES$ є придатним, $CM_{ij}=1$. Так визначиться кількість тестів $Test_i \in TESTS$, придатних для перевірки стану $State_i \in STATES$): $k = k + CM_{ij}$.

3.2.6. Збільшити лічильник опрацьованих тестів: $i = i + 1$.

3.2.7. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих тестів $i \leq |TESTS|$.

3.2.8. Якщо $i \leq |TESTS|$ (не всі тести перебрано), перейти до п.3.2.5.

3.2.9. Визначити усереднений показник вагового коефіцієнту приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$: $\Delta MM = 1/k$.

3.2.10. Ініціювати лічильник тестів: $i=1$.

3.2.11. Розрахувати і зафіксувати у матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix значення вагового коефіцієнту приналежності тесту $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для стану $State_i \in STATES$: $MM_{ij} = CM_{ij} * \Delta MM$.

3.2.12. Збільшити лічильник опрацьованих тестів: $i = i + 1$.

3.2.13. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих тестів $i \leq |TESTS|$.

3.2.14. Якщо $i \leq |TESTS|$ (не всі тести перебрано), перейти до п.3.2.11.

3.2.15. Збільшити лічильник опрацьованих станів: $j = j + 1$.

3.2.16. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих станів $j \leq |\text{STATES}|$.

3.2.17. Якщо $j \leq |\text{STATES}|$ (не всі стани перебрано), перейти до п.3.2.3.

3.2.18. Кінець алгоритму.

Результатом роботи алгоритму формування матриці MembershipMatrix вагових коефіцієнтів приналежності тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ ідентифікуючим тестам для певного стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$ за розрахунковим підходом (алгоритму 3.3) буде заповнена матриця вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix, в якій в різних стовпчиках кількість відмінних від 0 значень може відрізнятися, але в кожному стовпчик будуть зустрічатися тільки нульові або однакові усереднені значення $\Delta\text{MM} = 1/k$ і сума в стовпчику буде завжди 1.

Більш гнучким є експертний метод оцінювання значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ ідентифікуючим тестам для певного стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$, в якому всі значення задаються експертами.

Таким чином, є можливість дати опис алгоритму формування значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ ідентифікуючим тестам для певного стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$ у вигляді матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix за експертним підходом.

Алгоритм 3.3. Формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix за експертним підходом.

3.3.1. Ввести матрицю покриття CoatingMatrix.

3.3.2. Ініціювати лічильник станів: $j=1$.

3.3.3. Ініціювати лічильник тестів: $i=1$.

3.3.4. Видати запит на введення експертного значення вагового коефіцієнту MM_{ij} приналежності тесту $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ ідентифікуючим тестам для стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$.

3.3.5. Зафіксувати у матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix введені значення вагового коефіцієнту приналежності тесту $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ ідентифікуючим тестам для стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$: $\text{MM}_{ij} = \text{CM}_{ij} * \Delta\text{MM}$.

3.3.6. Збільшити лічильник опрацьованих тестів: $i = i + 1$.

3.3.7. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих тестів $i \leq |TESTS|$.

3.3.8. Якщо $i \leq |TESTS|$ (не всі тести перебрано), перейти до п.3.3.4.

3.3.9. Збільшити лічильник опрацьованих станів: $j = j + 1$.

3.3.10. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих станів $j \leq |STATES|$.

3.3.11. Якщо $j \leq |STATES|$ (не всі стани перебрано), перейти до п.3.3.3.

3.3.12. Кінець алгоритму.

Результатом роботи алгоритму формування матриці MembershipMatrix вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$ за експертним підходом (алгоритму 3.3) буде заповнена матриця вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix, в якій в різних стовпчиках кількість відмінних від 0 значень може відрізнятися як і самі значення в межах стовпчика та суми по стовпчиках.

Наступний етап реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки процедура (алгоритм) формування логічного висновку. Формування логічного висновку базується на застосуванні бази правил, принципи формування яких детально розглянуто при описі базових положень методу.

Вхідні дані процедури (алгоритму) формування логічного висновку методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки:

- множина RULES, що містить перелік правил, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$ за методом організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки;

- матриця вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix;

- множина STATES, що містить перелік різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i$;

- $TESTS: \{Test_1, Test_2, \dots, Test_i, \dots, Test_m\}$ – множина, що містить

перелік тестів, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$;

- множина REACTIONS, що містить перелік описів можливих (очікуваних від справного ЦОБД) відповідей (реакцій ЦОБД) на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$;

- множина $R(TESTS)$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

Механізм логічного висновку допомагає визначити ступінь відповідності нечітких введень фазифікації та правилам. На основі ступеня відповідності висновки визначає, які правила повинні бути реалізовані до заданого поля введення. За цим правила об'єднуються для рішення і вироблення контрольних дій. Тобто, за результатами процедури (алгоритму) формування логічного висновку методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки має бути сформований показник ступеня відповідності нечітких введень фазифікації та правилам, за яким правила об'єднуються для рішення і вироблення контрольних дій.

Формування логічного висновку полягає у перевірці правил, які визначають і оцінюють ступінь відповідності результатів тестування ідентифікації певного стану ЦОБД $State_i \in STATES$.

Кожне правило $Rule_i \in RULES$ сформоване стосовно певного технічного стану ЦОБД $State_i \in STATES$ експертами або на підставі експертних знань і повинне включати в себе всі чітко визначені ознаки прояву властивостей стану ЦОБД $State_i \in STATES$ у реакціях $R(Test_i) \in R(TESTS)$ на застосування кожного тесту $Test_i \in TESTS$, який ініціює прояв характерних ознак стану $State_i \in STATES$, що визначається за реакціями ЦОБД $R(Test_i) = Reaction_i$ або $R(Test_i) \neq Reaction_i$.

На основі цього даємо опис алгоритму формування нечіткого логічного висновку.

Алгоритм 3.4. Формування логічного висновку.

3.4.1. Ввести матрицю вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix.

3.4.2. Завантажити базу правил RULES.

3.4.3. Ініціювати лічильник правил: $j=1$.

3.4.4. Обрати з бази правил RULES правило $Rule_i \in RULES$ сформоване для перевірки виявлення ознак технічного стану ЦОБД $State_i \in STATES$.

3.4.5. Перевірити умови типу $R(Test_i) = Reaction_i$ і $R(Test_i) \neq Reaction_i$, передбачені правилом $Rule_i \in RULES$.

3.4.6. Перевірити ознаки виконання правила $Rule_i \in RULES$.

3.4.7. Якщо ознаки виконання правила $Rule_i \in RULES$ не виявлено, перейти до п.3.4.9.

3.4.8. Визначити показник $W(Rule_i) \in W(RULES)$ ступіня відповідності результатів тестування вимогам щодо ідентифікації стану ЦОБД $State_i \in STATES$ за правилом $Rule_i \in RULES$.

3.4.9. Збільшити лічильник опрацьованих правил: $j = j + 1$.

3.4.10. Перевірити умову наявності ще не перевічених правил $j \leq |RULES|$.

3.4.11. Якщо $j \leq |RULES|$ (не всі правила перевірено), перейти до п.3.4.4.

3.4.12. Кінець алгоритму.

І останнім етапом є дефаззифікація – перетворення нечітких множин у чітке значення. Дефаззифікація методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки полягає у використанні оціночних значень приналежності стану ЦОБД кожному із станів $State_i \in STATES$ для остаточного рішення і вироблення контрольних дій.

Дефаззифікація проводиться як оцінка ступеня перевищення максимального показника істинності правил відносно найближчого до нього. Якщо різниця дорівнює 1, відповідний цьому показнику стан є

ідентифікованим. Якщо різниця не менша за задане значення необхідної переваги ΔW , то відповідний цьому показнику стан є ідентифікованим із допустимим показником достовірності. Якщо різниця менша за задане значення необхідної переваги ΔW , то жоден стан не є ідентифікованим із допустимим показником достовірності і необхідними визнаються додаткові уточнюючі тестові випробування, вибір тесту для яких доцільно виконувати з урахуванням отриманих результатів.

Алгоритм 3.5. Дефазифікація.

3.5.1. Завантажити масив результатів перевірки правил $W(\text{RULES})$.

3.5.2. Ввести значення необхідної переваги ΔW .

3.5.3. Ініціювати лічильник правил: $i=1$.

3.5.4. Ініціювати змінну для зберігання номера ідентифікованого стану $N=0$.

3.5.5. Ініціювати змінну для зберігання максимального значення істинності правила першим значенням: $W_{\max1}=0$.

3.5.6. Ініціювати змінну для зберігання найближчого до максимального значення істинності правила: $W_{\max2}=0$.

3.5.7. Обрати з бази $W(\text{RULES})$ значення $W(\text{Rule}_i) \in W(\text{RULES})$.

3.5.8. Перевірити умову $W(\text{Rule}_i) \geq W_{\max1}$.

3.5.9. Якщо умова $W(\text{Rule}_i) > W_{\max1}$ не дісна, перейти до п.3.5.12.

3.5.10. Присвоїти $W_{\max2} = W_{\max1}$.

3.5.11. Присвоїти $W_{\max1} = W(\text{Rule}_i)$.

3.5.12. Перевірити умову $W(\text{Rule}_i) > W_{\max2}$.

3.5.13. Якщо умова $W(\text{Rule}_i) > W_{\max2}$ не дісна, перейти до п.3.5.15.

3.5.14. Присвоїти $W_{\max2} = W(\text{Rule}_i)$.

3.5.15. Збільшити лічильник опрацьованих значень: $i = i+1$.

3.5.16. Перевірити умову наявності ще не перевічених значень $i \leq |W(\text{RULES})|$.

3.5.17. $i \leq |W(\text{RULES})|$ (не всі значення перевірено), перейти до п.3.5.7.

3.5.18. Перевірити умову $W_{\max1}=0$.

3.5.19. Якщо $W_{\max1}=0$, вивести повідомлення: «За результатами

тестування жоден стан ЦОБД не є ідентифікованим, експеримент невдалий».

3.5.20. Перевірити умову $W_{\max1} - W_{\max2} = 1$.

3.5.21. Якщо $W_{\max} - W_{\max-1} = 1$, вивести повідомлення: «За результатами тестування ідентифіковано стан ЦОБД №» N , інакше перейти до п.3.5.22.

3.5.22. Перевірити умову $W_{\max1} - W_{\max2} \geq \Delta W$.

3.5.23. Якщо $W_{\max1} - W_{\max2} \geq \Delta W$, вивести повідомлення: «За результатами тестування за перевищенням заданого рівня переваги ідентифіковано стан ЦОБД №» N .

3.5.24. Перевірити умову $W_{\max1} - W_{\max2} < \Delta W$.

3.5.25. Якщо $W_{\max1} - W_{\max2} < \Delta W$, вивести повідомлення: «За результатами тестування не досягнуто перевищення заданого рівня переваги. Потрібні додаткові випробування».

3.5.26. Кінець алгоритму.

3.3 Висновки

В третьому розділі кваліфікаційної роботи надано опис базових положень методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки та наведені алгоритми реалізації основних його етапів:

- узагальнений алгоритм реалізації тестових випробувань;
- алгоритм формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix за розрахунковим підходом;
- алгоритм формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix за експертним підходом;
- алгоритм формування логічного висновку;
- алгоритм дефазифікації.

4 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ І АПРОБАЦІЯ МЕТОДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЦИФРОВОГО ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

4.1 Розробка засобів реалізації методу

Технічні засоби реалізації методу діагностування ідентифікуються як система діагностування.

Система технічного діагностування являє з себе сукупність засобів та об'єкта діагностування, а також, за наявної необхідності, виконавців. Система технічного діагностування має бути підготовлена до діагностування і здійснювати його у відповідності до алгоритму діагностування. При цьому використовуються засоби технічного діагностування, що являють з себе сукупність технічних (апаратних та програмних тощо) засобів, за допомогою яких і здійснюється сам алгоритм діагностування. Автоматизована система технічного діагностування забезпечує діагностування без участі оператора.

Алгоритм технічного діагностування як сукупність інструкцій про порядок проведення діагностування розглядався в попередньому розділі роботи. Він базується на тестових випробуваннях, тому нашу систему технічного діагностування можна класифікувати як систему тестового діагностування.

Система тестового діагностування являє з себе систему технічного діагностування, у якій у ході діагностування на ЦОБД подаються впливи у формі тестів.

Загальною проблемою технічної діагностики є досягнення адекватної оцінки розпізнавання істинного стану об'єкта та класифікації цього (нормального чи аномального).

Під час проведення технічного діагностування на підтвердження нормального стану об'єкта виділяють дві основні завдання:

- забезпечення одержання достовірної інформації;
- забезпечення прийнятної оперативності отримання інформації.

Під час проведення технічного діагностування ЦОБД виділяють дві основні проблеми:

- можливість пропуску несправності ЦОБД;
- ймовірність «хибної тривоги», тобто вірогідність помилкового висновку про несправність ЦОБД.

Чим вища ймовірність «хибної тривоги», тим менша ймовірність пропуску несправності, і навпаки. Завдання технічної діагностики несправних станів ЦОБД полягає у знаходженні компромісу між цими двома проблемами.

Згідно методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки саме для уникнення проблем пропуску несправності ЦОБД та помилкового висновку про несправність ЦОБД використовується нечітка логіка. Тобто, нечітка логіка є невідомою складовою автоматизованої системи тестового діагностування ЦОБД, що й розглядається в цьому розділі.

Отже, технічні засоби реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки є різновидом автоматизованої системи тестового діагностування ЦОБД, що має поєднати в собі засоби технічного діагностування, що являють з себе сукупність інструментів технічної діагностики і нечіткої логіки.

Проведемо синтез схемно-організаційних рішень автоматизованої системи тестового діагностування ЦОБД методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки на основі рішень щодо алгоритмічної реалізації методу, що є базою в роботі засобів технічного діагностування за методом.

Як зазначалося в описі алгоритмічно реалізації методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки, в ньому можна виділити два основних етапи:

- реалізація тестових випробувань ЦОБД;
- формування висновку щодо приналежності отриманих відповідей-реакцій ЦОБД можливим його технічним станам.

Першим і базовим етапом для всього методу є реалізація тестових випробувань ЦОБД у відповідності до базових положень і потреб методу.

У методі організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки обрано найпростішу модель алгоритму діагностування, де чітко визначено набір і послідовність подання на ЦОБД тестів і алгоритм є безумовним (не змінюється залежно від умов проходження тесту і особливостей відповідей-реакцій ЦОБД). В процесі діагностування отримуються і накопичуються відповіді-реакції ЦОБД.

Для проведення діагностування використовується тестова послідовність TESTS, що містить перелік тестів, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів об'єкта діагностування. Тестова послідовність TESTS подається на ЦОБД, а з контрольних точок ЦОБД зчитуються відповіді-реакції, які накопичуються і утворюють множину $R(TESTS)$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД. Отримувана множина $R(TESTS)$ відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$ і є шуканим виходом діагностичного експеритенту.

