

ВІДГУК

офіційного опонента 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»

Актуальність обраної теми.

Тема дисертаційної роботи стосується обґрунтування та розробки узагальнених алгоритмів розв’язання нечітких двоетапних задач оптимального розміщення-розбиття, які відносяться до прикладної сфери транспортно-логістичних задач. Необхідність розв’язання таких задач природним чином випливає з ситуацій, коли треба мінімізувати сумарну вартість транспортування ресурсів або товарів у складній системі постачальників та споживачів, що містить проміжні пункти транспортування та задану обмежену територію, яку необхідно розбити на регіони. Актуальність математичної моделі, де нечіткість з’являється у вхідних або вихідних даних, полягає у тому, що це дозволяє використовувати дані, задані у незручному для звичайного опрацювання вигляді, наприклад, у формі лінгвістичних змінних. Формулювання математичної моделі з нечіткими вхідними даними дозволяє моделювати певні стохастичні процеси, властиві ряду прикладних задач.

Розробка математичних моделей, алгоритмів та програмних реалізацій для нечітких двоетапних задач оптимального розміщення-розбиття відкриває шлях для розв’язання ширшого класу задач теорії оптимального розбиття множин (ОРМ), яка є сучасним ефективним інструментом розв’язання задач нескінченновимірною програмування.

Обґрунтованість викладених наукових положень та результатів.

Розділи основної частини містять відповідні означення, формулювання задач та подальшу їх формалізацію. Кожен теоретичний метод розв’язання відповідної задачі викладено систематично, процес супроводжується доведенням необхідних теорем та виведенням супутніх формул. Основні

положення викладено у рамках теорії ОРМ. Допоміжні теореми та алгоритми, які наводяться без обґрунтування, мають відповідні посилання на джерела.

Для підтвердження коректності викладених теоретичних методів кожен розділ супроводжується демонстрацією розв'язання модельних задач за допомогою програмного продукту, що реалізує сформульовані узагальнені алгоритми. Приклади розв'язання модельних задач містять опис вхідних даних, налаштування параметрів алгоритмів, а розв'язки представлені у числовому та графічному вигляді. Модельні задачі підібрані у порядку зростання їх складності, а отримані обчислювальні результати співпадають з теоретично прогнозованими.

Зміст, структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота містить вступ, шість розділів основної частини, висновки, список використаних джерел з 128 найменуваннями, та два додатки. Загальний обсяг дисертації – 150 сторінок, обсяг основного тексту – 117 сторінок. Робота містить 23 рисунка та 1 таблицю.

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність обраної теми роботи, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження. Наведено зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, описані наукова новизна роботи, практичне значення отриманих результатів. Перелічено публікації, у яких викладено основні положення та результати дисертаційної роботи, вказано особистий внесок автора та наведена апробація результатів роботи.

У першому розділі виконано оглядове дослідження поточного стану розвитку теорії ОРМ. Описано відношення неперервно-дискретних транспортних задач відносно дискретних та неперервних випадків, наведено формулювання узагальненої задачі теорії ОРМ та класифікацію задач теорії ОРМ за їх особливостями. Наведено список наукових публікацій, що стосуються розв'язання неперервно-дискретних задач та були опубліковані у останні роки. Список поділяється на роботи теоретичного характеру – згруповані за категоріями задач, та прикладного застосування – згруповані за галузями застосування (промисловість, медицина, міське планування тощо).

Увагу сконцентровано на двоетапних та нечітких задачах, а у якості висновку підтверджена доцільність проведення досліджень за даними напрямками.

У другому розділі описана розробка узагальненого алгоритму розв'язання двоетапної чіткої задачі оптимального розміщення-розбиття з фіксованими центрами підмножин. Наведено метод розв'язання задачі, виведено формули градієнтів функціонала Лагранжа та сформульовано узагальнений алгоритм розв'язання задачі. Наведено приклади розв'язання модельних задач.

У третьому розділі описана розробка узагальненого алгоритму розв'язання двоетапної чіткої задачі оптимального розміщення-розбиття з невідомими центрами підмножин. 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, наведено розв'язки модельних задач.

У четвертому розділі описано узагальнений алгоритм розв'язання двоетапної нечіткої задачі ОРМ з нейронечіткою ідентифікацією функції щільності, що задана лінгвістично. Для відновлення функції щільності використано метод нейронечіткої ідентифікації, у рамках якого проводиться робота з нечіткими множинами, лінгвістичними змінними та методи штучного інтелекту. Роботу алгоритму проілюстровано на прикладі розв'язання модельної задачі з функцією щільності, що задана у нечіткому вигляді за допомогою лінгвістичних змінних.

У п'ятому розділі описано теоретичний метод розв'язку та сформульовано узагальнений алгоритм розв'язання двоетапної нечіткої задачі оптимального розміщення-розбиття. Опис методу розв'язання виконано у повному обсязі, охоплюючи: формулювання задачі, формалізацію математичної моделі, обґрунтування існування та вигляду єдиного розв'язку, доведення теорем, зведення математичної моделі до вигляду, зручного для числового розв'язання, що містить у тому числі формули градієнтів. Наведені приклади розв'язання модельних задач містять опис вхідних даних, отриманий розв'язок, графічне представлення та аналіз отриманих розв'язків, пояснення нюансів роботи алгоритму.

