

РЕЦЕНЗІЯ
на дисертаційну роботу
Караваєва Костянтина Дмитровича
на тему: «**Методи і алгоритми розв'язання класичних
та узагальнених задач упорядкування вершин орграфів**»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 Прикладна математика

Актуальність. При математичному моделюванні прикладних проблем, пов'язаних із побудовою розкладів, розподіленням обчислень, оптимальним розподілом ресурсів тощо, часто виникають комбінаторні оптимізаційні задачі на орієнтовних графах. Дослідженням та розв'язанням цих задач присвячена, зокрема, теорія оптимального упорядкування.

Найчастіше задачі, які розглядаються в рамках цього напрямку, належать до класу NP-важких. Вченим вдалося отримати точні поліноміальні алгоритми із сталим показником степеня складності лише для незначної кількості найпростіших спеціальних випадків. Складність інших точних алгоритмів є або експоненційною, або показниково залежить від параметрів задачі, що унеможлиблює їх використання на практиці.

Іншим важливим аспектом при розгляді задач цього класу є необхідність враховувати додаткові умови: час виконання робіт, вимоги до виконавців конкретних робіт, наявність комунікаційних затримок, необхідність дотримання плану виробництва, оптимізації згідно з ваговими коефіцієнтами пріоритетності робіт та інших. Це в свою чергу додатково ускладнює побудову розв'язку таких задач. Деякі із них сформульовані в рамках узагальнених постановок.

В зв'язку з цим актуальність тематики, пов'язаної з розробкою нових ефективних точних та наближених алгоритмів та методів розв'язання задач упорядкування, не викликає сумнівів.

Дослідження по темі дисертаційної роботи Караваєва К.Д. проводились у відповідності з індивідуальним планом підготовки аспіранта кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського

національного університету імені Олеся Гончара. Деякі результати є частиною ініціативних науково-дослідних робіт «Математичні моделі, методи та алгоритми розв'язання задач аналізу складних систем» (№ держреєстрації 0119U101302, 2019–2021 рр.) та «Розробка та реалізація методів оптимального функціонування складних систем» (№ держреєстрації 0122U001466, 2022–2024 рр.), які виконувалися на вказаній кафедрі.

Дослідження по дисертаційній роботі Караваєва К.Д. проводились з метою подальшої розробки теоретичного апарату, що лежить в основі методів і точних та наближених алгоритмів розв'язання задач паралельного упорядкування. У вступі сформульовано 5 завдань, вирішення яких сприяло досягненню поставленої мети. Зміст чотирьох розділів дисертації показує, що кожне завдання виконано в повному обсязі.

Наукова новизна отриманих автором результатів. Результати представленої дисертації містять значну наукову новизну, зокрема:

вперше:

- показано можливість зведення довільної класичної задачі оптимального упорядкування до задачі із щільним упорядкуванням;
- запропоновано підхід для скорочення перебору у методі гілок та меж ;
- для щільних упорядкувань отримана необхідна умова їх існування ;
- на основі методу гілок та меж з обмеженою глибиною пошуку побудовано наближений алгоритм для задач із щільними упорядкуваннями;
- для задачі зі змінним значенням ширини упорядкування обґрунтовано можливість зведення її до класичної;

дістали подальшого розвитку:

- класичний алгоритм розв'язання для двох виконавців для побудови щільних упорядкувань;
- оцінки знизу довжини упорядкування для класичної задачі;
- спосіб визначення діапазону допустимих місць вершин шляхом врахування ширини упорядкування.

Отримані нові наукові результати:

– про розв’язання задачі зі змінною шириною для вхідних бінарних дерев.

Результати Караваєва К.Д. науково обґрунтовані, про що свідчить коректність і строгість постановок задач, влучне застосування математичного апарату при доведенні відповідних теорем та тверджень, які обґрунтовують запропоновані методи і алгоритми, використання загальноприйнятої термінології при порівнянні отриманих результатів з відомими.

Практичне значення одержаних результатів. Прикладне застосування розроблених в роботі методів та алгоритмів може мати вагоме значення для аналізу та побудови ліній виробництва, відстеження стану складних систем в реальному часі, оптимізації обробки та вирішення завдань в багатоагентних системах та інших сферах промислової та інтелектуальної діяльності людини.

Окремі результати дослідження впроваджені в навчальний процес при викладанні відповідних дисциплін для студентів, що навчаються за другим (магістерським) та третім (науково-дослідним) рівнями освіти, використовуються при виконанні курсових та дипломних робіт студентами, які навчаються за спеціальностями 113 «Прикладна математика» та 124 «Системний аналіз» у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара. Слід відзначити також перспективність використання результатів дослідження для побудови структурно-логічних схем вивчення дисциплін у відповідних Освітніх програмах.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати роботи були отримані автором особисто. Його особистий внесок включає огляд та реферування вітчизняних та закордонних наукових джерел за тематикою дослідження, строге теоретичне обґрунтування і ретельний аналіз запропонованих в роботі алгоритмів, підходів та постановок задач, їх

практичну перевірку за допомогою розробленого програмного продукту, підготовку до друку та редагування наукових публікацій.

