

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Лебедєва Данила Миколайовича**
**«Узагальнені алгоритми розв’язання нечітких двоетапних задач
оптимального розміщення-розбиття»,**
подану на здобуття ступеня доктора філософії за
спеціальністю 113 «Прикладна математика»

Ступінь актуальності теми дисертаційного дослідження

Дисертаційна робота присвячена розробці узагальнених алгоритмів для розв’язання ряду двоетапних нечітких задач теорії оптимального розбиття множин (ОРМ), що мають нечіткість у вхідних або вихідних даних. Теорія ОРМ є сучасним потужним інструментом розв’язання задач нескінченновимірної оптимізації. До задач теорії ОРМ зводиться велика кількість задач, у тому числі неперервно-дискретні транспортно-логістичні задачі оптимального розміщення-розбиття, у яких необхідно одночасно оптимально розбити неперервну множину на підмножини та розподілити кількості транспортованих ресурсів між постачальниками та споживачами таким чином, щоб досягти мінімальної сумарної вартості транспортування ресурсів. Розв’язання двоетапних транспортних задач з нечіткістю у вхідних або вихідних задачах є актуальною задачею, оскільки отримані математичні моделі більш точно описують певні прикладні задачі, ніж одноетапні та чіткі математичними моделі, а отже і їх чисельні розв’язки мають більший прикладний зміст.

Розробка узагальнених алгоритмів розв’язання нечітких двоетапних задач є актуальною задачею, оскільки формулювання методу розв’язання задачі у вигляді псевдокоду значно спрощує подальшу програмну реалізацію цих алгоритмів або їх модифікацію. Введені узагальнення у математичних моделях дозволяють більш гнучко задавати вхідні умови задач у фінальній програмній реалізації і більш точно керувати процесом розв’язку.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і результатів

Для розв’язання поставлених задач у роботі застосовується обґрунтований та випробуваний апарат теорії ОРМ, а для розв’язання допоміжних задач використовуються відомі та надійні чисельні методи, такі як

г-алгоритм Шора недиференційовної оптимізації та метод потенціалів для розв'язання збалансованої транспортної задачі. Кожне формулювання узагальненого алгоритму розв'язання, що виноситься на захист, базується на повному теоретичному обґрунтуванні, що охоплює визначення термінів, постановку задачі, формулювання математичної моделі, перетворення математичної моделі, доведення необхідних теорем та виведення формул. Також, кожен узагальнений алгоритм далі практично підтверджується за допомогою програмної реалізації та розв'язання модельних задач, результати яких збігаються з теоретично передбаченими.

Аналіз структури та змісту дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, основної частини з шістьма розділами, висновків, списку використаних джерел зі 128 найменуваннями та двох додатків. Загальний обсяг дисертації – 150 сторінок, обсяг основного тексту – 117 сторінок. Робота містить 23 рисунка та 1 таблицю.

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, об'єкт та предмет дослідження. Наведено зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, описані наукова новизна та практичне значення отриманих автором результатів, його особистий внесок та відмічена апробація результатів роботи, яка є достатньою.

У першому розділі виконано огляд теорії ОРМ, наведена класифікація задач ОРМ за їх характеристиками, та проведено огляд існуючих наукових досліджень та публікацій за обраною темою дисертації. Зокрема, критично опрацьовані результати, що присвячені розв'язанню двоетапних та нечітких задач оптимального розміщення-розбиття. Виконано аналіз категорій задач ОРМ та з'ясовано, які напрямки є більш дослідженими, а які потребують нових досліджень. Розділ завершується підбиттям підсумків та підтвердженням актуальності обраної теми дисертаційної роботи та необхідності досліджень у цьому напрямі.

