

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Єгошкіна Данила Ігоровича  
на тему: «Розробка методів і алгоритмів автоматичної генерації та  
дослідження структури нечіткої бази знань»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 113 Прикладна математика

**Актуальність теми дисертації.** У дисертаційній роботі Єгошкіна Д. І. досліджується застосування нечітких продукційних моделей для розв'язання задач класифікації в умовах нечіткості та неповноти інформації про об'єкти предметної області.

В контексті сучасних наукових досліджень актуальною є розробка та подальше вдосконалення моделей представлення знань, методів логічного виведення, методів налаштування параметрів моделі нечіткого логічного виведення, методів доведення коректності побудованої бази правил для розв'язання задачі класифікації.

Процес генерування знань потребує значної аналітичної роботи з боку експерта та суттєво ускладнює розробку відповідних систем, тому формування підходів до автоматичної генерації бази правил та налаштування параметрів моделі на основі експериментальних даних, розвинуто у дисертаційній роботі, є важливою науковою проблемою.

Представлена автором робота полягає у розробці та обґрунтуванні методів і алгоритмів автоматичної генерації нечіткої бази знань, а також дослідженні її структури. Зазначені задачі належать до кола тих, що вивчаються в рамках теорії систем штучного інтелекту та мають широке застосування для розв'язання задач класифікації, прогнозування, розпізнавання образів, медичної та технічної діагностики, управління, автоматизованого проектування та інших.

У традиційних задачах класифікації передбачається визначення детермінованих класів для об'єктів, коли кожен об'єкт належить лише одному з класів. Проте на практиці такий підхід може бути недостатнім, оскільки внаслідок наявності непередбачуваних залежностей між ознаками об'єкта може

виникати аналітична невизначеність. Саме у цьому контексті в роботі розглядається можливість використання нечітких баз правил та будується система нечіткого логічного виведення для задач класифікації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Актуальність дисертаційного дослідження підтверджується також тим, що дисертаційне дослідження проводилося в межах науково-дослідних робіт «Дослідження математичних моделей фізичних процесів методами ідентифікації та рекурентного аналізу із застосуванням інформаційних технологій» (№ держреєстрації 0119U101053, 2019-2021 рр.), «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022-2024 рр.) при кафедрі комп'ютерних технологій у відповідності з тематичними планами науково-дослідних робіт Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України.

**Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержане в дисертації.**

*Метою роботи є* розроблення методів та алгоритмів автоматичної генерації бази знань системи логічного виведення для задач класифікації на основі експериментальних даних, вдосконалення методів логічного виведення, методів налаштування параметрів моделі представлення знань, методів доведення коректності бази знань та дослідження якості побудованої системи логічного виведення.

*Основні завдання дослідження:*

- побудова нечіткої продукційної моделі, що об'єднує моделі Мамдані та Такагі-Сугено-Канг, для представлення знань про об'єкти предметної області з використанням навчальної вибірки та алгоритмів навчання;
- розроблення алгоритмів ідентифікації значень параметрів нечіткої продукційної моделі;



- розроблення підходу для перевірки коректності побудованої бази правил за критеріями повноти, мінімальності, зв'язності і несуперечності;
- вдосконалення методу логічного виведення із урахуванням того, що інформація про об'єкти предметної області може бути нечіткою та неповною;
- розроблення на основі побудованих алгоритмів програмного забезпечення для формування систем нечітких правил та реалізації механізму нечіткого логічного виведення;
- застосування розроблених методів та алгоритмів до розв'язання модельних задач.

*Об'єктом* дослідження є нечіткі бази знань експертних систем.

*Предметом* дослідження є моделі, методи та алгоритми автоматичного формування бази знань системи логічного виведення для розв'язання задачі класифікації із використанням експериментальної інформації.

