

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Караваєва Костянтина Дмитровича

«Методи і алгоритми розв'язання класичних та узагальнених задач

упорядкування вершин орграфів»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії за

спеціальністю 113 Прикладна математика

Актуальність обраної теми та її зв'язок з науковими програмами.

Результати теорії паралельного упорядкування застосовуються при обробці даних, розподіленні обчислень, плануванні виробництва та в інших практичних сферах, де на порядок виконання задач накладаються технологічні обмеження. У загальному випадку такі задачі відносяться до NP-важких, тому важливими аспектами їх дослідження є пошук підкласів, для яких існують точні поліноміальні алгоритми, та побудова наближених алгоритмів з допустимою на практиці оцінкою похибки.

Важливо відзначити, що класична постановка задачі поверхнево моделювала реальні процеси, що стало передумовою для її подальшого узагальнення. Ці узагальнення включають: різний час виконання робіт, наявність затримок, директивних термінів; змінну кількість виконавців тощо; та також найчастіше належать класу NP-важких. Більш того, для моделювання реальних процесів найчастіше потрібно враховувати низку наведених обмежень.

Все перелічене підкреслює важливість побудови ефективних наближених методів та алгоритмів розв'язання задач оптимального упорядкування вершин орграфів, а отже й актуальність досліджень, які висвітлені у дисертаційній роботі Караваєва К.Д.

Частина досліджень аспіранта Караваєва К.Д. проводилася в рамках тем науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України «Математичні моделі, методи та алгоритми розв'язання задач аналізу

складних систем» (№ держреєстрації 0119U101302, 2019–2021 рр.), «Розробка та реалізація методів оптимального функціонування складних систем» (№ держреєстрації 0122U001466, 2022–2024 рр.), що виконувалися на кафедрі обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержане в дисертації. Наукову задачу роботи можна умовно розділити на складові, що стосуються точних та наближених методів для класичних задач паралельного упорядкування та відповідно для узагальнених. Саме недостатні теоретичні напрацювання з даної тематики спонукали до пошуку нових наукових рішень. Основною метою дисертаційного дослідження була подальша розробка теоретичного апарату, що лежить в основі методів і точних та наближених алгоритмів розв’язання задач паралельного упорядкування.

Для досягнення поставленої мети були визначені та виконані здобувачем наступні завдання дослідження:

- розроблено новий підхід для отримання точних розв’язків задач у класичних постановках;
- розроблені та обґрунтовані методи та алгоритми поліноміальної складності для отримання точних та наближених розв’язків;
- розроблено комплекс програм, що реалізує запропоновані алгоритми;
- проведено обчислювальні експерименти перевірки гіпотез та результатів для отриманих наближених алгоритмів.

Наукова новизна отриманих автором результатів. Серед отриманих аспірантом Караваєвим К.Д. результатів в якості тих, які заслуговують найбільшої уваги, слід виділити наступні:

- теоретично обґрунтовано можливість зведення будь-якої класичної задачі оптимального упорядкування до задачі зі щільним упорядкуванням;

- для класичної схеми направленого перебору у методі гілок та меж запропоновано підхід для скорочення перебору;
- отримано необхідну умову існування щільних упорядкувань та запропоновані ефективні алгоритми її перевірки;
- побудовано послідовність оцінок знизу довжини упорядкування, в якій кожна наступна оцінка, теоретично, є точнішою за попередні;
- отримано нові наукові дані про поліноміальні наближені алгоритми для розв’язання задачі зі змінною шириною для вхідних бінарних дерев;
- розглянуто клас узагальнених задач оптимального упорядкування з неповним завантаженням.

Практичне значення результатів здобувача. Описані автором методи й алгоритми можуть бути використані для розв’язання прикладних задач, які зводяться до задач оптимального упорядкування. Вони можуть підвищити ефективність побудови розкладів виконання завдань, зокрема пов’язаних із розподілом ресурсів, пріоритетністю використання, логістикою, обробкою даних тощо. Ці результати також можуть мати суттєве значення для подальшого розвитку автоматичного розпаралелення та слугувати підґрунтям для нових напрямків наукових пошуків за тематикою.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються. Обґрунтованість одержаних результатів і їх достовірність забезпечується коректністю та строгістю постановок задач, математичним обґрунтуванням розроблених та застосованих алгоритмів і методів. У дисертаційній роботі були використані добре апробовані методи теорії оптимального упорядкування, теорії графів, дискретної та комбінаторної оптимізації, теорії розкладів. Достовірність результатів також підтверджується узгодженням з відомими результатами інших авторів.

Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, представлених в дисертаційній роботі.

Особистий внесок аспіранта Караваєва К.Д. полягає в детальному вивченні стану наукової проблеми, обґрунтуванні та розробці основних

положень дисертації, уточненні завдань для досягнення мети дослідження; теоретичному обґрунтуванні розроблених методів та алгоритмів розв'язання поставлених задач; ретельному аналізі результатів та зрозумілій їх інтерпретації; оформленні наукових статей та тез доповідей на наукових конференціях. Результати розрахункових та теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації. Аналіз публікацій автора за темою роботи свідчить про те, що його наукові результати пройшли достатню апробацію на міжнародних наукових конференціях та семінарах, регіональній конференції та міжнародному симпозіумі (8 тез доповідей у відповідних збірниках матеріалів). Опубліковано 5 статей у виданнях, що відповідають вимогам до публікацій для здобувачів ступеня доктора філософії.