Сформована таким чином підсистема тестових випробувань ЦОБД для методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки зображена на рисунку 4.1.

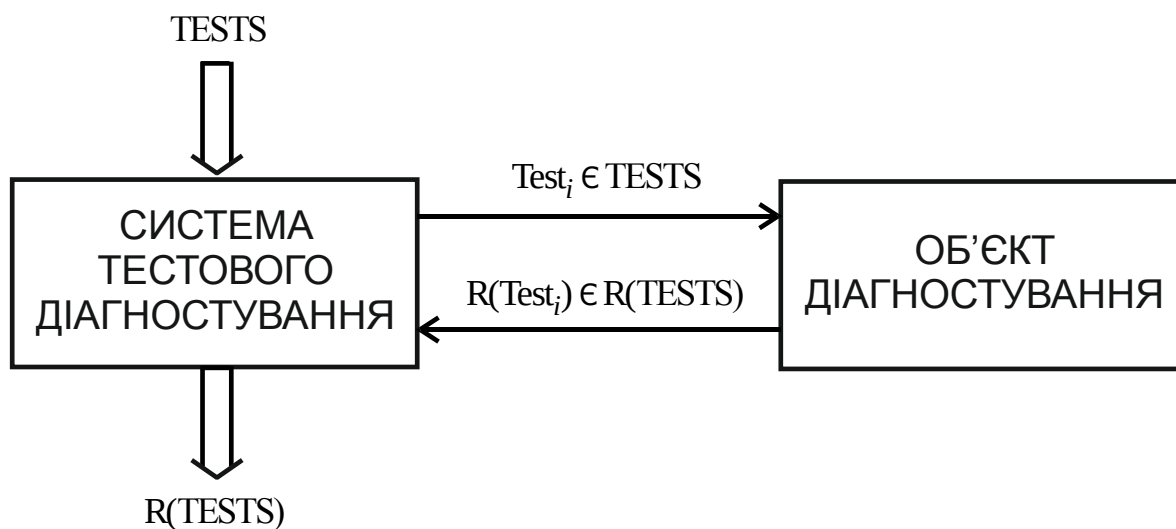


Рисунок 4.1 – Підсистема тестових випробувань ЦОБД

Отримувані підсистою (рис. 4.1) результати тестових перевірок у вигляді множини $R(\text{TESTS})$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$, переходять на наступний етап діагностичного процесу – у систему обробки і прийняття рішень, де піддаються аналізу з метою прийняття рішення про ідентифікацію стану ЦОБД або про застосування наступного тестового набору, уточнюючого недостатні результати для прийняття рішення для ідентифікації технічного стану ЦОБД.

Саме цей етап в межах методу базується на нечіткій логіці і може бути представлений як нечіткий контролер, адаптований до задач організації тестових випробувань ЦОБД.

Типова структура нечіткого контролера [17] зображена на рисунку 4.2.

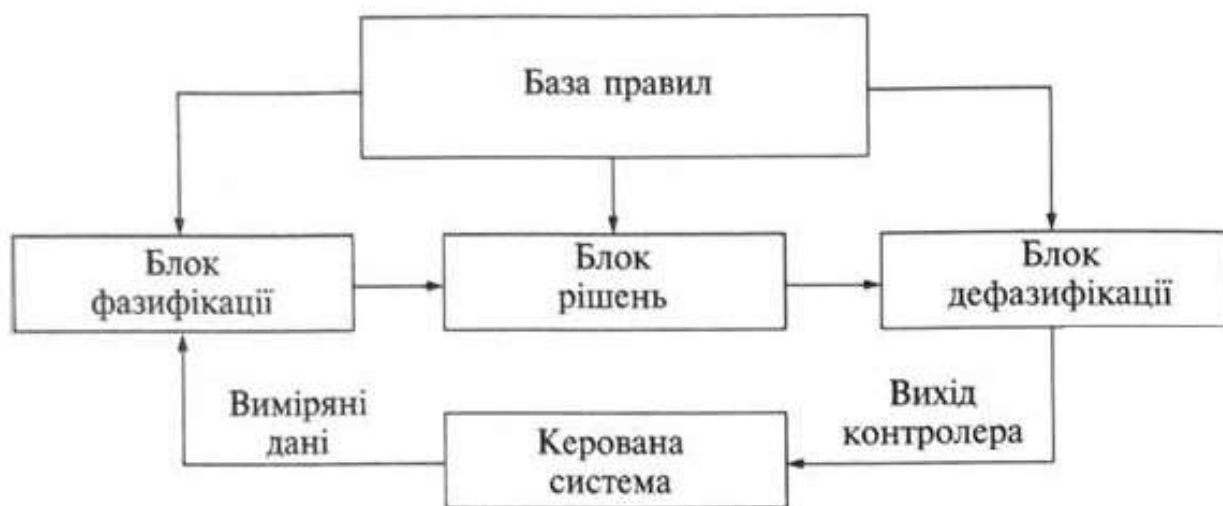


Рисунок 4.2 – Типова структура нечіткого контролера

В складі структури нечіткого контролера є три типових блоки:

- блок фазифікації, що перетворює чіткі величини, отримувані на виході об'єкта керування, на нечіткі величини, використовувані далі контролером;
- блок рішень використовує нечіткі правила (якщо – то), закладені в базі правил, для перетворення нечітких вхідних даних на необхідні керівні впливи інструкції або значення, що також мають нечіткий характер;
- блок дефазифікації перетворює нечіткі дані, отримувані з блоку рішень на чітку величину, яку застосовують для керування об'єктом.

Принцип дії нечіткого контролера не відповідає потребам методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки, тому нам потрібно адаптувати цю структуру та деталізувати її роботу.

Блок фаззифікації має конвертувати вхідні чіткі дані в нечіткі. Як зазначалося в описі базових положень методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки, фаззифікація передбачає у нас визначення значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$.

Вхідні дані блоку фаззифікації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки – матриця покриття $CoatingMatrix$ технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$ застосуванням набору тестів $Test_i \in TESTS$. Вихідний результат – матриця вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$ $MembershipMatrix$.

В описі базових положень методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки також запропоновано і описано 2 підходи до визначення значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$ – розрахунковий (базовий) і експертний (рекомендований як кращий). Відповідно, блок фаззифікації повинен передбачати можливості:

- вибору режиму формування значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$ – розрахунковий або експертний;

- обчислення значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$ в розрахунковому режимі;

- введення значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$ в експертному режимі.

Детально принципи роботи блоку фаззифікації в розрахунковому і

експертному режимі описані алгоритмами 3.2 і 3.3, тому зупинимось на схематичному зображенні цього блоку (рисунок 4.3).

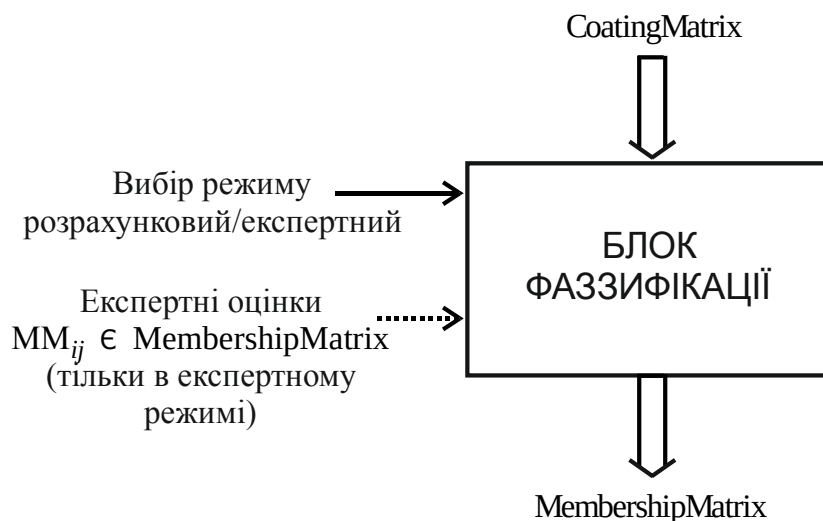


Рисунок 4.3 – Блок фаззифікації засобів реалізації методу

Результатом роботи блоку фаззифікації буде заповнена матриця вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix нечітких значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$ ідентифікуючим тестам для певного стану $\text{State}_i \in \text{STATES}$ за орзрахунковим або експертним підходом.

Наступний етап реалізації методу – процедура (алгоритм) формування логічного висновку. Формування логічного висновку базується на застосуванні бази правил, принципи формування яких детально розглянуто при описі базових положень методу.

Вхідні дані процедури (алгоритму) формування логічного висновку:

- множина RULES , що містить перелік правил, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$ за методом організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки;

- матриця вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix ;

- множина STATES , що містить перелік різноманітних технічних станів ЦОБД State_i ;

- множина REACTIONS , що містить перелік описів можливих

(очікуваних від справного ЦОБД) відповідей (реакцій ЦОБД) на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$;

– множина $R(TESTS)$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$.

Механізм нечіткого логічного висновку допомагає визначити ступінь відповідності нечітких введень фазифікації та правилам. На основі ступеня відповідності висновок визначає, які правила повинні бути реалізовані до заданого поля введення. За цим правила об'єднуються для рішення і вироблення контрольних дій. Тобто, за результатами процедури (алгоритму) формування логічного висновку має бути сформований показник ступеня відповідності нечітких введень фазифікації та правилам, за яким правила об'єднуються для рішення і вироблення контрольних дій.

Для реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки формування логічного висновку полягає у перевірці правил, які визначають і оцінюють ступінь $W(Rule_i) \in W(RULES)$ відповідності результатів тестування вимогам щодо ідентифікації певного стану ЦОБД $State_i \in STATES$.

Кожне правило $Rule_i \in RULES$ сформоване стосовно певного технічного стану ЦОБД $State_i \in STATES$ експертами або на підставі експертних знань і повинне включати в себе всі чітко визначені ознаки прояву властивостей стану ЦОБД $State_i \in STATES$ у реакціях $R(Test_i) \in R(TESTS)$ на застосування кожного тесту $Test_i \in TESTS$, який ініціює прояв характерних ознак стану $State_i \in STATES$, що визначається за реакціями ЦОБД $R(Test_i) = Reaction_i$ або $R(Test_i) \neq Reaction_i$.

Виходом блоку логічного висновку методу є множина $W(RULES)$, що містить нечіткі чисельні показники $W(Rule_i) \in W(RULES)$ ступеня відповідності результатів тестування вимогам щодо ідентифікації стану ЦОБД

$State_i \in STATES$ за правилом $Rule_i \in RULES$.

Детально принципи роботи блоку нечіткого логічного висновку описані алгоритмом 3.4. Схематичне зображення блоку нечіткого логічного висновку наведене на рисунку 4.4.

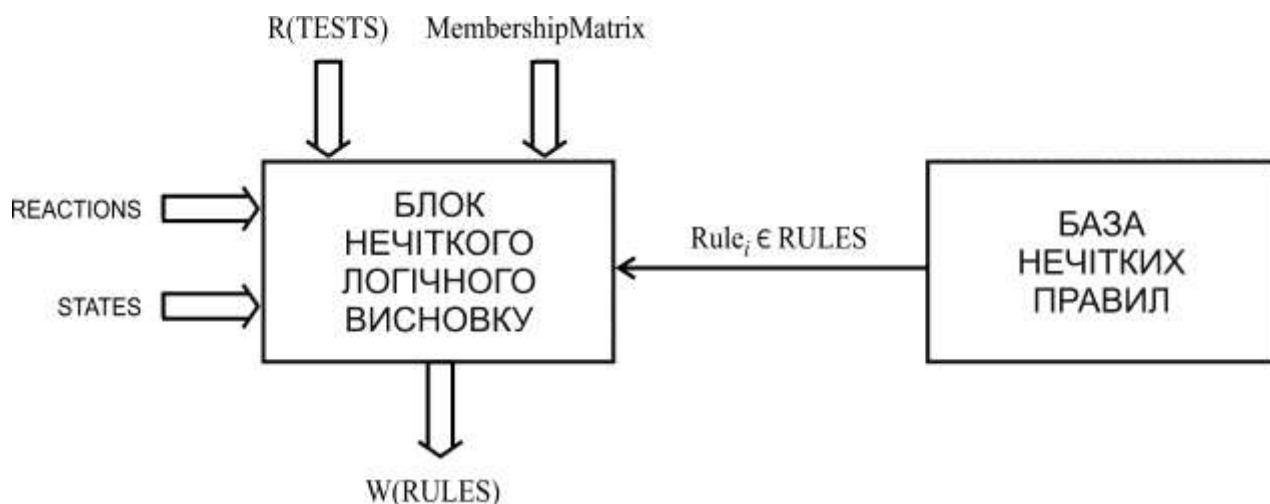


Рисунок 4.4 – Блок нечіткого логічного висновку засобів реалізації методу

І останнім блоком є блок дефаззифікації – перетворення нечітких множин у чітке значення. Дефаззифікація методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки полягає у використанні оціночних значень приналежності стану ЦОБД кожному із станів $State_i \in STATES$ для остаточного рішення і вироблення контрольних дій.

Дефаззифікація проводиться як оцінка ступеня перевищення максимального показника істинності правил відносно найближчого до нього. Якщо різниця дорівнює 1, відповідний цьому показнику стан є ідентифікованим. Якщо різниця не менша за задане значення необхідної переваги ΔW , то відповідний цьому показнику стан є ідентифікованим із допустимим показником достовірності. Якщо різниця менша за задане значення необхідної переваги ΔW , то жоден стан не є ідентифікованим із допустимим показником достовірності і необхідними визнаються додаткові уточнюючі тестові випробування, вибір тесту для яких доцільно виконувати з урахуванням отриманих результатів.

Таким чином, вхідними даними в роботі блоку дефаззифікації засобів

реалізації методу є множина $W(RULES)$, що містить нечіткі чисельні показники $W(Rule_i) \in W(RULES)$ ступіня відповідності результатів тестування вимогам щодо ідентифікації стану ЦОБД $State_i \in STATES$ за правилом $Rule_i \in RULES$, та значення необхідного нечіткого рівня переваги ΔW для висновку про ідентифікацію певного технічного стану $State_i \in STATES$.

На виході блоку дефазифікації має бути отриманий один із чотирьох допустимих висновків:

- однозначно ідентифіковано стан ЦОБД $State_i \in STATES$;
- стан ЦОБД $State_i \in STATES$ ідентифіковано за перевищенням критерію необхідного нечіткого рівня переваги ΔW ;
- стан ЦОБД не ідентифіковано, найбільш імовірними є стани $State_i \in STATES, \dots, State_j \in STATES$;
- відсутні правила для ідентифікації стану ЦОБД.

Детально принципи роботи блоку дефазифікації описані алгоритмом 3.5. Схематичне зображення блоку дефазифікації наведене на рисунку 4.5.

