

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 дослідження. Математичний апарат теорії паралельного упорядкування використовується при розв'язанні оптимізаційних задач на графах, які є моделями різноманітних теоретичних та практичних проблем, таких як побудова розкладів виробництва, паралелізація, побудова мікросхем тощо. Переважно ці задачі відносяться до NP-важких, а отже розробка нових ефективних точних і наближених алгоритмів та методів їх розв'язання є надважливим напрямком досліджень з цієї тематики.

З іншого боку, у класичній постановці задачі упорядкування вершин орграфів розглядається стала кількість універсальних виконавців та ідентичні роботи, тому важливим також є збільшення різноманіття характеристик процесів, які приймають участь у моделюванні. Такими характеристиками, наприклад, є параметри робіт (час виконання, необхідна кількість виконавців), часові рамки для їх виконання, різні цільові показники якості розкладу, змінна кількість виконавців. Відповідні узагальнення класичних задач теорії розкладів також природньо відносяться до NP-важких задач і питання ефективного їх розв'язання потребує глибокого вивчення.

У зв'язку з переліченими факторами, актуальність дисертаційного дослідження здобувача Караваєва К.Д. не викликає сумнівів.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Свідченням актуальності тематики дисертації також є те, що робота над дисертацією проводилася аспірантом кафедри обчислювальної математики та

математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара в рамках науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України «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.).

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержано в дисертації. *Мета дисертаційної роботи* полягає у подальшій розробці теоретичного апарату, що лежить в основі методів і точних та наближених алгоритмів розв’язання задач паралельного упорядкування.

Сформульовані та вирішені завдання дослідження містили наступні складові елементи:

- подальший розвиток теорії розв’язання задач дискретної оптимізації та її використання в задачах упорядкування;
- розробку нового апарату отримання точних розв’язків задач у загальних постановках;
- розробку методів та алгоритмів поліноміальної складності для отримання точних та наближених розв’язків та їх обґрунтування;
- розробку комплексу програм, що реалізує запропоновані обчислювальні алгоритми;
- проведення обчислювальних експериментів для перевірки гіпотез та результатів стосовно ефективності запропонованих наближених алгоритмів.

Об’єктом дослідження виступили задачі оптимального упорядкування вершин орграфів. Предметом дослідження є методи і алгоритми розв’язання класичних та узагальнених задач оптимального паралельного упорядкування вершин орграфів.

Для отримання, аналізу та обґрунтування результатів були цілком послідовно, закономірно та коректно використані методи теорії

оптимального упорядкування, теорії графів, дискретної та комбінаторної оптимізації, теорії розкладів.

Наукова новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів проведених досліджень.

Найбільш вагомими серед отриманих здобувачем результатів у розглянутому дисертаційному дослідженні вважаю наступні:

- дістав подальшого розвитку класичний алгоритм розв’язання задачі побудови щільних упорядкувань у випадку двох виконавців;
- запропоновано новий підхід для скорочення перебору у методі гілок та меж за рахунок виключення гілок, що відповідають ізоморфним підграфам, зокрема розроблено точний та наближений варіанти його реалізації;
- дістав подальшого розвитку спосіб визначення діапазону допустимих місць вершин в упорядкуванні;
- теоретично обґрунтовано можливість зведення задачі зі змінним значенням ширини упорядкування до класичної задачі упорядкування;
- отримано нові наукові результати у задачах зі змінною шириною для вхідних бінарних дерев, зокрема на основі аналізу прикладів порушення оптимальності при використанні відомих алгоритмів розв’язання класичних задач запропоновано та досліджено поліноміальний online-алгоритм розв’язання цих задач;
- проведено обчислювальні експерименти для визначення ефективності запропонованих методів та алгоритмів.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження здатні зробити вагомий внесок: а) у різні практично важливі сфери та галузі, такі як моніторинг даних у режимі реального часу, розподіл ресурсів, промислове конвеєрне виробництво, паралелізація обчислень; б) у розвиток сучасних технологій. Також вони є підґрунтям подальших наукових досліджень в області теорії оптимального упорядкування.

Отримані результати впроваджені у освітній процес: включені до змісту навчальних дисциплін та використані при виконанні курсових та дипломних робіт студентами, які навчаються на кафедрі обчислювальної математики та математичної кібернетики.

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані самостійно. Робота є завершеним науковим дослідженням, виконаним відповідно до мети та завдань. Особистий внесок автора включає зокрема аналіз наукової літератури, яка присвячена цій проблематиці, розробку та обґрунтування нових методів і алгоритмів розв'язання розглянутих задач; якісний та кількісний аналіз результатів чисельних експериментів тощо.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження були в достатній мірі апробовані автором протягом всього періоду навчання в аспірантурі: опубліковано тези доповідей трьох міжнародних та одній регіональній конференції, трьох міжнародних семінарах та одному міжнародному симпозіумі; додатково результати обговорено на семінарі «Актуальні питання оптимізації та дискретної математики» при Науковій раді НАН України з проблеми «Кібернетика», який функціонує при Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел, що містить 116 найменувань. Загальний обсяг 178 сторінок, з яких 161 сторінка основного тексту. Для покращення наочності викладення робота додатково ілюстрована 42 рисунками та 16 таблицями.

