

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Падалки Вадима Геннадійовича на тему:  
«Методи і алгоритми побудови нечітких діаграм Вороного на основі теорії оптимального розбиття множин», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика

**Актуальність теми дисертації.** Математична теорія оптимального розбиття множин на сьогодні є потужним інструментом для розв'язання багатьох теоретичних і практично важливих задач, що зводяться в математичній постановці до неперервних задач оптимального розбиття множини з евклідового простору. Розв'язок ряду модельних задач зі згаданих класів часто призводить до математичних об'єктів, які мають назву діаграми Вороного або розбиття Діріхле. Діаграми Вороного у двох і тривимірних просторах використовуються в різних областях прикладних наук: кристалографії, фізиці, астрономії, хімії, мікробіології, офтальмології, комп'ютерній графіці, а також при розв'язанні задач штучного інтелекту та розпізнавання образів. Для побудови діаграм Вороного розроблено багато різних алгоритмів, однак всі ці алгоритми досить складні.

Математичним апаратом побудови діаграм Вороного, який має ряд переваг у порівнянні з відомими підходами, описаними в науковій літературі, є теорія оптимального розбиття множин.

*Актуальність теми дослідження* зумовлена тим, що переважна більшість задач теорії ОРМ досліджувалась в умовах визначеності. Однак реальні ситуації, для яких створюються моделі оптимального розбиття множин, найчастіше характеризуються деяким ступенем невизначеності: в початкових даних, в умовах і цілях. У цих випадках якість прийнятих рішень в оптимізаційних моделях розбиття множин знаходиться в прямій залежності від повноти урахування всіх невизначених факторів, істотних для наслідків від прийнятих рішень. Природним представляється узагальнення моделей розбиття в умовах визначеності на випадок моделей в умовах невизначеності. Для розкриття невизначеності в таких задачах (тобто для формалізації невизначеної інформації)

застосовується апарат теорії нечітких множин, який базується на понятті нечіткої множини, введеного Л. А. Заде, а також апарат нечіткої логіки.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, що проведені в дисертаційній роботі, виконано у відповідності з основними напрямками наукової діяльності кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара МОН України у межах держбюджетної теми «Розробка математичних моделей та алгоритмів розв'язання прикладних задач класифікації, кластеризації на основі теорії оптимального розбиття множин» (№ держреєстрації 0119U100600, 2019-2021 рр.), а також в рамках наукових тем «Математичні моделі, методи та алгоритми розв'язання задач аналізу складних систем» (№ держреєстрації 0119U101302, 2019-2021 р.р.) при кафедрі обчислювальної математики та математичної кібернетики у відповідності з тематичними планами науково-дослідних робіт Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержане в дисертації.** Наукова задача роботи полягає у розробці та обґрунтуванні методів і алгоритмів побудови нечітких діаграм Вороного із застосуванням теорії оптимального розбиття множин із  $n$ -вимірною евклідовою простору  $E_n$  на підмножини. *Об'єктом* дослідження є діаграми Вороного в умовах невизначеності. *Предметом* дослідження є методи і алгоритми побудови нечітких діаграм Вороного.

Основними завданнями дослідження є:

1. Розробка методу побудови узагальнених діаграм Вороного з нечіткими параметрами, заснованого на синтезі методів теорії оптимального розбиття множин, нейронечітких технологій та  $r$ -алгоритму Н.З. Шора для розв'язання негладких задач оптимізації.
2. Розробка алгоритмів побудови адитивно та мультиплікативно зважених діаграм Вороного при наявності нечітких параметрів.

3. Розробка алгоритмів побудови діаграми Вороного з оптимальним розміщенням скінченної кількості  $N$  точок-генераторів в обмеженій множині з  $n$ -вимірною евклідовою простору при наявності нечітких параметрів.

4. Розробка і обґрунтування методів і алгоритмів побудови діаграм Вороного з нечіткими клітинками як із заданими координатами точок-генераторів, так і з відшукуванням їх оптимального розміщення.

5. Розробка на основі побудованих алгоритмів програмного забезпечення для їх чисельної реалізації.

6. Застосування розроблених методів та алгоритмів до розв'язання модельних задач.