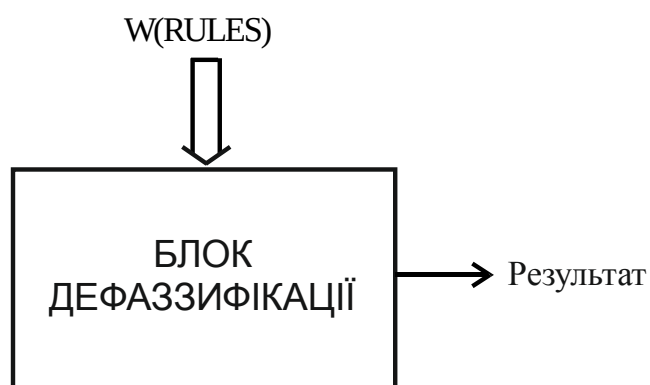


Рисунок 4.5 – Блок дефазифікації засобів реалізації методу

Узагальнення отриманих часткових схемних рішень окремих блоків дає схему організації засобів реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки (рисунки 4.6).

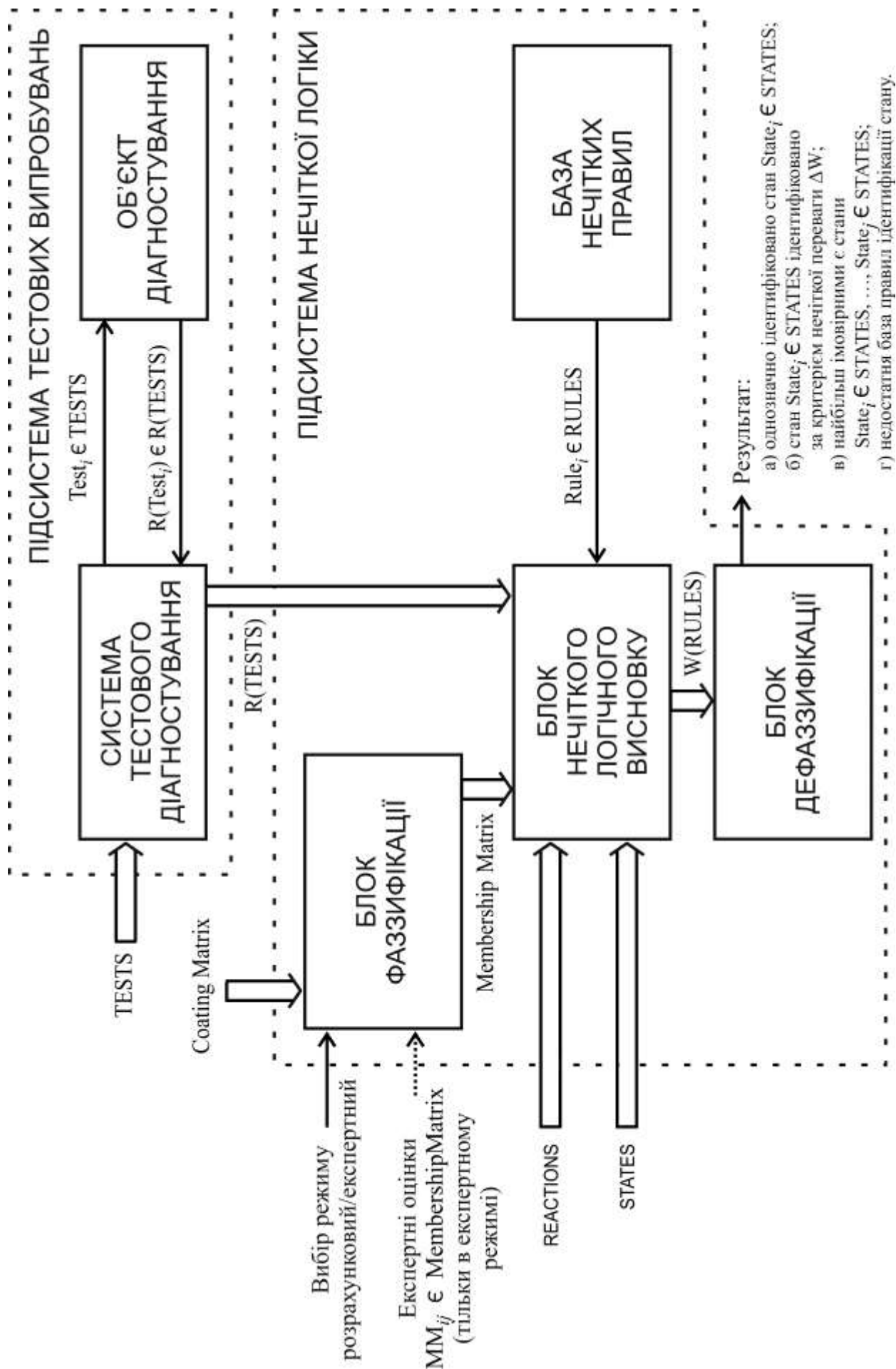


Рисунок 4.6 – Схема засобів реалізації методу

4.2 Апробація методу

Апробація методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки проведемо на прикладі організації тестових випробувань ЦОБД, дані якого наведено в [19].

В [19] описується постановка діагностичного експерименту для ідентифікації одного із десяти можливих станів ЦОБД з допомогою множини з семи тестів, що можна описати у відповідності до математичної моделі методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки:

– множина опису різноманіття технічних станів ЦОБД:

STATES: { State₁, State₂, State₃, State₄, State₅, State₆, State₇, State₈, State₉, State₁₀};

– множина, що містить перелік тестів, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД State_i ∈ STATES:
TESTS: {Test₁, Test₂, ..., Test_i, ..., Test_m}.

Відповідно, досліджуваному експерименту відповідає бінарна матриця покриття CoatingMatrix розмірністю 7x10:

$$\text{CoatingMatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

За даними наведеної бінарної матриці покриття CoatingMatrix авторами дослідження запропоновано 7 тестів, орієнтованих на ідентифікацію кожного стану ЦОБД State_i ∈ STATES. Ці послідовності наведені на рисунку 4.7.

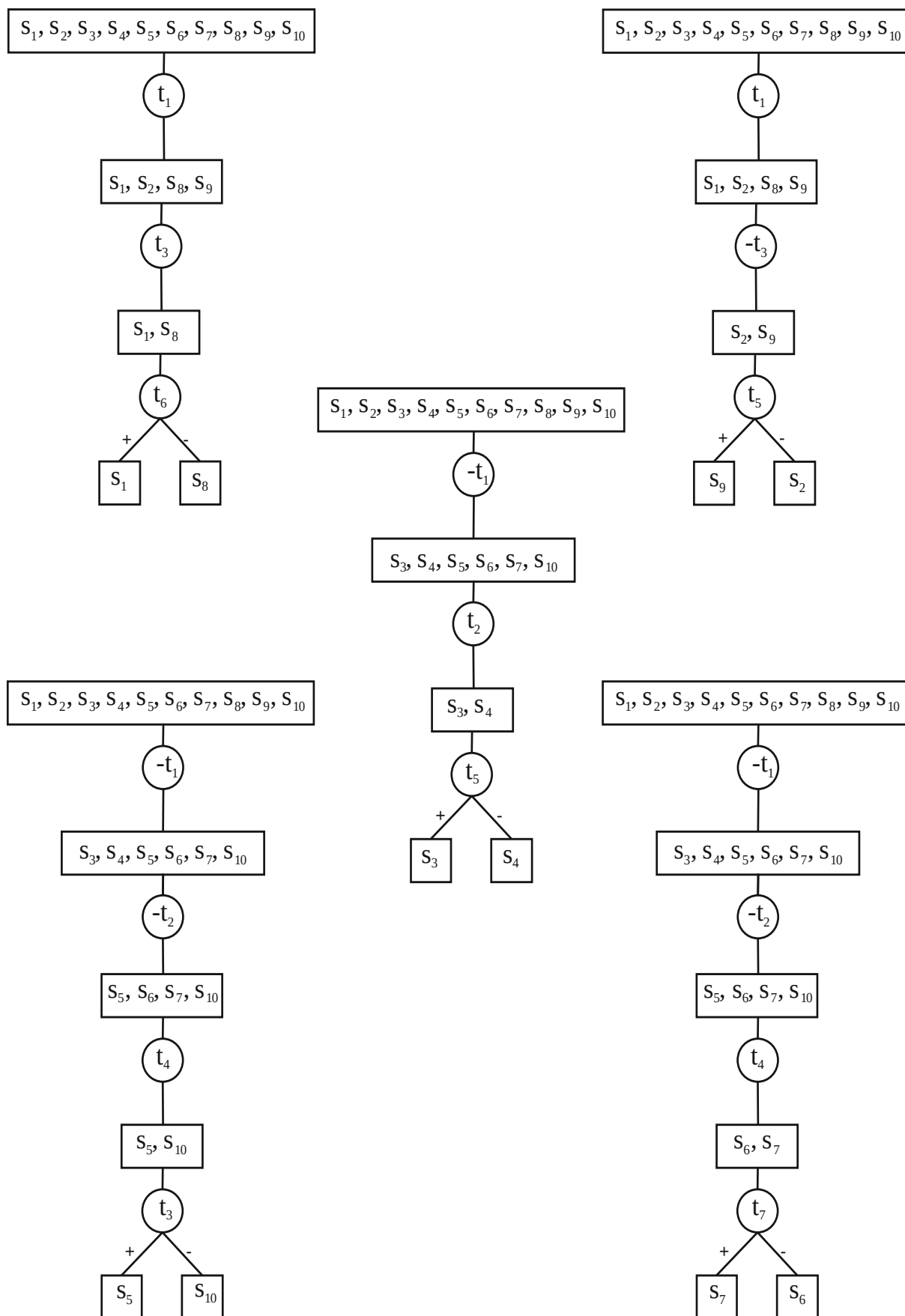


Рисунок 4.7 – Тестові послідовності для ідентифікації десяти можливих станів ЦОБД з допомогою множини з семи тестів

Представлені на рисунку 4.7 тестові послідовності орієнтовані на відокремлення від множини STATES двох станів $State_i \in STATES$ і $State_j \in STATES$ з ідентифікацією одного із них у кінцевому результаті. Таким чином, з допомогою п'яти запропонованих тестів послідовно можна спростувати або підтвердити гіпотези щодо перебування ЦОБД у будь якому із десяти можливих станів $State_i \in STATES$ залежно від реального його стану, але гарантований результат досягається лише після застосування усіх п'яти запропонованих тестів, хоча бажаний результат може бути отриманий достроково, якщо здійснити вдалий вибір тесту. Так, перший з наведених на рисунку тестів одразу дозволяє ідентифікувати перебування ЦОБД у стані $State_1 \in STATES$ або $State_8 \in STATES$, але не дає результату для інших випадків (якщо перший тест не спрацює, знадобиться використання інших).

Перевагою цього підходу є відсутність потреби урахування поточних результатів тестування для вибору наступних тестів, що є характерним для безумовних алгоритмів діагностування і спрощує та здешевлює засоби діагностування ЦОБД.

Згідно з описом діагностичного експерименту в [19] розглядається ще один підхід до організації тестових випробувань. В другому варіанті для діагностування використовується умовний алгоритм діагностування, кожна з яких призначена для ідентифікації певного стану ЦОБД (рисунок 4.8).

Перевагою наведеного на рисунку 4.8 умовного алгоритму діагностування є можливість ідентифікації десяти можливих станів ЦОБД з допомогою множини з семи тестів з використанням лише 3-4 тестів з цієї множини, але реалізувати умовний алгоритм діагностування можна лише з допомогою спеціалізованих складних технічних засобів діагностування, вартість яких в рази а то і на порядки більша за вартість засобів, необхідних для реалізації тестових випробувань ЦОБД за першим способом.

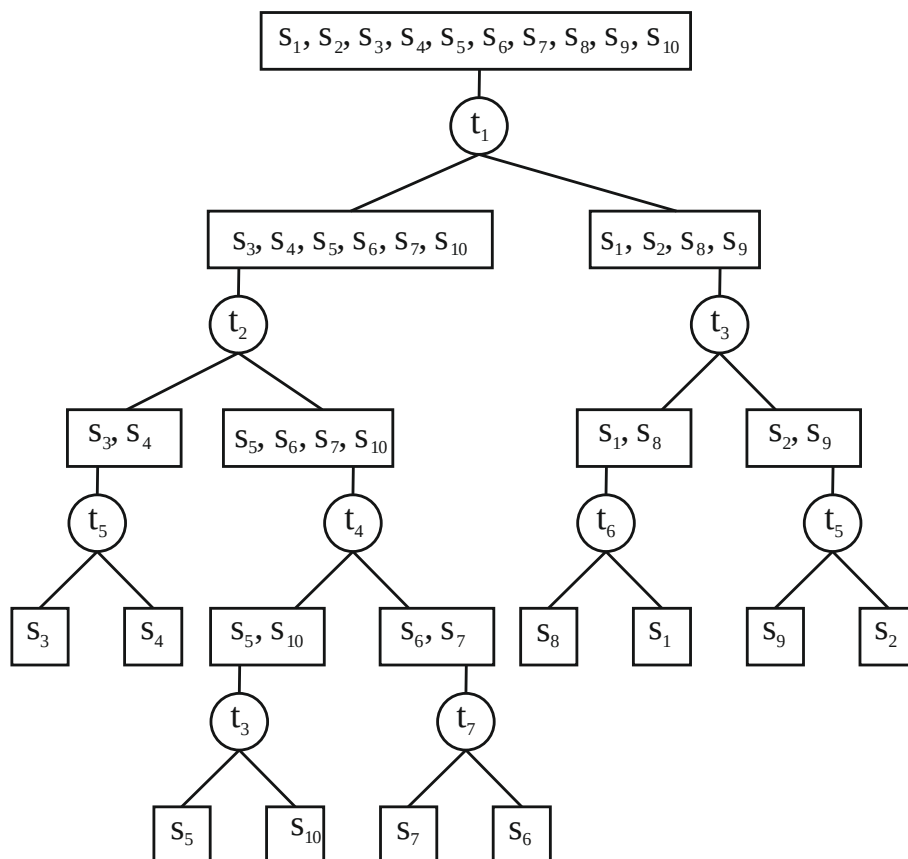


Рисунок 4.8 – Древовидний граф умовного алгоритму діагностування для ідентифікації десяти можливих станів ЦОБД з допомогою множини з семи тестів

Для реалізації експерименту згідно методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки першочергово проведено дефаззифікацію, що дала матрицю вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix розмірністю 7x10:

$$\text{MembershipMatrix} = \begin{vmatrix} 0,14 & 0 & 0,33 & 0,5 & 0,2 & 0,17 & 0,25 & 0 & 0 & 0,25 \\ 0,14 & 0,25 & 0 & 0 & 0,2 & 0,16 & 0,25 & 0 & 0 & 0,25 \\ 0,14 & 0,25 & 0,33 & 0 & 0 & 0,17 & 0 & 0 & 0,5 & 0,25 \\ 0,14 & 0 & 0,34 & 0 & 0 & 0,16 & 0,25 & 0,33 & 0 & 0 \\ 0,14 & 0,25 & 0 & 0 & 0,2 & 0,17 & 0 & 0,33 & 0 & 0 \\ 0,15 & 0,25 & 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0,25 & 0,34 & 0,5 & 0 \\ 0,15 & 0 & 0 & 0,5 & 0,2 & 0,17 & 0 & 0 & 0 & 0,25 \end{vmatrix}$$

За відсутності експертних оцінок в даному випадку використано розрахунковий метод формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix.