У другому розділі описана розробка запропонованого автором узагальненого алгоритму розв'язання двоетапної чіткої задачі оптимального розміщення-розбиття з фіксованими центрами підмножин. Виведено формули градієнтів функціонала Лагранжа для виконання узагальненого градієнтного

спуску та сформульовано узагальнений алгоритм розв'язання задачі. У кінці розділу наведено приклади розв'язання модельних задач, кожен приклад має числові результати розв'язку та графічне зображення оптимального розміщення-розбиття.

Третій розділ опис містить опис узагальненого алгоритму розв'язання двоетапної чіткої задачі оптимального розміщення-розбиття з оптимальним розміщенням центрів підмножин. Тут використано підходи розв'язання двоетапних задач ОРМ, сформульовані у першому розділі. Наведено виведення формул градієнтів функціонала Лагранжа для виконання узагальненого градієнтного спуску, сформульовано узагальнений алгоритм розв'язання задачі, що складається з розв'язання внутрішньої та зовнішньої задач ОРМ. Числові розв'язки наведених модельних задач містять графічне зображення оптимального розміщення-розбиття.

Узагальненому алгоритму розв'язання двоетапної нечіткої задачі ОРМ з нейронечіткою ідентифікацією функції щільності, що задана лінгвістично, присвячено **четвертий розділ**. Для відновлення функції щільності використано метод нейронечіткої ідентифікації, що охоплює роботу з нечіткими множинами, лінгвістичними змінними та методи штучного інтелекту. Роботу алгоритму проілюстровано на прикладі розв'язання модельної задачі з нечітко заданою функцією щільності. Наведено графічні зображення оптимального розміщення-розбиття та числові результати розв'язання задачі у трьох варіантах: з аналітично заданою функцією щільності, з відновленою нечіткою функцією щільності до налаштування моделі, та з відновленою нечіткою функцією щільності після налаштування моделі.

У **п'ятому розділі** наведена схема побудови математичної моделі двоетапної нечіткої задачі оптимального розміщення-розбиття, доведення теореми про існування єдиного оптимального розв'язку та його вигляд, необхідні формули для розрахунків градієнту цільового функціоналу, запропоновано метод розв'язання та сформульовано узагальнений алгоритм розв'язання задачі. Використано математичні підходи розв'язання двоетапних задач ОРМ, викладені у першому розділі. У кінці розділу наведено ряд прикладів розв'язання модельних задач, що демонструють роботу запропонованого алгоритму та дозволяють проаналізувати розв'язки та

дослідити їх особливості. Для кожної розв'язаної задачі наведено числові результати розв'язку та графічне зображення оптимального розбиття.

У шостому розділі виконано опис розробленого програмного забезпечення, яке реалізовує усі запропоновані узагальнені алгоритми, описано програмні модулі та інтерфейс користувача програми. Наглядна структура модулів обчислювальної частини програми (рис. 6.1) дозволяє зробити висновок про цілісність завершального етапу досліджень.

У висновках перелічено головні наукові досягнення та напрацювання, описані у шести розділах роботи.

Наукова новизна результатів дисертації

Результати дисертаційної роботи мають високий ступінь наукової новизни, а саме, можна виділити наступні досягнення:

- *вперше* розроблено та обґрунтовано метод розв'язання нечіткої двоетапної задачі оптимального розміщення-розбиття з фіксованими центрами;
- *вперше* розроблено та обґрунтовано метод розв'язання задачі оптимального розміщення-розбиття з нейронечітким відновленням нечіткої функції щільності споживання з розміщенням центрів першого етапу;

Також, подальшого розвитку дістали:

- метод розв'язання двоетапної чіткої задачі оптимального розміщення-розбиття з фіксованими центрами підмножин;
- метод розв'язання двоетапної чіткої задачі оптимального розміщення-розбиття з оптимальним розміщенням центрів підмножин;

У напрямі створення програмної реалізації на основі узагальнених алгоритмів та розв'язання задач були зроблені наступні кроки:

