

ВІДГУК ОФЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Яськова Г.М. "Оптимізаційні задачі розміщення гіперкуль: математичні моделі, методи розв'язання, застосування", подану на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

1. Актуальність теми. Задачі розміщення гіперкуль, які досліджуються в дисертаційній роботі, є науково складними задачами комбінаторної оптимізації, пов'язаними з обчислювальною геометрією. Ці задачі мають широкий спектр застосувань у різних галузях людської діяльності. Двовимірні задачі (розміщення кругів) виникають при обробці інформації в біології, в задачах розкрою, розміщення кабелів, компактної утилізації ядерних відходів та ін. Тривимірні задачі (розміщення куль) зустрічаються при: дослідженні та оптимізації просторових, структурних і макроскопічних властивостей конденсованих середовищ, рідин, склоподібних матеріалів; вивченні електропровідності рідини, таких процесів, як осадження, ущільнення і спікання; моделюванні розміщення паливних елементів у активній зоні ядерного реактора; розробці технологій лиття (порошкова металургія); плануванні радіохірургії та лазерної коагуляції сітківки ока. Також актуальними є задачі розміщення гіперкуль довільної розмірності, які виникають при чисельному оцінюванні інтегралів, у дискретній геометрії та теорії чисел, у цифрових комунікаціях та задачах зберігання інформації, в задачах кодування. Більшість розроблених на цей час методів і алгоритмів розміщення гіперкуль є евристичними, орієнтованими на певні особливості метричних характеристик гіперкуль та контейнеру. Практично відсутні дослідження, в яких розглядаються контейнери складної просторової форми з додатковими технологічними обмеженнями, наприклад, із зонами заборони або з обмеженнями на мінімально допустимі відстані між гіперкулями. Точні розв'язки отримано тільки для задач, в яких розглядаються ґратчасті розміщення гіперкуль.

Кількість досліджень, присвячених задачам розкрою і розміщення, постійно зростає. Тому є дуже важливим те, що дисертант використовує міжнародну типологію цих задач. Слід зазначити, що в останні роки традиційні підходи до розв'язання оптимізаційних задач зазнали революційний розвиток, зумовлений розробкою нових методів нелінійної оптимізації, які кардинально підвищують надійність, швидкість і точність пошуку локальних або глобальних розв'язків. У зв'язку з цим, актуальним є питання створення методології розв'язання оптимізаційних задач розміщення гіперкуль, яка ґрунтується на міжнародній типології задач цього класу, сучасних методах геометричного проектування та математичного

програмування.

Враховуючи викладене можна стверджувати, що тема дисертаційного дослідження, спрямованого на математичне моделювання та розробку принципово нових методів розв'язання задач оптимального розміщення гіперкуль, є актуальною.

Вивчення тексту дисертації, автореферату та публікацій автора за темою дисертації дозволяє зробити висновок, що робота, яка представлена на розгляд, має наукову новизну, теоретичну й практичну цінність.

2. Наукова новизна дисертації полягає в тому, що автором дисертаційної роботи запропоновано нові засоби математичного моделювання, математичні моделі та методи для розв'язання оптимізаційних задач розміщення гіперкуль довільної вимірності. Розроблені моделі та методи є розвитком теорії геометричного проектування, створеної членом-кореспондентом НАН України Ю.Г. Стояном, а саме:

- **набув подальшого розвитку метод Ф-функцій Стояна** – побудовано засоби математичного моделювання умов розміщення гіперкуль (2D, 3D, nD , $n \geq 4$) в опуклому контейнері, який має просторову форму гіперпрямокутника, гіперкулі, гіперциліндра, n -політопа з урахуванням мінімально допустимих відстаней та зон заборони, межа яких утворена циліндричними, сферичними поверхнями та площинами;
- **вперше побудовано математичну модель задачі HSOA**, в якій враховується вимірність гіперкуль, просторова форма контейнера (гіперпрямокутник, гіперкуля, гіперциліндр, n -політоп), обмеження на мінімально допустимі відстані між гіперкулями, зони заборони; математичні моделі основних реалізацій задачі HSOA згідно з міжнародною типологією задач розкрою та упакування (Cutting&Packing): задачі зі змінною метричною характеристикою контейнера (ODP) та задачі, сформульованої як задача про рюкзак (KP);
- **набула подальшого розвитку методологія розв'язання оптимізаційних задач розміщення гіперкуль (HSOA)**, яка включає в себе нові засоби математичного моделювання, математичні моделі та ефективні методи розв'язання. В залежності від особливостей математичної моделі пропонуються стратегії розв'язання, в яких вибираються методи побудови допустимих розміщень, методи локальної та глобальної оптимізації;
- **розроблено нові методи розв'язання задач HSOA**, які ґрунтуються на методах нелінійного програмування, методі гілок та меж, послідовній

статистичній оптимізації, ідеї гомотетичних перетворень гіперкуль та контейнера.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації підтверджено формально-аргументованим викладенням матеріалу, використанням коректних постановок розглянутих задач, адекватністю використаних математичних моделей, теоретичним обґрунтуванням ефективності методів, застосуванням сучасних розв'язувачів для задач нелінійного програмування, обчислювальними експериментами, порівнянням результатів з тестовими прикладами.