Для реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки розроблена база з 10 нечітких правил:

– Rule₁: ЯКЩО $R(\text{Test}_1)=\text{Reaction}_1$ І $R(\text{Test}_2)=\text{Reaction}_2$ І $R(\text{Test}_3)=\text{Reaction}_3$ І $R(\text{Test}_4)=\text{Reaction}_4$ І $R(\text{Test}_5)=\text{Reaction}_5$ І $R(\text{Test}_6)=\text{Reaction}_6$ І $R(\text{Test}_7)=\text{Reaction}_7$ ТО "Справний стан";

– Rule₂: ЯКЩО $R(\text{Test}_2)\neq\text{Reaction}_2$ АБО $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$ АБО $R(\text{Test}_5)\neq\text{Reaction}_5$ АБО $R(\text{Test}_6)\neq\text{Reaction}_6$ ТО "Ознаки стану $\text{State}_1 \in \text{STATES}$ ";

– Rule₃: ЯКЩО $R(\text{Test}_1)\neq\text{Reaction}_1$ АБО $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$ АБО $R(\text{Test}_4)\neq\text{Reaction}_4$ ТО "Ознаки стану $\text{State}_2 \in \text{STATES}$ ";

– Rule₄: ЯКЩО $R(\text{Test}_1)\neq\text{Reaction}_1$ АБО $R(\text{Test}_7)\neq\text{Reaction}_7$ ТО "Ознаки стану $\text{State}_3 \in \text{STATES}$ ";

– Rule₅: ЯКЩО $R(\text{Test}_1)\neq\text{Reaction}_1$ АБО $R(\text{Test}_2)\neq\text{Reaction}_2$ АБО $R(\text{Test}_5)\neq\text{Reaction}_5$ АБО $R(\text{Test}_6)\neq\text{Reaction}_6$ АБО $R(\text{Test}_7)\neq\text{Reaction}_7$ ТО "Ознаки стану $\text{State}_5 \in \text{STATES}$ ";

– Rule₆: ЯКЩО $R(\text{Test}_1)\neq\text{Reaction}_1$ АБО $R(\text{Test}_2)\neq\text{Reaction}_2$ АБО $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$ АБО $R(\text{Test}_4)\neq\text{Reaction}_4$ АБО $R(\text{Test}_5)\neq\text{Reaction}_5$ АБО $R(\text{Test}_7)\neq\text{Reaction}_7$ ТО "Ознаки стану $\text{State}_6 \in \text{STATES}$ ";

– Rule₇: ЯКЩО $R(\text{Test}_1)\neq\text{Reaction}_1$ АБО $R(\text{Test}_2)\neq\text{Reaction}_2$ АБО $R(\text{Test}_4)\neq\text{Reaction}_4$ АБО $R(\text{Test}_6)\neq\text{Reaction}_6$ ТО "Ознаки стану $\text{State}_7 \in \text{STATES}$ ";

– Rule₈: ЯКЩО АБО $R(\text{Test}_4)\neq\text{Reaction}_4$ АБО $R(\text{Test}_5)\neq\text{Reaction}_5$ АБО $R(\text{Test}_6)\neq\text{Reaction}_6$ ТО "Ознаки стану $\text{State}_8 \in \text{STATES}$ ".

– Rule₉: ЯКЩО $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$ АБО $R(\text{Test}_6)\neq\text{Reaction}_6$ ТО "Ознаки стану $\text{State}_9 \in \text{STATES}$ ";

– Rule₁₀: ЯКЩО $R(\text{Test}_1)\neq\text{Reaction}_1$ АБО $R(\text{Test}_2)\neq\text{Reaction}_2$ АБО $R(\text{Test}_3)\neq\text{Reaction}_3$ АБО $R(\text{Test}_7)\neq\text{Reaction}_7$ ТО "Ознаки стану $\text{State}_{10} \in \text{STATES}$ ".

На рисунку 4.8 наведено граф-модель, яка демонструє послідовність ідентифікації станів ЦОБД за наявною діагностичною інформацією при

послідовному використанні всіх тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$.

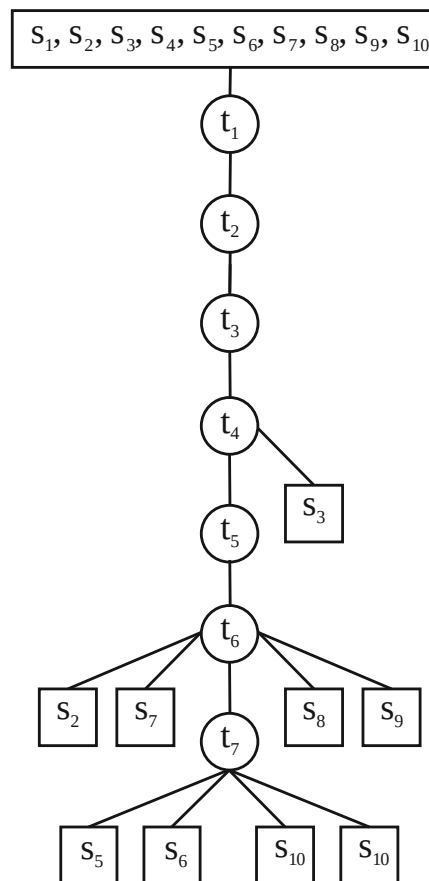


Рисунок 4.8 – Граф-модель накопичення діагностичної інформації при послідовному використанні тестів $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$

З рисунку 4.8 видно, що після реалізації чотирьох тестів накопичується достатньо інформації для ідентифікації стану $\text{State}_3 \in \text{STATES}$.

Після реалізації шести тестів накопичується достатньо інформації для ідентифікації також станів $\text{State}_2 \in \text{STATES}$, $\text{State}_7 \in \text{STATES}$, $\text{State}_8 \in \text{STATES}$, $\text{State}_9 \in \text{STATES}$.

Після реалізації всіх семи тестів накопичується достатньо інформації для ідентифікації всіх станів $\text{State}_i \in \text{STATES}$.

Процес накопичення нечітких значень, що формують чисельні показники $W(\text{Rule}_i) \in W(\text{RULES})$ ступіня відповідності результатів тестування вимогам щодо ідентифікації стану ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$ за правилом $\text{Rule}_i \in \text{RULES}$, відображено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Накопичення нечітких ваг спрацьовування правил

Тест	Нечіткі ваги $W(\text{Rule}_i) \in W(\text{RULES})$ спрацьовування правил									
	$\text{Rule}_i \in \text{RULES}$									
	Rule_1	Rule_2	Rule_3	Rule_4	Rule_5	Rule_6	Rule_7	Rule_8	Rule_9	Rule_{10}
Test_1	0,14	0	0,33	0,50	0,20	0,17	0,25	0	0	0,25
Test_2	0,28	0,25	0,33	0,50	0,40	0,33	0,50	0	0	0,50
Test_3	0,42	0,50	0,66	0,50	0,40	0,50	0,50	0	0,50	0,75
Test_4	0,56	0,50	1,00	0,50	0,40	0,66	0,75	0,33	0	0,75
Test_5	0,70	0,75	1,00	0,50	0,60	0,83	0,75	0,66	0	0,75
Test_6	0,85	1,00	1,00	0,50	0,80	0,83	1,00	1,00	1,00	0,75
Test_7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

З таблиці 4.1 видно, що кожне правило $\text{Rule}_i \in \text{RULES}$ за сприятливих умов може набрати максимальне значення (рівне одиниці) чисельного показника $W(\text{Rule}_i) \in W(\text{RULES})$ ступіня відповідності результатів тестування вимогам щодо ідентифікації стану ЦОБД $\text{State}_i \in \text{STATES}$ за цим правилом. Зрозуміло, що всі правила спрацювати одночасно не можуть, тому реальні дані ваг правил $W(\text{Rule}_i) \in W(\text{RULES})$ будуть відрізнятися між собою. В таблиці 4.2 відображена ситуація, характерна для справного стану $\text{State}_1 \in \text{STATES}$, в таблиці 4.3 – ситуація, характерна для не справного стану $\text{State}_3 \in \text{STATES}$.

З таблиць 4.2-4.3 видно, що максимальне значення показника $W(\text{Rule}_i) \in W(\text{RULES})$ чітко вказує на стан ЦОБД. Зрозуміло, що результат роботи методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки значною мірою залежить від повноти і якості вхідних даних і даних тестових випробувань, тому дефаззифікатор передбачає можливість видачі чотирьох варіантів результату роботи методу, наведених на рисунку 4.6.

Моделювання роботи методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки на різних варіантах тестових наборів показало, що для вірного результату в досліджуваному прикладі не обов'язково застосовувати всі тести $\text{Test}_i \in \text{TESTS}$.

Таблиця 4.2 – Накопичення нечітких ваг спрацьовування правил в стані $State_1 \in STATES$

Тест	Нечіткі ваги $W(Rule_i) \in W(RULES)$ спрацьовування правил									
	$Rule_i \in RULES$									
	Rule ₁	Rule ₂	Rule ₃	Rule ₄	Rule ₅	Rule ₆	Rule ₇	Rule ₈	Rule ₉	Rule ₁₀
Test ₁	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Test ₂	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Test ₃	0,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Test ₄	0,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Test ₅	0,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Test ₆	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Test ₇	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця 4.3 – Накопичення нечітких ваг спрацьовування правил в стані $State_3 \in STATES$

Тест	Нечіткі ваги $W(Rule_i) \in W(RULES)$ спрацьовування правил									
	$Rule_i \in RULES$									
	Rule ₁	Rule ₂	Rule ₃	Rule ₄	Rule ₅	Rule ₆	Rule ₇	Rule ₈	Rule ₉	Rule ₁₀
Test ₁	0	0	0,33	0,50	0,20	0,17	0,25	0	0	0,25
Test ₂	0,14	0	0,33	0,50	0,20	0,17	0,25	0	0	0,25
Test ₃	0,14	0,25	0,66	0,50	0,20	0,34	0,25	0	0,50	0,50
Test ₄	0,14	0,25	1,00	0,50	0,20	0,40	0,50	0,33	0,50	0,50
Test ₅	0,28	0,25	1,00	0,50	0,20	0,40	0,50	0,33	0,50	0,50
Test ₆	0,43	0,25	1,00	0,50	0,20	0,40	0,50	0,33	0,50	0,50
Test ₇	0,58	0,25	1,00	0,50	0,20	0,40	0,50	0,33	0,50	0,50

На рисунку 4.9 наведено граф-модель, яка демонструє послідовність ідентифікації станів ЦОБД за наявною діагностичною інформацією при послідовному використанні частини з тестів $Test_i, i \in TESTS$.

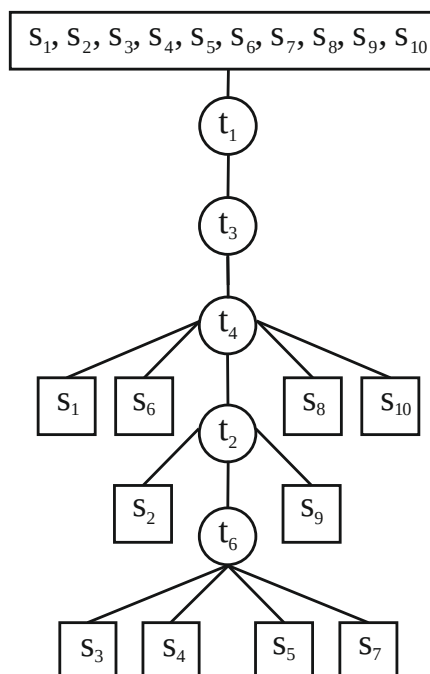


Рисунок 4.9 – Граф-модель накопичення діагностичної інформації при послідовному використанні частини тестів $Test_i \in TESTS$

4.3 Висновки

В четвертому розділі роботи виконано завершальні етапи розробки методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки. Зокрема, визначено принципи функціонування та схемної будови підсистем і блоків засобів реалізації методу. При цьому схемно реалізовані:

- підсистема тестових випробувань ЦОБД;
- блок фазифікації засобів реалізації методу;
- блок нечіткого логічного висновку засобів реалізації методу;
- блок дефазифікації засобів реалізації методу.

Узагальнення отриманих часткових схемних рішень окремих блоків дало змогу розробити схему організації засобів реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки.

Також в розділі проведена апробація методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки, яка підтвердила його ефективність.

ВИСНОВКИ

В роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень виконано розробку методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки. При розробці методу переслідувалась мета, що полягає у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування за рахунок використання можливостей нечіткої логіки для ідентифікації технічного стану об'єкта за умови нечіткості вихідних діагностичних даних.

Для реалізації програми досліджень виконано наступні роботи:

- проведено дослідження аналогії методів та задач технічної діагностики й нечіткої логіки, що можуть бути використані у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування.

- визначено принципи поєднання математичного апарату технічної діагностики і нечіткої логіки та розроблено модель методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки.

- сформульовано основні положення методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки, на основі яких розроблено алгоритм реалізації методу та надано його детальний опис.

- визначено структуру і розроблено схему засобів реалізації методу.

- проведено апробацію запропонованого методу та алгоритмів його реалізації на основі даних діагностичного експерименту, що засвідчило можливість досягти ефективної ідентифікації технічного стану цифрового об'єкта діагностування за скорочення наявних діагностичних даних на 28%.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Алгоритм синтезу дискретних тестів на основі еволюційних теорій / І.В. Гурман та ін. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. 2022. № 3. С. 40-43.
2. Сумцов А.Л. Технічна діагностика та неруйнівний контроль. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 10 с.
3. Технічна діагностика. ДП «Сумський ЕТЦ». URL: <http://www.etc.sumy.ua/poslugi/tekhnichna-diagnostika>. (дата звернення: 11.10.2022).
4. Математична модель процесу діагностування для схем оперативної пам'яті із довільним доступом / Р. Л. Гаврилук та ін. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. 2019. №2. С. 99-101.
5. Кравчук Р.В., Стецюк О.І., Чешун В.М. Функціональний підхід в діагностуванні цифрових процесорів та елементів пам'яті. *Вимірювальна та обчислювальна техніка у технологічних процесах*. 2018. №2. С. 106-110.
6. Кирик В.В. Математичний апарат штучного інтелекту у електроенергетичних системах: підручник. Київ: «Політехніка» 2019. 224с.
7. Удовенко С.Г., Келембет Д.В., Тесленко О.В. Комбінований метод нечіткої кластеризації даних у системах технічної діагностики. *Системи обробки інформації*. 2020. Випуск 1 (160). С.7-17
8. Johnson Daniel Fuzzy Logic Tutorial: What is, Architecture, Application, Example. By Updated November 19, 2022. URL:<https://www.guru99.com/what-is-fuzzy-logic.html>. (дата звернення: 11.10.2022).
9. Використання нечітких нейронних мереж у задачах контролю й діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 в польотних режимах / Владов С. І. та ін. *Вісник Херсонського НТУ*. 2021. № 1. С. 77–86.
10. Використання нечітких баз знань з функціями належності типу-2 у медичній діагностиці наталія кондратенко. *Актуальні задачі медичної, біологічної фізики та інформатики*: Матеріали доповідей та виступів всеукраїнської НПК. 2022. Вінниця: Едельвейс. С.82-87.
11. Tazeen Tasneem, Mir Md. Jahangir Kabir, Shuxiang Xu, Tabeen Tasneem

Diagnosis of Cardiovascular Diseases using Artificial Intelligence Techniques. *International Journal of Computer Applications*. 2021. №183(3). P.1-25.