Апробація результатів дисертації. Про достатню апробацію результатів проведеного здобувачем дослідження свідчить наступне: робота доповідалась 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 трьох Міжнародних науково-практичних конференціях «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (м. Дніпро), на трьох міжнародних семінарах «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування» (м. Запоріжжя – Кропивницький), на Міжнародному науковому симпозіумі «Інтелектуальні рішення» (м. Ужгород) та регіональній науковій конференції «Сучасні науково-технічні дослідження у контексті мовного простору (іноземними мовами)» (м. Дніпро). За результатами участі опубліковано 8 тез доповідей.

Публікації. Найвагоміші з отриманих результатів були покладені в основу 5 наукових статей, з яких одна опублікована у виданні, яке індексується наукометричною базою Scopus; три – у наукових фахових виданнях України категорії «Б» з фізико-математичних спеціальностей та одна стаття – в іншому науковому виданні України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить наступні складові: вступ, чотири розділи, висновки, перелік використаних джерел, який налічує 116 найменувань та два додатки. Загальний обсяг роботи складає 178 сторінок, основний текст займає 161 сторінку. Робота ілюстрована 42 рисунками та 16 таблицями.

У *вступі* містяться відомості про актуальність, мету і завдання, наукову новизну, практичну вагомість та рівень апробації проведеного дослідження.

Розділ 1 присвячено огляду відомих результатів та прикладам практичних задач, що зводяться до задач паралельного упорядкування. Наведені постановки класичних та узагальнених задач, метод гілок та меж та

відомі точні поліноміальні алгоритми для підкласів класичної задачі з прикладами застосування та оцінки точності при розв'язанні ними довільних задач.

Розділ 2 містить нові результати дослідження класичних задач: твердження про зв'язок між варіантами цих задач, теоретичне та практичне обґрунтування можливості використання модифікованого алгоритму, заснованого на максимальному паросполученні, для розв'язання задач із щільним упорядкуванням. Розроблено новий підхід до скорочення перебору у методі гілок та меж, який базується на видаленні ізоморфних підграфів при розгалуженні. Проведено аналіз властивостей графів, для яких існують щільні упорядкування (отримано необхідну умову існування, узагальнені спеціальні упорядкування \underline{S} та \bar{S} , покращено оцінку знизу довжини упорядкування та розглянуто обмежений метод гілок та меж).

Розділ 3 відображає результати, що стосуються узагальнених задач: продемонстрований зв'язок між класичною задачею та задачею зі змінною шириною упорядкування, запропонований та досліджений новий поліноміальний алгоритм розв'язання цієї задачі для випадку вхідних дерев, розглянуто та проаналізовано нову постановку задачі, яка враховує неповне завантаження у випадку призначення робіт виконавцям.

Розділ 4 є детальним описом розробленого дисертантом програмного забезпечення, результати виконання якого були використані для оцінки ефективності запропонованих алгоритмів і методів та керівництва користувача при роботі з програмою.

Висновки, наведені наприкінці кожного розділу, чітко та стисло висвітлюють отримані у ньому результати та публікації автора, що їх охоплюють. *Загальні висновки* підсумовують теоретичні дані й аналіз результатів обчислювальних експериментів та повністю відповідають поставленим завданням дослідження.

Оформлення дисертації Караваєва К.Д. відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

До зауважень по дисертаційній роботі слід віднести:

1. Помилка при формулюванні речення «Точні поліноміальні алгоритми, отримані в подальших дослідженнях, найчастіше були засновані на переборі або мали експоненційну алгоритмічну складність» (вступ). Слово «поліноміальні» є зайвим, бо в цьому випадку маємо протиріччя.

2. У роботі є неформалізовані узагальнення, такі як «дуже специфічні умови» (підрозділ 1.3), «проблема набагато серйозніша, аніж попередня» (пункт 3.2.1), «випадки ... зустрічаються дуже рідко» (пункт 3.2.3). Вони не впливають на розуміння тексту, проте не відповідають науковому стилю роботи.

3. При описі запропонованого алгоритму для задачі 1а для вхідних дерев (пункт 3.2.2) у кроках етапу 2 не вказано, що вершини видаляються з відповідних списків після розміщення на поточне місце.

4. Рис. 3.5 та 3.6 (підрозділ 3.2.3) мають інший візуальний стиль (скріншоти з програми), немає відповідного опису, чому дуги позначені на них різними кольорами.

Зазначу, що висловлені зауваження не знижують високої оцінки виконання дисертаційного дослідження. Матеріал наочно та послідовно викладений, вдало проілюстрований, логічно структурований та в повній мірі розкриває отримані результати. Текст оригінальний, написаний академічною українською мовою із застосуванням сучасної наукової термінології та зрозумілий для сприйняття.

Це дає можливість оцінити дисертаційну роботу як цілісну, закінчену та актуальну наукову працю.

Загальний висновок

Вважаю, що дисертаційна робота Караваєва Костянтина Дмитровича на тему «Методи і алгоритми розв'язання класичних та узагальнених задач упорядкування вершин орграфів», яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика, за методичним рівнем, науковою новизною і практичним значенням відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), а її автор Караваєв Костянтин Дмитрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Рецензент

*доктор фізико-математичних наук, професор,
в.о. проректора з науково-педагогічної роботи
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара*



Наталія ГУК