Шостий розділ присвячений опису програмного забезпечення, яке було розроблено на основі узагальнених алгоритмів, сформульованих у розділах 2-5. Обґрунтовано вибір технологій та програмних бібліотек з акцентом на використання вільних бібліотек з відкритим вихідним кодом, ефективне використання обчислювальних можливостей комп'ютера, що включає паралельне виконання обчислень та перенесення частини обчислень на графічний процесор комп'ютера. Продемонстрована у загальному вигляді модульна система обчислювальної частини програми, яка є зручною для подальшого розвитку програмного продукту.

У висновках дисертації описано основні наукові здобутки та результати, отримані автором під час 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;

У тому числі, 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 невідомими центрами підмножин;

У рамках створення програмної реалізації на основі узагальнених алгоритмів та розв'язання задач були отримані наступні результати:

- *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 результатів дисертації.

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

1. Досліджені задачі, для яких були розроблені узагальнені алгоритми, стосуються актуальних прикладних задач, що виникають при розв'язанні питань транспортно-логістичного характеру у галузях, що стосуються виробництва товарів, промисловості і обробки ресурсів, енергетики, міського планування і пов'язаних з ним служб швидкого реагування.
2. Розроблені алгоритми є гнучкими і можуть бути адаптованими під різні прикладні задачі з перелічених галузей і не тільки.
3. Програмний продукт, створений на основі сформульованих узагальнених алгоритмів дозволяє ефективно розв'язувати відповідні прикладні задачі та отримувати результати розв'язку у зручному для інтерпретації та аналізу форматі.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях.

Результати наукових досліджень, які виносяться автором на захист, опубліковано 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.

Апробація наукових результатів дисертації.

Наукові результати дисертації отримали належний рівень апробації на трьох міжнародних науково-практичних конференціях:

- Кісельова О. М., Притоманова О. М., Лебедєв Д. М., Балеєко Н. В. (2021). Застосування теорії оптимального розбиття до побудови нечітких діаграм Вороного. (МПЗІС-2021): *Тези доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції*, с. 87.
- Kiseleva O. M., Prytomanova O. V., Lebediev D. M. (2023). Object-oriented approach to programmable solution of two-stage location-allocation problems. *Mathematical support and software for intelligent systems (MSSIS-2023): Abstracts of the XXI International scientific and practical conference*, p. 18.
- Кісельова О. М., Притоманова О. М., Лебедєв Д. М. (2025). Метод розв'язання нечіткої двоетапної задачі оптимального розбиття множин. (МПЗІС-2025): *Тези доповідей XXIII Міжнародної науково-практичної конференції*, с. 167.

Зауваження щодо змісту дисертації.

1. В огляді літератури (перший розділ) відсутні деякі актуальні публікації останніх років, що стосуються розв'язання двоетапних задач оптимального розміщення-розбиття, такі як:
 - Стецюк П., Стовба В., Хом'як О. (2022) Двоетапна транспортна задача та дві її модифікації. *Журнал обчислювальної та прикладної математики*. (1), 92–107.
 - Стецюк П. І., Стовба В. О., Трегубенко С. С., Хом'як О. М. (2022) Модифікації двоетапної транспортної задачі та їхні застосування. *Кібернетика та системний аналіз*. 58(6), 54–70.
 - Стецюк П. І., Стовба В. О., Хом'як О. М., Стецюк М. Г. (2024) Двоетапна транспортна задача з двосторонніми обмеженнями на потреби споживачів та верхніми межами на пропускні

спроможності проміжних пунктів. *Кибернетика та системний аналіз*. 60(6), 89–101. URL:

- Stovba, V., & Khomiak, O. (2024). Two-Stage Transpotation Problem with Unknown Consumer Demands: Consistency Aspects. In 2024 3rd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in the East-West Transport Corridor (PLMO) (pp. 1–4). IEEE. 2024 3rd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in the East-West Transport Corridor (PLMO).
2. У розділах 2-5 у наведених прикладах для числового розв'язання задач недиференційовної оптимізації використано H -форму r -алгоритму Шора, у той час як доречним було б використання B -форми r -алгоритму, яка є більш стійкою до похибок обчислень.
 3. У описі алгоритму 5.1 відсутній опис кроку максимізації за штрафними змінними $\varphi_i(\cdot)$.
 4. Опис алгоритму 5.1 містить неправильні посилання на формули: у кроці 9 замість «за формулами (5.20)» повинно бути «за формулами (5.11)-(5.12)»; у кроці 10 замість «за формулами (5.19)» повинно бути «за формулою (5.17)».

Зроблені зауваження є незначними недоліками та не впливають на загальну позитивну оцінку отриманих наукових результатів.

Висновок офіційного опонента.

Дисертаційна робота Лебедева Д. М., що виноситься на захист, є цілісним науковим дослідженням, що послідовно та систематично розкриває обрану тему дисертації, містить усі необхідні обґрунтування, виведені формули та приклади розв'язання задач. Робота виконана на професійному рівні та вносить вагомий вклад у теоретичний та практичний розвиток науки за своїм напрямом.

Враховуючи актуальність теми дисертації, рівень 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 Лебедев Данило Миколайович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділу методів негладкої оптимізації
Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова



Петро СТЕЦЬОК