12. Sahoo A., Baitalik S. Fuzzy Logic, Artificial Neural Network, and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Methodology for Soft Computation and Modeling of Ion Sensing Data of a Terpyridyl-Imidazole Based Bifunctional Receptor. *Original research article. Theoretical and Computational Chemistry*. 2022. P.973-995.

13. Sineglazov V.M., Kusyk A.V. Adaptive Testing System Based on the Fuzzy Logic. *Electronics and Control Systems*/ 2018. N2(56): P.85-91.

14. Басюк Н.В., Булило І.І. Аналіз поточного стану комп'ютерної системи на основі нечіткої логіки. *Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі*: Матеріали НПК Тернопіль: Видавництво ТНЕУ, 2019. С. 22.

15. Басюк Н.В., Булило І.І. Застосування нечіткого контролера для системи кондиціонування. *Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі*: Матеріали НПК Тернопіль: Видавництво ТНЕУ, 2019. С. 13.

16. Кондратенко Ю.П., Кондратенко Г.В., Сіденко Є.В.; Нечіткі множини та нечітка логіка. Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2019. 36 с.

17. Нечітка логіка. URL: https://pidru4niki.com/72426/ekologiya/nechitka_logika (дата звернення: 11.10.2022).

18. Багнюк Є.В., Горбач Г.С., Чешун В.М. Принципи реалізації методу адаптивного синтезу тестових послідовностей в процесі перевірки цифрових об'єктів діагностування. *Інтелектуальний потенціал – 2019*: Збірник НП. – Хмельницький: ПВНЗ УЕП, 2019. Ч.5. С.4-17.

19. Al Gizi AJH. Fuzzy Logic Control Design and Implementation with DC-DC Boost Converter. *EAI Endorsed Trans Context Aware Syst App*. 2022. P.1-10.

20. Fuzzy Logic Systems for Diagnosis of Renal Cancer / Nikita Jindal and ets. *Artificial Intelligence and Beyond in Medical and Healthcare Engineering*. 2020. Volume 10. Issue 10. P.43-62.

21. Моделі на основі нечіткої логіки і теорії опитувальників в технічній діагностиці цифрових пристроїв / Солтис В.М. та ін. *Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє*: Тези доповідей XVIII Міжнародної НПК. 25 листоп. 2022 р. Київ : ВІКНУ, 2022. Т. 1. С. 70–71.

Додаток А
(обов'язковий)
Копії публікацій

Друга і третя групи методів засновані на аналізі кількісних показників, але вони істотно відрізняються один від одного.

Методи прогнозування часових рядів пов'язані з дослідженням ізольованих один від одного показників, кожен з яких складається з двох елементів: з прогнозу детермінованої компоненти і прогнозу випадкової компоненти.

Розробка першого прогнозу не представляє великих труднощів, якщо визначена основна тенденція розвитку і можлива її подальша екстраполяція. Прогноз випадкової компоненти складніший, оскільки її появу можна оцінити лише з деякою вірогідністю.

У основі казуальних методів лежить спроба знайти чинники, що визначають поведінку прогнозованого показника.

Пошук цих чинників приводить власне до економіко-математичного моделювання – побудови моделі поведінки економічного об'єкту, що враховує розвиток взаємозв'язаних явищ і процесів. І тут важливо підкреслити перевагу економічного аналізу перед чисто статистичними методами вивчення процесу.

При прогнозуванні обсягів продажів по багатьом видам товарів експертні методи не підходять через велику вартість побудови прогнозу. Казуальні методи не підходять через необхідність виконання великого обсягу робіт по визначенню чинників, що впливають на поведінку прогнозованого показника. Найбільш прийнятними є методи прогнозування часових рядів.

До методів прогнозування часових рядів відносяться: ковзаючи середнє; експоненціальне згладжування; авторегресійні моделі; методологія Бокса-Дженкінса; нейронні мережі.

Методологія Бокса-Дженкінса є найбільш прийнятною для прогнозування попиту в задачах управління запасами. Вона не передбачає наявності яких не будь особливих структур в даних числового ряду, адже використовує ітеративний підхід до визначення можливих моделей із загального класу моделей.

Солтис В.М. (ХмНУ)

к.т.н., доц. Чешун В.М. (ХмНУ)

к.військ.н., с.н.с. Попков Б.О. (ВІКНУ)

Халіманенко С.М. (ВІКНУ)

МОДЕЛІ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ І ТЕОРІЇ ОПИТУВАЛЬНИКІВ В ТЕХНІЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ

На сьогодні розробка якісних тестів для перевірки сучасних цифрових пристроїв за фінансовими і часовими витратами значно перевищує вартість самих виробів, що зумовлює потребу у автоматизації синтезу тестів і

застосуванні інтелектуальних алгоритмів і засобів розв'язування діагностичних задач. Одним із перспективних напрямків інтелектуалізації у технічній діагностиці цифрових пристроїв є застосування математичного апарату теорії нечітких множин та нечіткої логіки. На основі нечітких експертних оцінок можна зробити прогноз можливих причин відмов, якщо відомі попередні оцінки наявних ознак, та класифікувати стани об'єкта діагностування (ОД).

Основні етапи формування системи технічної діагностики на основі використання нечітких методів [1]: створення інформаційної моделі ОД; створення на цій основі нечіткої моделі, що описує поведінку об'єкта; формування блоку прийняття рішень та видачі рекомендацій.

На користь моделей на основі нечіткої логіки діє їх гнучкість щодо завдань і потреб технічної діагностики. Можливі різні варіанти формування правил нечіткого висновку та результуючої моделі. При створенні моделі без узагальнюючого параметра всі можливі стани ОД можуть бути приведені до двох типів – працездатний і непрацездатний, або до кількох станів. Для моделі з узагальнюючим параметром із приватних інформативних параметрів вибирається критеріальний; його зміна дозволяє максимально характеризувати якість ОД. Узагальнюючий параметр також можна розрахувати як безрозмірний показник технічного стану, який описується одновимірною функцією, числові значення якої залежать від контрольованих складових процесу [1].

Певним недоліком моделей нечіткої логіки є мала наочність і адаптованість до традиційних моделей технічної діагностики, що зумовило зацікавленість у їх поєднанні з моделями теорії опитувальників. Поєднання моделей нечіткої логіки і теорії опитувальників дало наступні результати: наочне відображення шляхів формування нечіткого висновку на деревовидних графових моделях [2]; сумісність з табличними моделями анкет опитувальників; легкий перехід до традиційних для технічної діагностики матриць покриття тощо.

АЛГОРИТМИ НЕЧІТКОГО ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕСТУВАННЯ ЦИФРОВОГО ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ

В технічній діагностиці і в реальному житті часто виникають ситуації, коли неможливо однозначно вирішити, є твердження істинним чи хибним. В умовах постійного і незупинного зростання складності цифрових електронних компонентів і пристроїв залишається актуальною проблема ефективної організації їхньої діагностики, для вирішення якої може застосовуватись нечітка логіка.

В статті надано опис базових положень методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки та наведені алгоритми реалізації основних його етапів: узагальнений алгоритм реалізації тестових випробувань, алгоритм формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix за розрахунковим підходом, алгоритм формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix за експертним підходом, алгоритм формування нечіткого логічного висновку та алгоритм дефазифікації з постановкою діагнозу про ідентифікацію технічного стану об'єкта діагностування.

Ключові слова: тестове діагностування, цифровий об'єкт діагностування, нечітка логіка.

SOLTYS V., KHMELNYTSKYI Yu., CHESHUN V.
Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

ALGORITHMS FOR FUZZY EVALUATION OF THE TESTING RESULTS OF A DIGITAL OBJECT OF DIAGNOSTICS

In technical diagnostics and in real life, situations often arise when it is impossible to unequivocally decide whether a statement is true or false. In the conditions of constant and unstoppable growth in the complexity of digital electronic components and devices, the problem of effective organization of their diagnostics remains relevant, for the solution of which fuzzy logic can be applied.

The article provides a description of the basic provisions of the method of organizing test trials of a digital object of diagnosis using fuzzy logic and the algorithms for implementing its main stages: a generalized algorithm for the implementation of test trials, an algorithm for forming a matrix of membership weighting coefficients MembershipMatrix according to a calculation approach, an algorithm for forming a matrix of weighting coefficients of membership MembershipMatrix according to an expert approach, an algorithm for forming a fuzzy logical conclusion and a defuzzification algorithm with a diagnosis of identifying the technical condition of the object of diagnosis.

Key words: test diagnostics, digital diagnostic object, fuzzy logic.

Вступ. Постановка проблеми. Технічна діагностика, завдяки ранньому виявленню дефектів та несправностей, дозволяє усунути подібні відмови у процесі технічного обслуговування, що підвищує надійність та ефективність експлуатації, а також дає можливість експлуатації технічних систем відповідно призначення за справним станом.

Аналіз підходів і методів організації тестових випробувань цифрових об'єктів діагностування із дозволяє дійти ствердження, що досягнення у підвищенні інтегральної складності і функціональності цифрових компонентів та пристроїв, реалізованих на їх основі, мають негативні наслідки для організації діагностичних тестових випробувань. Це породжує інтерес до автоматизації процесів організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосування нових методів. У зв'язку з необхідністю урахування значної кількості факторів і параметрів та використання нетрадиційних підходів при реалізації тестів, найбільш актуальною на сьогодні є розробка інтелектуальних методів, технік та засобів вирішення діагностичних завдань, одним із різновидів яких є методи на основі нечіткої логіки.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування за рахунок використання можливостей нечіткої логіки для ідентифікації технічного стану об'єкта за умови нечіткості вихідних діагностичних даних.

Виклад основного матеріалу. В реалізації методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки можна виділити два основних етапи:

- реалізація тестових випробувань ЦОБД;
- формування висновку щодо приналежності отриманих відповідей-реакцій ЦОБД можливим його технічним станам.

Обидва цих етапи складається з сукупності підетапів, кожен з яких має спец особливості алгоритмічної реалізації і оперує з певними вхідними даними і формує власні вихідні дані, які можуть бути фінальними в

процесі і вхідними в наступному.

Розглянемо специфіку реалізації тестових випробувань ЦОБД у відповідності до визначених у попередньому підрозділі базових положень і потреб методу.

У методі організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки будемо спиратися на найпростішу модель алгоритму діагностування. Алгоритм технічного діагностування розглядаємо в найкласичнішому варіанті як сукупність інструкцій про порядок проведення тестових випробувань, в якій чітко визначено набір і послідовність подання на ЦОБД тестів, який є безумовним (не змінюється залежно від умов проходження тесту і особливостей відповідей-реакцій ЦОБД) і сталим. В процесі діагностування отримуються і накопичуються відповіді-реакції ЦОБД, які піддаються аналізу з метою прийняття рішення про ідентифікацію стану ЦОБД або про застосування наступного тесту, уточнюючого недостатні результати для прийняття рішення.

Для проведення діагностування нам потрібна тестова послідовність, яку в математичній моделі методу ми визначили як множину TESTS, що містить перелік тестів, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів об'єкта діагностування.

Тестова послідовність TESTS подається на ЦОБД, а з контрольних точок ЦОБД зчитуються відповіді-реакції, які накопичуються і утворюють множину $R(TESTS)$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації технічних станів ЦОБД.

Отримувана множина $R(TESTS)$ відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$ і є шуканим виходом діагностичного експерименту.

Таким чином, є можливість дати опис алгоритму діагностування (етап тестування) згідно методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки.

Алгоритм 3.1. Узагальнений алгоритм реалізації тестових випробувань.

3.1.11. Ввести опис тесту – множину TESTS, що містить перелік тестів $Test_i \in TESTS$ у послідовності, відповідній потребам експерименту.

3.1.12. Ініціювати лічильник використаних тестів: $i=1$.

3.1.13. Обрати тест $Test_i \in TESTS$.

3.1.14. Виконати $Test_i \in TESTS$.

3.1.15. Зафіксувати відповіді-реакції ЦОБД $R(Test_i)$ на тест $Test_i \in TESTS$.

3.1.16. Занести отримані відповіді-реакції ЦОБД $R(Test_i)$ до множини $R(TESTS)$, що накопичує перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$.

3.1.17. Збільшити лічильник використаних тестів: $i = i+1$.

3.1.18. Перевірити умову наявності ще не використаних тестів $i \leq |TESTS|$.

3.1.19. Якщо $i \leq |TESTS|$ (не всі тести виконано), перейти до п.3.1.3.

3.1.20. Кінець алгоритму.

Результати тестових перевірок у вигляді множини $R(TESTS)$, що містить перелік описів реальних, отримуваних в процесі діагностування відповідей-реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, переходять на наступний етап діагностичного процесу – у систему обробки і прийняття рішень, де піддаються аналізу з метою прийняття рішення про ідентифікацію стану ЦОБД або про застосування наступного тестового набору, уточнюючого недостатні результати для прийняття рішення для ідентифікації стану ЦОБД.

Чіткими виходами для організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки є відповідні реакції ЦОБД $R(Test_i) \in R(TESTS)$, а також елементи $Reaction_i$ множини REACTIONS, що містить перелік описів можливих реакцій ЦОБД на застосування тестів $Test_i \in TESTS$, синтезованих для використання в ході ідентифікації різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$. Також до чітких виходів слід віднести сама множина STATES, що містить перелік різноманітних технічних станів ЦОБД $State_i$, а також матрицю покриття CoatingMatrix технічних станів ЦОБД $State_i \in STATES$ застосуванням набору тестів $Test_i \in TESTS$.

Першою йде процедура (алгоритм) фазифікації, яка має конвертувати вхідні чіткі дані в нечіткі. Фазифікація в методі передбачає визначення значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для кожного з станів $State_i \in STATES$.

За розрахунковим підходом ваговий коефіцієнт приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$ визначається пропорційним розподілом загальної максимальної ваги приналежності між усіма тестами, що забезпечують прояв характерних для стану $State_i \in STATES$ несправностей на значення відповідних реакцій ЦОБД $R(Test_i) \in R(TESTS)$, що проявляється як неспівпадання реально отриманого значення відповіді-реакції і еталонного, тобто, $R(Test_i) \neq Reaction_i$.

Таким чином, є можливість дати опис алгоритму формування значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$ у вигляді матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix за розрахунковим підходом.

Алгоритм 3.2. Формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix за розрахунковим підходом.

3.2.19. Ввести матрицю покриття CoatingMatrix.

3.2.20. Ініціювати лічильник станів: $j=1$.