Вказані публікації в достатній мірі розкривають основний зміст дисертації.

Структура, обсяг та аналіз основного змісту дисертації. Дисертаційна робота складається з наступних структурних елементів: вступ, чотири розділи, висновки, перелік використаних джерел, що містить 116 найменувань на 12 сторінках, та додатків на 5 сторінках. Загальний обсяг – 178 сторінок, обсяг основного тексту – 161 сторінка. Текст підкріплено 42 рисунками та 16 таблицями.

Вступ висвітлює основні аспекти роботи аспіранта в ході проведення дисертаційного дослідження.

Перший розділ містить опис практичних проблем, які зводяться до задач паралельного упорядкування вершин орграфів, наводяться класичні та узагальнені постановки, точні алгоритми поліноміальної та експоненційної складності, оцінки точності наближених алгоритмів.

У *другому розділі* досліджуються класичні задачі паралельного упорядкування.

В роботі приділено особливу увагу задачам, в яких шукане упорядкування є щільним. Отримані твердження, які дозволяють зводити задачі упорядкування саме до таких задач. Доведено, що алгоритм, заснований на максимальному паросполученні може знайти розв'язок таких задач; розроблено ряд модифікацій, які дозволили значно покращити показники його ефективності. Аспірантом також були отримані необхідні умови існування щільних упорядкувань у зручній для перевірки формі та узагальнені спеціальні упорядкування \underline{S} та \bar{S} . Поєднання цих ідей стало підґрунтям для побудови послідовності оцінок знизу довжини упорядкування.

Окремо досліджено випадки, коли при застосуванні методу гілок та меж маємо велику кількість гілок, які відповідають ізоморфним підграфам. Розглянуто можливість визначати та видаляти такі гілки в дереві варіантів у загальному випадку, а також у випадку паралельно-послідовних графів.

Третій розділ присвячено узагальненим задачам упорядкування.

Для задачі зі змінною шириною, в якій граф є бінарним деревом, запропоновано новий поліноміальний алгоритм та проведено обчислювальний експеримент для порівняння його з алгоритмом, заснованим на рівневому принципі. Показано, що застосування розробленого алгоритму дозволяє розширити підклас задач, для яких вдається отримати точний розв'язок.

Розглянуто та досліджено нову постановку задачі, в якій виконавці мають вимушені часові обмеження. Запропоновано модифікацію алгоритму, заснованого на максимальному паросполученні, яка враховує особливості задачі. Показано, що вказаний алгоритм є лише наближеним.

У *четвертому розділі* описано розроблене в рамках дослідження програмне забезпечення, яке використовувалося зокрема для проведення описаних у роботі чисельних експериментів, а також наведено опис інтерфейсу програми та керівництво користувача.

Висновки лаконічно сформульовані та логічно впливають з проведеного здобувачем дослідження.

Зауваження по роботі. В результаті розгляду дисертаційної роботи виникли наступні зауваження та побажання:

1. У підрозділі 1.3 згадуються задачі з комунікаційними затримками, які залежать від пари виконуваних завдань, проте опис відомих отриманих результатів для цих задач відсутній.
2. Дещо невдалим є використання символу S одночасно для позначення упорядкувань та операції послідовної комбінації двох графів (пункт 2.3.2).
3. Не зрозумілим є принцип розподілу результатів на твердження та теореми.
4. У підрозділі 4.1 відсутній опис реалізації алгоритму, заснованого на подвійному помічені вершин орграфа, хоча у підрозділі 4.2 вказано, що його можна застосовувати до розв'язання поставленої задачі. Також цей алгоритм лише поверхнево описаний у підрозділі 2.2.

Зазначені зауваження не впливають на загальне позитивне враження від роботи. Зміст дисертації відповідає вимогам, що висуваються до наукових робіт такого рівня. Текст дисертації є оригінальним, а структура узгоджується з темою, метою і завданнями дослідження. Зміст та результати дисертації відповідають спеціальності 113 Прикладна математика.

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

Загальний висновок. Враховуючи актуальність, наукову новизну, теоретичну та практичну значущість сформульованих положень і висновків, вважаю, що дисертаційна робота Караваєва Костянтина Дмитровича «Методи і алгоритми розв'язання класичних та узагальнених задач упорядкування вершин орграфів», що представлена на здобуття ступеня

доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика, 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.

Офіційний опонент

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри вищої математики та фізики
Центральноукраїнського національного
технічного університету

Марина СЕМЕНЮТА

Підпис доцента Семенюти М.Ф.
засвідчую,
проректор з наукової роботи
та міжнародних зв'язків



Андрій ТИХИЙ