- *узагальнено* запропоновані алгоритми введенням адитивного та мультиплікативного коефіцієнтів для центрів першого етапу, нерівномірної функції щільності споживання, окремих функцій вартості транспортування на першому та другому етапах, та обмеженнями у вигляді рівностей на кількість наявної продукції у центрах постачання;
- *розроблено* програмне забезпечення, що реалізує запропоновані узагальнені алгоритми та дозволяє задавати адитивні та

мультиплікативні коефіцієнти центрів першого етапу, нерівномірну функцію щільності споживання, коефіцієнт здешевлення транспортування на другому етапі, та обмеження на наявну кількість товарів у центрах постачання; розроблено програмне забезпечення, що виконує побудову оптимального розбиття з використанням паралельних обчислень на відеокарті з метою прискорення обчислень;

- розв'язано ряд модельних задач з метою демонстрації роботи кожного з розроблених узагальнених алгоритмів;

Практичне значення

Основні результати, що виносяться на захист, мають таке практичне значення:

1. Розроблені узагальнені алгоритми дозволяють розв'язувати відповідні двоетапні неперервно-дискретні транспортні задачі, що більш адекватно описують проблеми, що виникають при оптимальній організації роботи деяких важливих галузей. Ці галузі стосуються безпосереднього виробництва, енергетики, медицини, пунктів швидкого реагування тощо.
2. Розроблений програмний продукт готовий до розв'язання тих прикладних задач, для яких в роботі побудовані відповідні моделі та розроблені алгоритми.
3. Окремі результати, що були отримані автором роботи, можуть бути рекомендовані до використання в освітньому процесі при підготовці студентів за спеціальностями «Системний аналіз та наука про дані» та «Прикладна математика».

Повнота викладення результатів в опублікованих працях

Результати наукових досліджень, які виносяться автором на захист, опубліковані у 5 наукових статтях: 3 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б» з фізико-математичних наук та 2 статті у міжнародних фахових виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus (у тому числі 1 стаття у журналі квартиля Q2). Повнота представлення результатів дисертаційної роботи здобувача у цих публікаціях є вичерпною та відповідає встановленим вимогам.

Ступінь апробації результатів

Одержані результати дисертації отримали належний рівень апробації на трьох міжнародних науково-практичних конференціях.

Зауваження щодо змісту дисертації

1. При поясненні поняття симетричної різниці множин доцільно використовувати слово «позначення», а не «означення» (стор. 28).
2. У розділі 4.4 наведено тільки 1 приклад розв'язання модельної задачі, у той час як більш доречним було б продемонструвати більше прикладів розв'язання модельних задач, у тому числі з більш нетривіальною функцією щільності.
3. Недоречне дублювання умови домінування двох нечітких множин (стор. 97).

Наведені зауваження не впливають на обґрунтованість та достовірність отриманих наукових результатів, їх наукову новизну та практичне значення.

Висновок рецензента

Дисертаційна робота Лебедева Д. М. на тему «Узагальнені алгоритми розв'язання нечітких двоетапних задач оптимального розміщення-розбиття» є завершеним самостійним науковим дослідженням, що містить нові науково обґрунтовані результати. Зміст роботи повністю відповідає обраній темі дисертації, яка є актуальною і має теоретичне та практичне значення. За змістом, структурою, оформленням та рівнем виконання робота задовольняє вимоги до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю «Прикладна математика».

Із урахуванням високого рівня актуальності теми, обґрунтованості та достовірності результатів, їх наукової новизни та практичного значення, вважаю, що представлена до захисту дисертаційна робота відповідає встановленим вимогам згідно з наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів

України від 12 січня 2022 р. № 44 із змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024), а її автор Лебедєв Данило Миколайович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Рецензент

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
завідувачка кафедри обчислювальної математики
та математичної кібернетики
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара

Валентина ТУРЧИНА

Підпис доцента Турчиної В. А.
засвідчую.

Проректор з наукової роботи
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара
канд. біол. наук, професор



Олег МАРЕНКОВ