3.2.21. Ініціювати лічильник тестів: $i=1$.

3.2.22. Ініціювати лічильник виявлених активних тестів $Test_i \in TESTS$ для перевірки стану

$State_i \in STATES$ рівним нулю: $k=0$.

3.2.23. Збільшити лічильник виявлених активних тестів $Test_i \in TESTS$ для перевірки стану $State_i \in STATES$ на значення $CM_{ij} \in CoatingMatrix$ (якщо тест $Test_i \in TESTS$ для перевірки стану $State_i \in STATES$ не є придатним, $CM_{ij}=0$; якщо тест $Test_i \in TESTS$ для перевірки стану $State_i \in STATES$ є придатним, $CM_{ij}=1$). Так визначиться кількість тестів $Test_i \in TESTS$, придатних для перевірки стану $State_i \in STATES$: $k = k + CM_{ij}$.

3.2.24. Збільшити лічильник опрацьованих тестів: $i = i + 1$.

3.2.25. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих тестів $i \leq |TESTS|$.

3.2.26. Якщо $i \leq |TESTS|$ (не всі тести перебрано), перейти до п.3.2.5.

3.2.27. Визначити усереднений показник вагового коефіцієнту приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$: $\Delta MM = 1/k$.

3.2.28. Ініціювати лічильник тестів: $i = 1$.

3.2.29. Розрахувати і зафіксувати у матриці вагових коефіцієнтів приналежності $MembershipMatrix$ значення вагового коефіцієнту приналежності тесту $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для стану $State_i \in STATES$: $MM_{ij} = CM_{ij} * \Delta MM$.

3.2.30. Збільшити лічильник опрацьованих тестів: $i = i + 1$.

3.2.31. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих тестів $i \leq |TESTS|$.

3.2.32. Якщо $i \leq |TESTS|$ (не всі тести перебрано), перейти до п.3.2.11.

3.2.33. Збільшити лічильник опрацьованих станів: $j = j + 1$.

3.2.34. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих станів $j \leq |STATES|$.

3.2.35. Якщо $j \leq |STATES|$ (не всі стани перебрано), перейти до п.3.2.3.

3.2.36. Кінець алгоритму.

Результатом роботи алгоритму формування матриці $MembershipMatrix$ вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$ за розрахунковим підходом (алгоритму 3.3) буде заповнена матриця вагових коефіцієнтів приналежності $MembershipMatrix$, в якій в різних стовпчиках кількість відмінних від 0 значень може відрізнятись, але в кожному стовпчику будуть зустрічатись тільки нульові або однакові усереднені значення $\Delta MM = 1/k$ і сума в стовпчику буде завжди 1.

Більш гнучким є експертний метод оцінювання значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$, в якому всі значення задаються експертами.

Таким чином, є можливість дати опис алгоритму формування значень вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$ у вигляді матриці вагових коефіцієнтів приналежності $MembershipMatrix$ за експертним підходом.

Алгоритм 3.3. Формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності $MembershipMatrix$ за експертним підходом.

3.3.13. Ввести матрицю покриття $CoatingMatrix$.

3.3.14. Ініціювати лічильник станів: $j = 1$.

3.3.15. Ініціювати лічильник тестів: $i = 1$.

3.3.16. Видати запит на введення експертного значення вагового коефіцієнту MM_{ij} приналежності тесту $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для стану $State_i \in STATES$.

3.3.17. Зафіксувати у матриці вагових коефіцієнтів приналежності $MembershipMatrix$ введені значення вагового коефіцієнту приналежності тесту $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для стану $State_i \in STATES$: $MM_{ij} = CM_{ij} * \Delta MM$.

3.3.18. Збільшити лічильник опрацьованих тестів: $i = i + 1$.

3.3.19. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих тестів $i \leq |TESTS|$.

3.3.20. Якщо $i \leq |TESTS|$ (не всі тести перебрано), перейти до п.3.3.4.

3.3.21. Збільшити лічильник опрацьованих станів: $j = j + 1$.

3.3.22. Перевірити умову наявності ще не опрацьованих станів $j \leq |STATES|$.

3.3.23. Якщо $j \leq |STATES|$ (не всі стани перебрано), перейти до п.3.3.3.

3.3.24. Кінець алгоритму.

Результатом роботи алгоритму формування матриці $MembershipMatrix$ вагових коефіцієнтів приналежності тестів $Test_i \in TESTS$ ідентифікуючим тестам для певного стану $State_i \in STATES$ за експертним підходом (алгоритму 3.3) буде заповнена матриця вагових коефіцієнтів приналежності $MembershipMatrix$, в якій в різних стовпчиках кількість відмінних від 0 значень може відрізнятись як і самі значення в межах стовпчика та суми по стовпчиках.

Наступний етап реалізації методу організації тестових випробувань ЦОБД із застосуванням нечіткої логіки процедура (алгоритм) формування логічного висновку. Формування логічного висновку базується на застосуванні бази правил, принципи формування яких детально розглянуто при описі базових положень методу.

Механізм логічного висновку допомагає визначити ступінь відповідності нечітких введення фаззифікації та правилам. Тобто, за результатами процедури (алгоритму) формування логічного висновку має бути сформований показник ступеня відповідності нечітких введення фаззифікації та правилам, за яким правила об'єднуються для рішення і вироблення контрольних дій. Формування логічного висновку полягає у перевірці правил, які визначають і оцінюють ступінь відповідності результатів тестування ідентифікації певного стану ЦОБД $State_i \in STATES$. Кожне правило $Rule_i \in RULES$ сформоване стосовно певного технічного стану ЦОБД

$State_i \in STATES$ експертами або на підставі експертних знань і повинне включати в себе всі чітко визначені ознаки прояву властивостей стану ЦОБД $State_i \in STATES$ у реакціях $R(Test_i) \in R(TESTS)$ на застосування кожного тесту $Test_i \in TESTS$, який ініціює прояв характерних ознак стану $State_i \in STATES$, що визначається за реакціями ЦОБД $R(Test_i) = Reaction_i$ або $R(Test_i) \neq Reaction_i$.

На основі цього даємо опис алгоритму формування нечіткого логічного висновку.

Алгоритм 3.4. Формування логічного висновку.

3.4.13. Ввести матрицю вагових коефіцієнтів приналежності $MembershipMatrix$.

3.4.14. Завантажити базу правил $RULES$.

3.4.15. Ініціювати лічильник правил: $j=1$.

3.4.16. Обрати з бази правил $RULES$ правило $Rule_i \in RULES$ сформоване для перевірки виявлення ознак технічного стану ЦОБД $State_i \in STATES$.

3.4.17. Перевірити умови типу $R(Test_i) = Reaction_i$ і $R(Test_i) \neq Reaction_i$, передбачені правилом $Rule_i \in RULES$.

3.4.18. Перевірити ознаки виконання правила $Rule_i \in RULES$.

3.4.19. Якщо ознаки виконання правила $Rule_i \in RULES$ не виявлено, перейти до п.3.4.9.

3.4.20. Визначити показник $W(Rule_i) \in W(RULES)$ ступіня відповідності результатів тестування вимогам щодо ідентифікації стану ЦОБД $State_i \in STATES$ за правилом $Rule_i \in RULES$.

3.4.21. Збільшити лічильник опрацьованих правил: $j = j + 1$.

3.4.22. Перевірити умову наявності ще не перевірених правил $j \leq |RULES|$.

3.4.23. Якщо $j \leq |RULES|$ (не всі правила перевірено), перейти до п.3.4.4.

3.4.24. Кінець алгоритму.

І останнім етапом є дефазифікація – перетворення нечітких множин у чітке значення. Дефазифікація полягає у використанні оціночних значень приналежності стану ЦОБД кожному із станів $State_i \in STATES$ для для остаточного рішення і вироблення контрольних дій.

Дефазифікація проводиться як оцінка ступеня перевищення максимального показника істинності правил відносно найближчого до нього. Якщо різниця дорівнює 1, відповідний цьому показнику стан є ідентифікованим. Якщо різниця не менша за задане значення необхідної переваги ΔW , то відповідний цьому показнику стан є ідентифікованим із допустимим показником достовірності. Якщо різниця менша за задане значення необхідної переваги ΔW , то жоден стан не є ідентифікованим із допустимим показником достовірності і необхідними визнаються додаткові уточнюючі тестові випробування, вибір тесту для яких доцільно виконувати з урахуванням отриманих результатів.

Алгоритм 3.5. Дефазифікація.

3.5.27. Завантажити масив результатів перевірки правил $W(RULES)$.

3.5.28. Ввести значення необхідної переваги ΔW .

3.5.29. Ініціювати лічильник правил: $i=1$.

3.5.30. Ініціювати змінну для зберігання номера ідентифікованого стану $N=0$.

3.5.31. Ініціювати змінну для зберігання максимального значення істинності правила першим значенням: $W_{max1}=0$.

3.5.32. Ініціювати змінну для зберігання найближчого до максимального значення істинності правила: $W_{max2}=0$.

3.5.33. Обрати з бази $W(RULES)$ значення $W(Rule_i) \in W(RULES)$.

3.5.34. Перевірити умову $W(Rule_i) \geq W_{max1}$.

3.5.35. Якщо умова $W(Rule_i) > W_{max1}$ не дісна, перейти до п.3.5.12.

3.5.36. Присвоїти $W_{max2} = W_{max1}$.

3.5.37. Присвоїти $W_{max1} = W(Rule_i)$.

3.5.38. Перевірити умову $W(Rule_i) > W_{max2}$.

3.5.39. Якщо умова $W(Rule_i) > W_{max2}$ не дісна, перейти до п.3.5.15.

3.5.40. Присвоїти $W_{max2} = W(Rule_i)$.

3.5.41. Збільшити лічильник опрацьованих значень: $i = i + 1$.

3.5.42. Перевірити умову наявності ще не перевірених значень $i \leq |W(RULES)|$.

3.5.43. $i \leq |W(RULES)|$ (не всі значення перевірено), перейти до п.3.5.7.

3.5.44. Перевірити умову $W_{max1}=0$.

3.5.45. Якщо $W_{max1}=0$, вивести повідомлення: «За результатами тестування жоден стан ЦОБД не є ідентифікованим, експеримент невдалий».

3.5.46. Перевірити умову $W_{max1} - W_{max2} = 1$.

3.5.47. Якщо $W_{max1} - W_{max2} = 1$, вивести повідомлення: «За результатами тестування ідентифіковано стан ЦОБД №» N , інакше перейти до п.3.5.22.

3.5.48. Перевірити умову $W_{max1} - W_{max2} \geq \Delta W$.

3.5.49. Якщо $W_{max1} - W_{max2} \geq \Delta W$, вивести повідомлення: «За результатами тестування за перевищенням заданого рівня переваги ідентифіковано стан ЦОБД №» N .

3.5.50. Перевірити умову $W_{max1} - W_{max2} < \Delta W$.

3.5.51. Якщо $W_{max1} - W_{max2} < \Delta W$, вивести повідомлення: «За результатами тестування не досягнуто перевищення заданого рівня переваги. Потрібні додаткові випробування».

3.5.52. Кінець алгоритму.

Висновки

В статті надано опис базових положень методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки та наведені алгоритми реалізації основних його етапів: узагальнений алгоритм реалізації тестових випробувань, алгоритм формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності *MembershipMatrix* за розрахунковим підходом, алгоритм формування матриці вагових коефіцієнтів приналежності *MembershipMatrix* за експертним підходом, алгоритм формування нечіткого логічного висновку та алгоритм дефазифікації з постановкою діагнозу про ідентифікацію технічного стану об'єкта діагностування.

Література

22. Алгоритм синтезу дискретних тестів на основі еволюційних теорій / І.В. Гурман та ін. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. 2022. № 3. С. 40-43.
23. Сумцов А.Л. Технічна діагностика та неруйнівний контроль. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 10 с.
24. Математична модель процесу діагностування для схем оперативної пам'яті із довільним доступом / Р. Л. Гаврилюк та ін. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. 2019. №2. С. 99-101.
25. Кравчук Р.В., Стецюк О.І., Чешун В.М. Функціональний підхід в діагностуванні цифрових процесорів та елементів пам'яті. *Вимірювальна та обчислювальна техніка у технологічних процесах*. 2018. №2. С. 106-110.
26. Кирик В.В. Математичний апарат штучного інтелекту у електроенергетичних системах: підручник. Київ: «Політехніка» 2019. 224с.
27. Удовенко С.Г., Келембет Д.В., Тесленко О.В. Комбінований метод нечіткої кластеризації даних у системах технічної діагностики. *Системи обробки інформації*. 2020. Випуск 1 (160). С.7-17
28. Johnson Daniel Fuzzy Logic Tutorial: What is, Architecture, Application, Example. By Updated November 19, 2022. URL:<https://www.guru99.com/what-is-fuzzy-logic.html>. (дата звернення: 11.10.2022).
29. Tazeen Tasneem, Mir Md. Jahangir Kabir, Shuxiang Xu, Tabeen Tasneem Diagnosis of Cardiovascular Diseases using Artificial Intelligence Techniques. *International Journal of Computer Applications*. 2021. №183. P.1-25.
30. Sahoo A., Baitalik S. Fuzzy Logic, Artificial Neural Network, and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Methodology for Soft Computation and Modeling of Ion Sensing Data of a Terpyridyl-Imidazole Based Bifunctional Receptor. *Original research article. Theoretical and Computational Chemistry*. 2022. P.973-995.
31. Sineglazov V.M., Kussyk A.V. Adaptive Testing System Based on the Fuzzy Logic. *Electronics and Control Systems*/ 2018. N2(56): P.85-91.
32. Басюк Н.В., Булило І.І. Аналіз поточного стану комп'ютерної системи на основі нечіткої логіки. *Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі*: Матеріали НПК Тернопіль: Видавництво ТНЕУ, 2019. С. 22.
33. Багнюк Є.В., Горбач Г.С., Чешун В.М. Принципи реалізації методу адаптивного синтезу тестових послідовностей в процесі перевірки цифрових об'єктів діагностування. *Інтелектуальний потенціал – 2019*: Збірник НП. – Хмельницький: ПВНЗ УЕП, 2019. Ч.5. С.4-17.
34. Al Gizi AJH. Fuzzy Logic Control Design and Implementation with DC-DC Boost Converter. *EAI Endorsed Trans Context Aware Syst App*. 2022. P.1-10.
35. Fuzzy Logic Systems for Diagnosis of Renal Cancer / Nikita Jindal and ets. *Artificial Intelligence and Beyond in Medical and Healthcare Engineering*. 2020. Volume 10. Issue 10. P.43-62.
36. Моделі на основі нечіткої логіки і теорії опитувальників в технічній діагностиці цифрових пристроїв / Солтис В.М. та ін. *Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє*: Тези доповідей XVIII Міжнародної НПК. 25 листоп. 2022 р. Київ : ВІКНУ, 2022. Т. 1. С. 70–71.

Додаток Б
(обов'язковий)
Презентація роботи

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра кібербезпеки

Солтис Володимир Миколайович

Метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта
діагностування із застосуванням нечіткої логіки

спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: к.т.н., доцент **Чешун Віктор Миколайович**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Мета кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування за рахунок використання можливостей нечіткої логіки для ідентифікації технічного стану об'єкта за умови нечіткості вихідних діагностичних даних.