**Наукова новизна отриманих автором результатів.** У дисертаційній роботі вирішено нову актуальну наукову проблему, що полягає у розробці та обґрунтуванні методів і алгоритмів побудови нечітких діаграм Вороного із застосуванням теорії оптимального розбиття множин із  $n$ -вимірною евклідовою простору  $E_n$  на підмножини.

Основні наукові результати дисертації полягають у наступному.

1. Розроблено алгоритм побудови адитивно та мультиплікативно зважених діаграм Вороного при наявності нечітких параметрів із застосуванням нейронечітких технологій.

2. Розроблено алгоритм побудови діаграми Вороного з оптимальним розміщенням скінченної кількості  $N$  точок-генераторів в обмеженій множині з  $n$ -вимірною евклідовою простору при наявності нечітких параметрів із застосуванням нейронечітких технологій.

3. Із застосуванням удосконаленого у дисертації методу розв'язання неперервної задачі оптимального розбиття множини на підмножини із розміщенням їх центрів розроблено алгоритм побудови узагальнених діаграм Вороного скінченної кількості точок-генераторів, оптимально розміщених в обмеженій множині.

4. Розроблено і теоретично обґрунтовано новий метод побудови діаграм Вороного з нечіткими клітинками як із заданими координатами точок-генераторів, так і з відшукуванням їх оптимального розміщення на основі синтезу

методів теорії оптимального розбиття множин, теорії нечітких множин та нечіткої логіки.

5. На основі розроблених методів уперше створено алгоритми побудови таких нечітких діаграм Вороного: з нечіткими параметрами та з нечіткими клітинками.

6. Створено програмний продукт на об'єктно-орієнтованих мовах програмування C# та Python, у якому програмно реалізовані всі розроблені у дисертації алгоритми.

7. Створений програмний продукт протестовано на модельних задачах та застосовано для розв'язання прикладної задачі.

**Практичне значення одержаних результатів.** У дисертаційній роботі досліджуються задачі побудови нечітких діаграм Вороного та неперервні лінійні задачі ОРМ в умовах невизначеності вихідної інформації, які більш адекватно, ніж задачі в умовах визначеності, моделюють певні реальні процеси через урахування нечіткої, невизначеної, недостовірної вихідної інформації.

Розроблені в роботі методи й алгоритми можуть бути застосовані до розв'язання прикладних задач із різних предметних областей, що зводяться в математичній постановці до неперервних лінійних задач ОРМ з нечіткими параметрами.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.** Дисертаційну роботу виконано на сучасному науковому рівні. Достатньо високий рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність забезпечені строгістю і коректністю математичних постановок задач в межах теорій оптимізації та теорії оптимального розбиття множин.

**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 і узагальнених досліджень.

Дисертантом проведено пошук та аналіз літературних даних, виконано експериментальні дослідження, розроблено метод і алгоритм побудови мультиплікативно зваженої діаграми Вороного з нечіткими параметрами, методи побудови діаграм Вороного з нечіткими клітинками, а також застосовано методи, розроблені на основі синтезу теорії оптимального розбиття множин, модифікацій  $r$ -алгоритму Н.З. Шора і нейронечітких технологій, до розв'язання прикладних задач в умовах невизначеності.

**Апробація матеріалів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на семінарі «Сучасні питання оптимізації та дискретної математики» при Науковій раді НАН України з проблеми «Кібернетика», який функціонує при Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара; на міжнародних конференціях «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (Херсон, 2020 р.); «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (Дніпро, 2017, 2019, 2020 рр.); «Системний аналіз і інформаційні технології» (Київ, 2018 р.).

**Мова і стиль роботи.** Матеріал роботи викладений логічно, представлений достатньою мірою і написаний гарною українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Зміст дисертації відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня, а також вирізняється послідовністю, системністю та обґрунтованістю та висвітлює основні результати наукових досліджень.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць: 5 статей у наукових фахових виданнях України категорії Б з фізико-математичних наук, 1 розділ у монографії видавництва Springer, що індексується науково-метричною базою Scopus, 6 тез доповідей у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 146 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та двох додатків. Обсяг основного

тексту дисертації складає 106 сторінок машинописного тексту. Робота ілюстрована 30 рисунками та 5 таблицями. Список використаних джерел охоплює 117 найменувань, з них 58 кирилицею та 59 латиницею.