Вступ відображає теоретичне та практичне значення роботи, основний вклад аспіранта, відомості про публікації та апробацію дисертаційного дослідження.

У першому розділі наведені приклади практичного застосування задач паралельного упорядкування, постановки класичних та узагальнених задач,

опис методу гілок та меж, а також відомі алгоритми поліноміальної складності та оцінки точності стосовно задач упорядкування вершин орграфів.

У *другому розділі* наведені результати, які відносяться до класичних задач паралельного упорядкування вершин орграфів. Вони включають: а) твердження, що стосуються зведенням задач упорядкування до підкласів з певними властивостями; б) обґрунтування доцільності застосування саме алгоритму, заснованого на максимальному паросполученні, до таких задач та розробку декількох його модифікацій на основі результатів проведених обчислювальних експериментів; в) якісно новий підхід до скорочення схем напрямленого перебору: точний (на основі визначення автоморфізму) та наближений (на основі інваріантів) варіанти його реалізації.

Окремої уваги заслуговує те, що при аналізі необхідних умов існування щільних упорядкувань, вдалося узагальнити алгоритм побудови спеціальних упорядкувань \underline{S} та \overline{S} так, щоб вони враховували ширину упорядкування. Це дозволило покращити низку пов'язаних з цим відомих результатів.

У *третьому розділі* наведені результати, які відносяться до узагальнених задач паралельного упорядкування. Зокрема продемонстровано можливість зведення задачі зі змінною шириною упорядкування до класичної та запропоновано підхід до застосування до цього узагальнення оцінок довжини упорядкування, отриманих для класичної задачі; сформульовано та досліджено задачу упорядкування з вихідними.

Варто відмітити спробу отримати точний поліноміальний алгоритм розв'язання задачі зі змінною шириною, в якій граф є вхідним бінарним деревом. Автор виділив бажані властивості шуканого алгоритму, зокрема незалежність вибору вершин для розміщення від місткостей наступних місць; запропонував алгоритм, що має наведені властивості, та провів низку обчислювальних експериментів для порівняння його ефективності з іншим

відомим алгоритмом. Аналіз результатів показав, що, хоча при його застосуванні збільшується частка випадків отримання точного розв'язку, проте цей алгоритм також є лише наближеним. Більш того, виявилось неможливим побудувати точний алгоритм, який би мав зазначену властивість.

У четвертому розділі наведено детальний технічний опис розробленого програмного продукту, використаного для проведення обчислювальних експериментів, та керівництво користувача.

Висновки цілком відповідають сформульованим задачам дослідження та є стислим висвітленням одержаних здобувачем результатів.

Текст не містить запозичень, на які не було б посилань на першоджерела.

Рівень виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності. Дисертаційна робота написана державною мовою. Розділи містять достатній обсяг матеріалу, що демонструє вирішення сформульованих завдань і завершуються висновками.

Вважаю, що Караваєв К.Д. оволодів необхідними для рівня доктора філософії компетентностями та методологією проведення наукових досліджень.

Зауваження щодо змісту дисертації. Під час аналізу наданої дисертаційної роботи слід відмітити наступні зауваження:

1. В підпунктах 1.2-1.5 недоцільно дублювати сполучення «задачі паралельного упорядкування», досить було б залишити просто «задачі», оскільки із назви розділу та контексту зрозуміло, про які задачі іде мова.

2. У тексті дисертаційної роботи терміни «відкриті вершини», «вільні вершини» та «вершини без вхідних дуг» використовуються без зазначення, що вони взаємозамінні.

3. Варто було б явним чином вказати, як з теореми 1 випливає, що запропонований алгоритм перерахування без ізоморфізму гарантовано не

втрачає неізоморфні підграфи (підрозділ 2.3). Наслідок не є складним, але і не очевидний.

4. Було б доцільним наведення прикладу того, як при використанні інваріантів графів для скорочення перебору у методі гілок та меж (пункт 2.3.1) точний розв'язок не втрачається замість того, щоб просто зазначити це.

5. В описі обчислювальних експериментів (пункт 3.2.3) не описано, як саме видалялися та знаходилися гілки, що відповідають ізоморфним підграфам.

Вказані зауваження не зменшують наукове та практичне значення дисертації.

Вважаю, що робота повністю відповідає вимогам до наукових робіт освітньо-кваліфікаційного рівня доктора філософії за спеціальністю 11 Прикладна математика.

Загальний висновок. Таким чином, за актуальністю, науковою новизною, достовірністю і обґрунтованістю отриманих дисертантом результатів 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 встановленим вимогам Наказу МОН України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Постанові Кабінету Міністрів від 12 січня 2022 р. №44 зі змінами «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 її автор Караваєв Костянтин

Дмитрович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,
професор,
професор кафедри математичного
моделювання та штучного інтелекту
Національного аерокосмічного
університету імені М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»



Оксана ПІЧУГІНА

Підпис професора Пічугіної О.С.
засвідчую

Вчений секретар



Тетяна БОНДАРЄВА