Об'єктом дослідження є процес діагностування об'єктів цифрової електроніки.

Предметом дослідження є методи формування діагностичного висновку за умови нечіткості або недостатності вихідних діагностичних даних.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Запропоновано математичну модель для організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування з урахуванням специфіки використання нечіткої логіки;
2. Розроблено метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки, що відрізняється від існуючих можливостю формування логічного висновку про стан об'єкта діагностування на мінімальних діагностичних даних, а також із урахуванням експертних або розрахункових оцінок коефіцієнтів приналежності результатів діагностування досліджуваним станам об'єкта діагностування.

Практична значимість отриманих результатів полягає у підвищенні ефективності процесу тестового діагностування цифрових об'єктів через збільшення кількості діагностичних експериментів із вірною ідентифікацією технічного стану об'єкта без виконання для цього додаткових тестових випробувань.

Задачі досліджень у роботі формуються наступним чином:

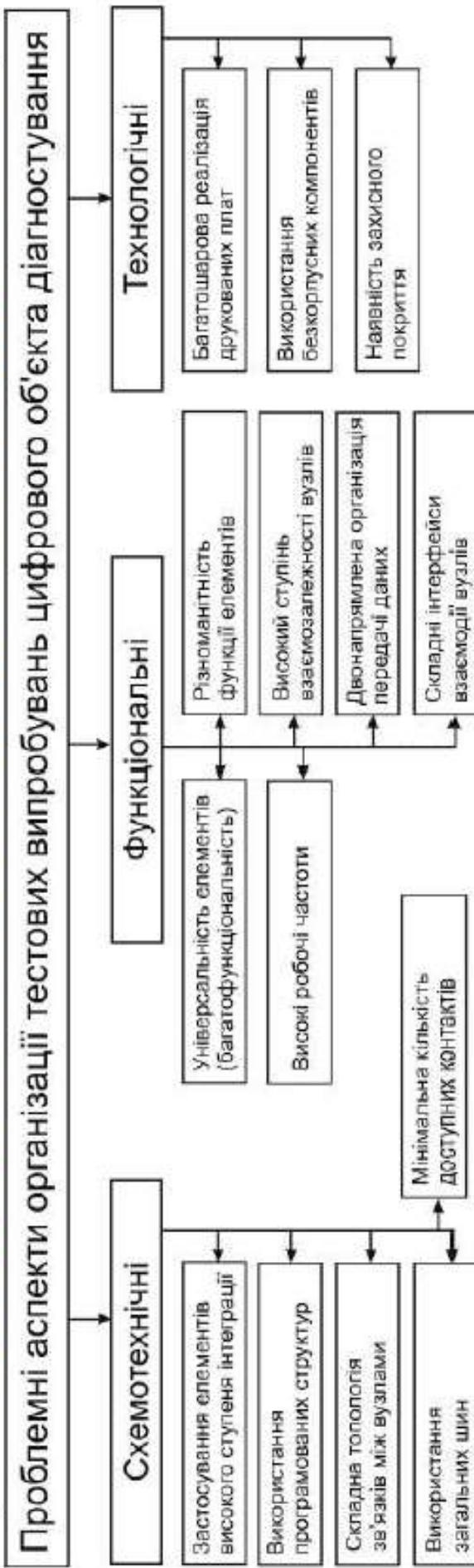
- а) виявити аналогії методів та задач технічної діагностики й нечіткої логіки, що можуть бути використані у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування;
- б) визначити основні положення методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки;
- в) розробити математичну модель методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки;
- г) здійснити алгоритмічну реалізацію методу;
- д) провести апробацію дієвості прийнятих теоретичних і алгоритмічних рішень методу.

Методи досліджень базуються на основних положеннях технічної діагностики, теорії тестового діагностування, теорії нечіткої логіки, теорії множин.

Апробація роботи. Наукові результати і основні положення магістерської роботи доповідались і обговорювались на університетській та міжнародній науково-практичних конференціях.

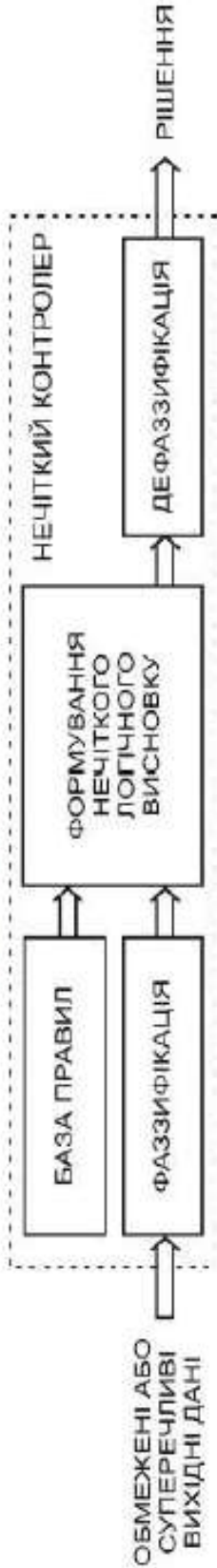
Публікації. За темою магістерської роботи підготована до видання 1 стаття у фаховому журналі та опублікована 1 теза доповідей на міжнародній науково-практичній конференції.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ТА ПЕРСПЕКТИВ В ПРЕДМЕТНІЙ ОБЛАСТІ



Висновок 1 : Наявні ускладнення організації тестових випробувань дуже часто зумовлюють потребу формування діагностичного висновку за умови нечіткості або недостатності вихідних діагностичних даних.

Системи з нечіткою логікою



Висновок 2 : Нечітка логіка є ефективним інструментом прийняття рішень за умови нечіткості, суперечливості або недостатності вихідних даних, що робить її застосування потенційно перспективним у задачах організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування відповідно до мети кваліфікаційної роботи

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕТОДУ

Загальне представлення

$M = \langle STATES, TESTS, R(TESTS), REACTIONS, CoatingMatrix, RULES, W(RULES), MembershipMatrix, \Delta W \rangle$

Елементи технічної діагностики

- STATES: $\{State_1, State_2, \dots, State_i, \dots, State_k\}$ – множина можливих станів об'єкта
- TESTS: $\{Test_1, Test_2, \dots, Test_i, \dots, Test_m\}$ – множина тестів, синтезованих для ідентифікації об'єкта $State_i \in STATES$
- R(TESTS): $\{R(Test_1), R(Test_2), \dots, R(Test_i), \dots, R(Test_m)\}$ – множина отримуваних відповідних реакцій об'єкта на тести $Test_i \in TESTS$
- REACTIONS: $\{Reaction_1, Reaction_2, \dots, Reaction_i, \dots, Reaction_m\}$ – множина еталонних значень відповідних реакцій на тести $Test_i \in TESTS$ (реакції справного об'єкта)
- CoatingMatrix – матриця покриття станів $State_i \in STATES$ тестами $Test_i \in TESTS$:

$$CM_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } State_j \in STATES \text{ не впливає на } R(Test_i) \in R(TESTS) \\ 1, & \text{якщо } State_j \in STATES \text{ впливає на } R(Test_i) \in R(TESTS) \end{cases}$$

Елементи нечіткої логіки

- RULES: $\{Rule_1, Rule_2, \dots, Rule_i, \dots, Rule_w\}$ – множина (база) правил нечіткої моделі
- W(RULES): $\{W(Rule_1), W(Rule_2), \dots, W(Rule_i), \dots, W(Rule_w)\}$ – множина нечітких ваг істинності контрольованих умов правил ідентифікації станів цифрового об'єкта діагностування
- MembershipMatrix – матриця нечітких вагових коефіцієнтів ефективності тестів $Test_i \in TESTS$ у ідентифікації станів $State_i \in STATES$
- ΔW – нижня межа необхідної переваги для формування

ВИСНОВКУ

Другий науковий результат

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДУ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕСТОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЦИФРОВОГО ОДІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

- нечітка логіка у методі використовується для формування найбільш прийнятного логічного висновку про технічний стан за умови нечіткості вихідних діагностичних даних
- метод реалізується в чотири етапи:
 - **тестові випробування** цифрового об'єкта діагностування з накопиченням множини відповідних реакцій на реалізовані тести
 - **фазифікація** – визначення нечітких вагових коефіцієнтів ефективності кожного із викристаних тестів $Test_i \in TESTS$ у ідентифікації станів $State_i \in STATES$ (формування матриці нечітких вагових коефіцієнтів ефективності MembershipMatrix)
 - **формування нечіткого логічного висновку** – оцінка ступеня істинності кожного правила ідентифікації технічних станів об'єкта (визначення нечітких ваг істинності правил $W(Rule_i) \in W(RULES)$)
 - **дефазифікація** – порівняння ступеня істинності правил $Rule_i \in RULES$ і формування остаточного чіткого висновку щодо ідентифікації технічного стану
- нечіткі правила формулюються з орієнтацією на нечіткий висновок про технічний стан об'єкта діагностування за результатами порівняння отримуваних відповідних реакцій з еталонними

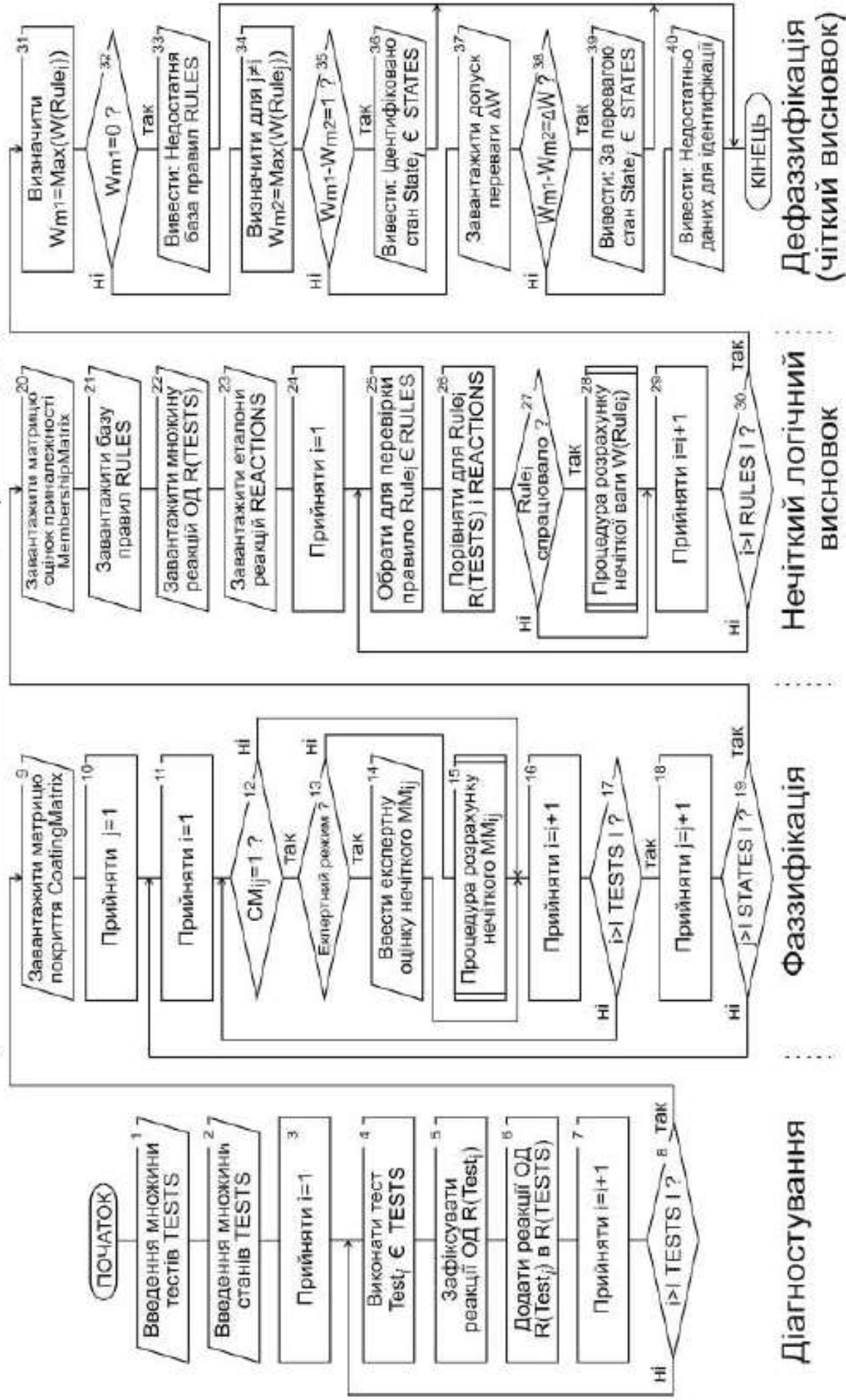
Зразки нечітких правил:

Rule₁: ЯКЩО $R(Test_1)=Reaction_1$ І $R(Test_2)=Reaction_2$ І $R(Test_3)=Reaction_3$ І $R(Test_4)=Reaction_4$ І $R(Test_5)=Reaction_5$ І $R(Test_6)=Reaction_6$ І $R(Test_7)=Reaction_7$ ТО "Справний стан"

Rule₂: ЯКЩО $R(Test_2) \neq Reaction_2$ АБО $R(Test_3) \neq Reaction_3$ АБО $R(Test_4) \neq Reaction_4$ АБО $R(Test_5) \neq Reaction_5$ АБО $R(Test_6) \neq Reaction_6$ АБО $R(Test_7) \neq Reaction_7$ ТО "Ознаки стану State₁ $\in STATES$ "