**Наукова новизна отриманих автором результатів.** Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- дістав подальшого розвитку метод побудови нечіткої продукційної моделі для представлення знань про об'єкти предметної області на основі навчальної вибірки за допомогою розроблених алгоритмів навчання;
- запропоновано вид нечіткого продукційного правила, що поєднує моделі Мамдані та Такагі-Сугено-Канг, та містить у консеквенті правила в якості вагового коефіцієнту функцію, що визначає ступінь належності вихідної змінної до результуючої терм-множини;
- удосконалено методику побудови сукупності правил бази знань та алгоритм їх автоматичного формування за допомогою попереднього аналізу ознак навчальної вибірки, матричного представлення антецедентів та векторного представлення консеквентів правил;
- дістав подальшого розвитку метод логічного виведення з використанням бази знань нечіткої продукційної моделі для розв'язання задачі класифікації в умовах нечіткості та неповноти інформації про об'єкти предметної області; за наявності конфлікту при прийнятті рішення, що полягає



у неспроможності системи однозначно визначити належність об'єкта певному класу, запропоновано процедуру порівняння відстані між об'єктами та класами;

- дістав подальшого розвитку метод ідентифікації та налаштування значень параметрів нечіткої продукційної моделі, зокрема автоматизовано визначення лінгвістичних змінних, терм-множин, границь термів, параметрів функцій належності, вагових коефіцієнтів правил, кількості правил;

- вперше для перевірки коректності автоматично побудованої бази правил за критеріями повноти, мінімальності, зв'язності і несуперечності застосовано логіку Хоара, метод резолюцій та програмне забезпечення Simplify;

- вперше запропоновано адаптивний алгоритм редукції бази правил із використанням методу дихотомії із динамічним кроком та інтегральної метрики, що враховує кількість активацій певного правила та ступінь належності об'єктів навчальної вибірки правилу. Множина правил поділяється на підмножину правил, що виконуються, та підмножину правил, що є надмірними для досягнення критерію якості;

- досліджено якість побудованої нечіткої продукційної моделі з використанням матриці невідповідностей та метрик, що визначають частину правильних відповідей моделі (accuracy), точність (precision), повноту (recall), f-міру (f1-score);

- створено нові ефективні алгоритми розв'язання вищеназваних задач;

- створено програмний продукт на об'єктно-орієнтованих мовах програмування C++, JavaScript та Python, що реалізує розроблені алгоритми.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено підхід та відповідне програмне забезпечення для автоматизації побудови системи логічного виведення, що базується на нечіткій продукційній моделі представлення знань; вдосконалює алгоритми логічного виведення та налаштування параметрів моделі задля отримання адекватних і точних розв'язків задач класифікації; сприяє покращенню точності та ефективності процесів обробки та аналізу даних. Розроблені в роботі методи й алгоритми можуть бути застосовані до розв'язання прикладних задач з різних предметних



областей, що зводяться в математичній постановці до задач класифікації. Результати цього дослідження можуть значно підвищити ефективність та застосовність систем логічного виведення у різних галузях, забезпечуючи більш точні та надійні результати класифікації на основі експериментальних даних та досвіду. Це має важливе значення для розвитку сучасних технологій та розв'язання складних задач у науці, промисловості, медицині та інших галузях людської діяльності.

Окремі теоретичні результати дослідження вміщено до програми навчальної дисципліни «Методи Machine Learning», що викладається кафедрою комп'ютерних технологій факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара студентам другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 113 Прикладна математика, освітня програма «Інформатика». Результати дисертації також використовуються під час виконання курсових та дипломних робіт студентами, які навчаються за спеціальністю 113 Прикладна математика».

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.** Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні і відповідає вимогам до досліджень третього) рівня вищої освіти.

Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів забезпечується використанням добре апробованих моделей представлення знань; коректністю математичних постановок задач; використанням теоретично обґрунтованих методів та алгоритмів; контрольованою точністю обчислень; прийнятною узгодженістю між собою теоретичних та експериментальних результатів; несуперечністю отриманих результатів та результатів інших авторів, відомих з відкритих джерел.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором особисто або за безпосередньої участі. Дисертаційна робота є завершеним дослідженням, виконаним автором

самостійно відповідно до програми спланованих, проведених та узагальнених досліджень.

Дисертантом здійснено пошук та аналіз літературних джерел; побудовано моделі представлення знань; розроблено алгоритм автоматичного формування бази правил, адаптивний алгоритм редукції бази правил; доведено коректність побудованої бази правил; наведені чисельна реалізація запропонованого підходу та ілюстрація результатів розрахунків.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел, що містить 137 найменувань на 19 сторінках, та додатків на 9 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 171 сторінка, обсяг основного тексту – 121 сторінка. Робота містить 29 рисунків та 17 таблиць.

У вступі обґрунтовані актуальність теми, мета та завдання роботи, наведені наукова новизна, практичне значення, особистий внесок дисертанта та дані про апробацію роботи. В основу дисертаційної роботи покладені результати, отримані автором під час виконання наукових досліджень, проведених при кафедрі комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

У першому розділі наведено огляд літературних джерел, пов'язаних із тематикою дисертаційного дослідження та обґрунтовано вибір напрямку власного дослідження.

У другому розділі надано постановку задачі класифікації, описано продукційну модель представлення знань, що поєднує моделі Мамдані і Такагі-Сугено-Канг, та метод логічного виведення.

У третьому розділі наведено методи налаштування параметрів нечіткої продукційної моделі.

У четвертому розділі подано результати обчислювального експерименту з розв'язання модельних задач класифікації за допомогою запропонованої нечіткої моделі представлення знань на базі навчальної вибірки та системи нечіткого логічного виведення.



Висновки по роботі чіткі, логічні і впливають з теоретичних та експериментальних даних, отриманих автором.

Проте до дисертаційної роботи є деякі зауваження.

1. У роботі бажано було дослідити вплив вибору метрики на результат пошуку найближчих об'єктів системи у процесі класифікації об'єкта, заданого вектором ознак.

2. Для запропонованих нових методик та алгоритмів у роботі варто було провести аналіз їх системної, просторової та обчислювальної ефективності, принаймні у застосуванні до розглянутих модельних задач.

3. У тексті дисертації наявні орфографічні та пунктуаційні помилки, розбіжності у позначеннях та оформленні математичних формул.

Проте висловлені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи в цілому, а також розроблених автором основних наукових положень і сформульованих висновків за результатами проведених досліджень.

Зміст дисертації відповідає вимогам, що висуваються до наукових робіт третього рівня вищої освіти, а також вирізняється системністю, логічністю, послідовністю та обґрунтованістю. Текст дисертації є оригінальним. Структура роботи узгоджується з її назвою, метою і завданням дослідження. Зміст та результати дисертації відповідають спеціальності 113 Прикладна математика.

**Загальний висновок.** З огляду на актуальність, новизну, важливість отриманих автором наукових результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну цінність сформульованих положень і висновків, вважаю, що дисертаційна робота «Розробка методів і алгоритмів автоматичної генерації та дослідження структури нечіткої бази знань» відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», а також відповідає вимогам, зазначеним у освітньо-науковій програмі, яку успішно завершив здобувач, вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії (затвердженого Постановою Кабінету

Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами), а її автор Єгошкін Данило Ігорович може бути рекомендований для присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

**Рецензент**

професор кафедри обчислювальної  
математики та математичної кібернетики  
Дніпровського національного університету  
імені Олеся Гончара,  
доктор фіз.-мат. наук, професор

Л. Л. Гарт

Підпис д.ф.-м.наук, проф. Гарт Л. Л. засвідчую

Вчений секретар  
Дніпровського національного університету  
імені Олеся Гончара  
кандидат фіз.-мат. наук, доцент



Т. В. Ходанен