У *вступі* обґрунтовані актуальність теми, мета та завдання роботи, наведені наукова новизна, практичне значення, особистий внесок дисертанта та апробація роботи. В основу дисертаційної роботи покладені результати, отримані автором під час виконання наукових досліджень, проведених на кафедрі обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

У *першому розділі* автором викладено та проаналізовано основні результати, отримані іншими дослідниками з питань, які стосуються завдань, що вирішуються в дисертації. Обґрунтовано застосування теорії неперервних задач оптимального розбиття множин як універсального математичного апарату побудови діаграми Вороного та її узагальнень.

У *другому розділі* описано і проаналізовано застосування теорії оптимального розбиття множин для побудови узагальнених діаграм Вороного в умовах визначеності.

У *третьому розділі* представлено розроблені методи, засновані на теорії оптимального розбиття множин, та алгоритми побудови діаграм Вороного з нечіткими параметрами, наведено розв'язання модельних задач.

У *четвертому розділі* представлено розроблені методи, засновані на теорії оптимального розбиття множин, і алгоритми побудови діаграм Вороного з нечіткими клітинками, наведено приклади побудови діаграм Вороного з нечіткими клітинками.

Висновки по роботі чіткі, логічні і витікають із теоретичних та експериментальних даних, отриманих автором.

### **Окремі дискусійні питання і зауваження.**

1. Для задач оптимального розбиття множин з нечіткими вхідними даними у цільовому функціоналі або обмеженнях слід було б дослідити, який екстремум знаходите: локальний чи глобальний?

2. При реалізації алгоритмів оптимального розбиття вся множина, яка підлягає розбиттю, покривається сіткою. Зрозуміло, що при цьому розв'язок буде отримано з деякою похибкою, доцільно було б оцінити та дослідити таку похибку.

3. Як відомо, застосування  $r$ -алгоритму Н.З. Шора для настройки нечіткої моделі дає змогу розширити можливості вибору класів функцій приналежності на випадок негладких. У роботі недостатньо приділено увагу для пояснення переваг застосування  $r$ -алгоритму у таких задачах в порівнянні зі застосуванням класичних методів оптимізації.

4. При відновленні значень нечітких параметрів діаграм Вороного за допомогою методу нейролінгвістичної ідентифікації не указано похибки до оптимізації та після оптимізації параметрів нечіткої моделі.

5. У четвертому розділі для модельних задач побудови нечітких діаграм Вороного з оптимальним розміщення точок-генераторів не наведена кількість ітерацій роботи алгоритму та критерії його зупинки.

Вказані зауваження не знижують загальний рівень поданої дисертаційної роботи. Здобувачем отримані значні за науковою цінністю результати. Це дає можливість оцінити дисертаційну роботу як цілісну, закінчену та актуальну наукову працю.

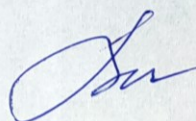
### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Падалки Вадима Геннадійовича на тему «Методи і алгоритми побудови нечітких діаграм Вороного на основі теорії оптимального розбиття множин» є актуальною за змістом, містить наукову новизну, основні результати та висновки дисертації обґрунтовані, мають теоретичне та практичне значення. Рецензована дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Оформлення дисертації відповідає вимогам, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 року. Методичний рівень, наукова новизна і практичне значення, рівень оприлюднення результатів рецензованої роботи відповідає вимогам до дисертацій ступеня доктора

філософії згідно положень Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а здобувач Падалко Вадим Геннадійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 11 Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика.

### Рецензент

Завідувач кафедри обчислювальної  
математики та математичної кібернетики  
факультету прикладної математики  
Дніпровського національного університету  
імені Олеся Гончара  
кандидат фіз.-мат. наук, доцент



В.А. Турчина

*Підпис к.ф.-м. наук, доцента Турчиної В.А. засвідчую*

Вчений секретар  
Дніпровського національного університету  
імені Олеся Гончара



Т.В. Ходанен