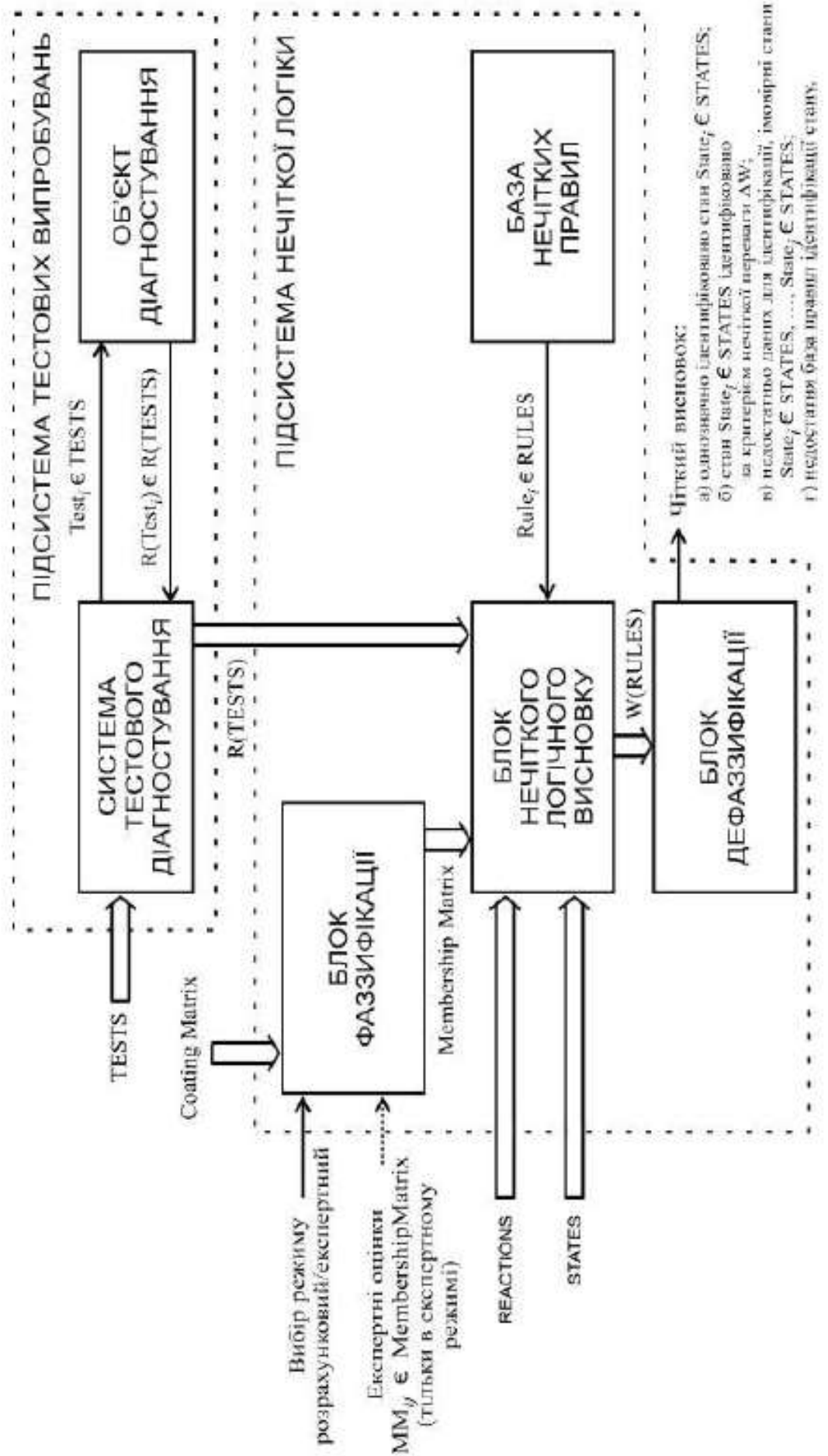
Rule₃: ЯКЩО $R(Test_1) \neq Reaction_1$ АБО $R(Test_2) \neq Reaction_2$ АБО $R(Test_3) \neq Reaction_3$ АБО $R(Test_4) \neq Reaction_4$ АБО $R(Test_5) \neq Reaction_5$ АБО $R(Test_6) \neq Reaction_6$ АБО $R(Test_7) \neq Reaction_7$ ТО "Ознаки стану State₂ $\in STATES$ "

АЛГОРИТМІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ



Другий науковий результат

УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРНА СХЕМА ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ



АПРОБАЦІЯ МЕТОДУ

Множина технічних станів цифрового об'єкта діагностування:

STATES: { State₁, State₂, State₃, State₄, State₅, State₆, State₇, State₈, State₉, State₁₀};

Множина тестів для ідентифікації технічних станів State_i ∈ STATES:

TESTS: {Test1, Test2, ..., Testi, ..., Testm}.

Бінарна матриця покриття CoatingMatrix:

	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	
CoatingMatrix	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	
	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	
	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	
	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	
	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	

Результати фазифікації – матриця нечітких вагових коефіцієнтів приналежності MembershipMatrix:

	0,14	0	0,33	0,5	0,2	0,17	0,25	0	0	0,25
	0,14	0,25	0	0	0,2	0,16	0,25	0	0	0,25
	0,14	0,25	0,33	0	0	0,17	0	0	0,5	0,25
MembershipMatrix	0,14	0	0,34	0	0	0,16	0,25	0,33	0	0
	0,14	0,25	0	0	0,2	0,17	0	0,33	0	0
	0,15	0,25	0	0	0,2	0	0,25	0,34	0,5	0
	0,15	0	0	0,5	0,2	0,17	0	0	0	0,25

Результати процедури нечіткого логічного висновку:

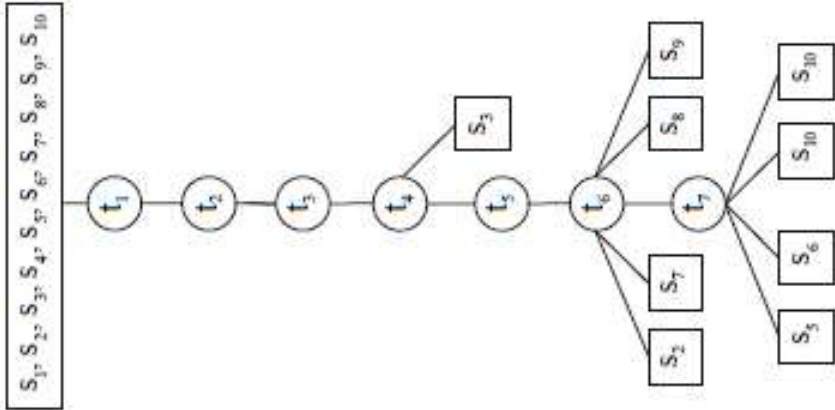
Test	Нечіткі ваги W(Rule _i) ∈ W(RULES) сприйняття правил Rule _i ∈ RULES									
	Rule ₁	Rule ₂	Rule ₃	Rule ₄	Rule ₅	Rule ₆	Rule ₇	Rule ₈	Rule ₉	Rule ₁₀
Test1	0	0	0,33	0,50	0,20	0,17	0,25	0	0	0,25
Test2	0,14	0	0,33	0,50	0,20	0,17	0,25	0	0	0,25
Test3	0,14	0,25	0,56	0,50	0,20	0,34	0,25	0	0,50	0,50
Test4	0,14	0,25	1,00	0,50	0,20	0,40	0,50	0,33	0,50	0,50
Test5	0,28	0,25	1,00	0,50	0,20	0,40	0,50	0,33	0,50	0,50
Test6	0,43	0,25	1,00	0,50	0,20	0,40	0,50	0,33	0,50	0,50
Test7	0,58	0,25	1,00	0,50	0,20	0,40	0,50	0,33	0,50	0,50

Дефазифікація : Ідентифіковано стан №3 за нечіткої переваги 0,42 (42%)

Нечітке дерево повного

діагностичного

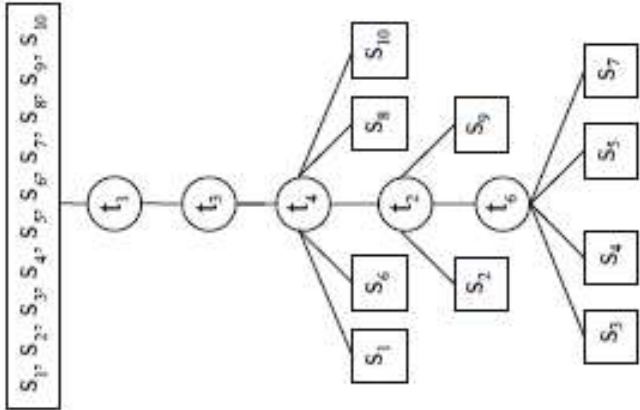
експерименту



Нечітке дерево неповного

діагностичного

експерименту



В обох випадках метод забезпечує ідентифікацію будь-якого технічного стану цифрового об'єкта діагностування State_i ∈ STATES

ВИСНОВКИ

В роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень виконано розробку методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки. При розробці методу переслідувалась мета, що полягає у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування за рахунок використання можливостей нечіткої логіки для ідентифікації технічного стану об'єкта за умови нечіткості вихідних діагностичних даних.

Для реалізації програми досліджень виконано наступні роботи:

- проведене дослідження аналогії методів та задач технічної діагностики й нечіткої логіки, що можуть бути використані у підвищенні ефективності організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування.
- визначено принципи поєднання математичного апарату технічної діагностики і нечіткої логіки та розроблено модель методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки.
- сформульовано основні положення методу організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки, на основі яких розроблено алгоритм реалізації методу та надано його детальний опис.
- визначено структуру і розроблено схему засобів реалізації методу.
- проведено апробацію запропонованого методу та алгоритмів його реалізації на основі даних діагностичного експерименту, що засвідчило можливість досягти ефективної ідентифікації технічного стану цифрового об'єкта діагностування за скорочення наявних діагностичних даних на 28%.

Завідувачу кафедри кібербезпеки
к.т.н., доц. Кльоцу Ю.П.
Солтиса Володимира Миколайовича
ПІБ здобувача вищої освіти
студента ФІТ, 2 курсу, групи КІм-21-1

ЗАЯВА

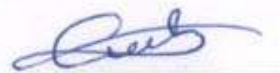
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

5.12.2022

дата



підпис

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 0.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 12%

ID: 109023 Название: Метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки Добавлено в БД: 2022-12-06 Авторы: Солтис Володимир Миколайович Руководители: Чешун Віктор Миколайович Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных
	Символы	Лексемы	
	128574	1690	
		421 (0%)	8 (0%)

Источник плагиата		
ID	Описание	Наличие плагиата в документе
		Символы Лексемы



Ім'я користувача:
Кафедра кібербезпеки

Дата перевірки:
06.12.2022 12:36:03 EET

Дата звіту:
06.12.2022 14:18:12 EET

ID перевірки:
1013209789

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100008300

Назва документа: Магістерська Солтис

Кількість сторінок: 89 Кількість слів: 19573 Кількість символів: 148069 Розмір файлу: 809.29 KB ID файлу: 1012971481

2.74% Схожість

Найбільша схожість: 0.59% з Інтернет-джерелом (<https://www.puc.pa.gov/pdocs/1753618.pdf>)

2.5% Джерела з Інтернету

132

Сторінка 91

0.85% Джерела з Бібліотеки

48

Сторінка 92

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

157

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КІБЕРБЕЗПЕКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки

Автор: Солтис Володимир Миколайович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Чешун Віктор Миколайович, к.т.н. доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Оригінальність тексту роботи за результатами перевірки системою Unicheck складає 97,26%, оригінальність тексту роботи за результатами перевірки системою Anti-Plagiarism v-15.257 складає 100%.

Згідно з Положенням про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті (<http://www.khnu.km.ua/root/files/01/10/03/0005.pdf>) така авторська робота, обсяг оригінального тексту у відсотках до загального обсягу матеріалу в якій складає 90-100 %, визнається роботою з високою унікальністю тексту.

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1. Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 2,74%, з яких 0,59% є збігами з одним джерелом, зумовленими наявністю типових фразеологічних виразів предметної області, а також формулюваннями, які утворюють загальноживані фрази.

2. Інші три збіги є збігами в назвах використаних друкованих видань, розміщених в переліку джерел посилань.

Керівник роботи

Завідувач кафедри КБКМ



В. М. Чешун

Ю. П. Кльоц

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Солтис Володимир Миколайович на захист дипломного проєкту (роботи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 123 - Комп'ютерна інженерія

На тему: Метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



М. Савенко
(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Солтис В. М. за період навчання на факультеті інформаційних технологій з 2021 по 2021 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 37,50 %, задовільно 62,50 %. шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 15,38 %, С 30,77 %, D 15,38 %, E 38,46 %.

Методист факультету

[Signature]
(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ)
ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент

Солтис Володимир Миколайович повністю виконав завдання кваліфікаційної роботи магістра, робота відзначається комплексністю і відповідно виконанню доброчесності у додержанні авторських прав та правил проведення наукових досліджень та подання їх результатів

Оцінка дипломного проєкту (роботи) відмінно

Керівник дипломного проєкту

[Signature]
(підпис)

Чечен ВМ
(ім'я, прізвище)

" 5 " 12 2022 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Солтис В. М. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

Кібербезпеки

(підпис)

" 5 " 12 2022 р.

(підпис, ім'я, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

освітнього рівня «магістр»

Магістр Солтис Володимир Миколайович

Тема Метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

Обсяг дипломної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»:

кількість листів креслень 10; кількість сторінок записки 89

1. Короткий зміст КР та прийнятих рішень У кваліфікаційній роботі розроблено метод організації тестових випробувань цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки

2. Висновок про відповідність КР дипломному завданню Кваліфікаційна робота у повній мірі відповідає поставленому завданню як в теоретичній, так і в практичній частині роботи

3. Характеристика виконання кожного розділу роботи, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У вступі подана загальна характеристика поставленої задачі, чітко визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, сформульована актуальність. Визначені задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети, практична цінність отриманих результатів, їхня новизна та наведені відомості про публікації. У першому розділі проведено стислий огляд особливостей цифрових об'єктів діагностування та методів локалізації несправностей в їх структурі, виконане обґрунтування актуальності теми дослідження і виконана постановка задачі. В другому розділі виконана розробка математичної моделі для реалізації методу, яка базується на основних положеннях технічної діагностики, теорії нечіткої логіки і теорії множин. В третьому розділі визначено основні положення методу та розроблено алгоритми його реалізації. Четвертий розділ присвячено апробації розробленого методу та алгоритмів його реалізації.

4. Позитивні сторони проекту Кваліфікаційна робота має комплексну наукову і практичну цінність. Наукова цінність полягає у забезпеченні можливості здійснення логічного висновку про стан цифрового об'єкта діагностування із застосуванням нечіткої логіки за умови нечіткості або недостатності вихідних діагностичних даних, що не є притаманним іншим методам. Практична значимість отриманих результатів полягає у підвищенні ефективності процесу тестового діагностування цифрових об'єктів через збільшення кількості діагностичних експериментів із вірною ідентифікацією технічного стану об'єкта без виконання для цього додаткових тестових випробувань.

5. Негативні сторони проекту В роботі не вказано види об'єктів діагностування, на яких проводилась апробація методу

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи Графічне оформлення виконане відповідно до теми дипломної роботи з дотриманням стандартів. В загальному графічне оформлення виконане якісно, пояснювальна записка відповідає нормам щодо її оформлення.

7. Відгук про роботу в цілому В загальному кваліфікаційна робота заслуговує позитивної оцінки. Весь матеріал дипломної роботи структурований, чіткий та послідовний. Усі розділи роботи послідовні та логічні, що дозволяє чітко розуміти викладений матеріал в рамках тематики дипломної роботи. Графічний матеріал дозволяє наочно побачити доцільність та ефективність рішень, які були прийняті за основу для досягнення поставленої мети.

8. Інші зауваження Окремі описи в пояснювальній записці подано занадто деталізовано, що ускладнює сприйняття матеріалу наукової роботи фахівцями в обраній предметній галузі.

9. Оцінка дипломної роботи Враховуючи всі позитивні та негативні сторони представленої дипломної роботи, можна зробити висновок, що вона заслуговує оцінку «відмінно».

РЕЦЕНЗЕНТ (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Марчишук Валерій Володимирович,
зав. каф. АСІТ, д.т.н, проф.

« 2 » 12 2022.

 (підпис)