4. Практична цінність роботи полягає в тому, що на основі отриманих автором теоретичних результатів розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє отримувати ефективні розв'язки оптимізаційних задач розміщення гіперкуль різної вимірності та розглянуто практичні застосування цих задач. Розроблені автором математичні моделі, методи, алгоритми та програмне забезпечення призначені для використання при розробці систем автоматизованого проектування та прийняття рішень у різних галузях машинобудування, при проведенні імітаційного моделювання структури різних матеріалів у матеріалознавстві, порошковій металургії, нанотехнологіях, при оптимізації просторової форми виробів для SLS-технології адитивного виробництва (3D-друк), в інформаційно-логістичних системах, що забезпечують оптимізацію перевезення та зберігання різних вантажів, при дослідженні властивостей сплаву в порошковій металургії, розміщенні паливних елементів у активній зоні ядерного реактору, при імітаційному моделюванні процесів у каталітичних реакторах (реакційна інженерія), при плануванні радіопроменевої терапії пухлин та лазерної коагуляції сітківки ока в медицині.

Математичні моделі, методи, алгоритми, програмне забезпечення, що запропоновані в дисертаційній роботі, використані в наукових дослідженнях Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України при виконанні держбюджетних тем, грантів. Отримано свідоцтва прав на твір. Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі в Харківському національному університеті радіоелектроніки.

Програмне забезпечення застосовується на кафедрі прикладного матеріалознавства та обробки матеріалів Національного університету «Львівська політехніка» для розв'язання задачі оптимального заповнення заданого об'єму частинками сферичної форми.

Отримано лист підтримки від державного університету Нуево Леон (Монтеррей, Мексика).

5. Загальна характеристика роботи. Дисертація містить вступ, шість розділів, висновки та додатки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, предмет і методи досліджень, визначено наукову новизну і практичну значущість отриманих результатів, наведено відомості про апробацію результатів дослідження.

У *першому розділі* проведено аналіз публікацій, присвячених задачам оптимального розміщення гіперкуль різної вимірності. Наведено міжнародну типологію цього класу задач. Описано приклади практичного застосування задач розміщення кругів, куль та гіперкуль. Наведено огляд постановок задач, способів математичного моделювання, алгоритмів та методів їх розв'язання. Зроблено вибір напряму досліджень

У *другому розділі* наведено визначення задач геометричного проектування. Побудовано математичну модель задачі розміщення гіперкуль HSOA та розглянуто її основні реалізації (задачі ODP та KP) згідно з міжнародною класифікацією задач розкрою та розміщення, досліджено особливості математичних моделей. Запропоновано Ф-функції гіперкулі та геометричних об'єктів за різної вимірності простору, які необхідні для аналітичного опису умов неперетину гіперкуль, розміщення гіперкуль в контейнері та неперетину гіперкуль і зон заборони.

Третій розділ присвячено дослідженню основних реалізацій задач HSOA залежно від вигляду функції цілі, вимірності простору, просторової форми контейнера, метричних характеристик розміщуваних гіперкуль та контейнера, зон заборони, додаткових обмежень. Досліджено математичні моделі та визначені їх особливості.

У *четвертому розділі* запропоновано методологію розв'язання задач HSOA. Проведено аналіз основних чинників, які впливають на вибір стратегії розв'язання. Методологія включає аналіз постановки задачі, вихідних даних та обмежень, математичні моделі, які охоплюють клас задач розміщення гіперкуль різної вимірності, дослідження їх особливостей і розробку стратегій розв'язання, в яких пропонуються методи побудови допустимих розміщень (початкових точок або наближених розв'язків), методи локальної оптимізації та методи глобальної оптимізації.

У *п'ятому розділі* побудовано методи розв'язання задач HSOA, математичні моделі яких запропоновані в третьому розділі. Для кожної задачі описані методи побудови допустимих початкових точок, методи локальної й глобальної оптимізації згідно з розробленими стратегіями. Теоретично обґрунтовано ефективність методу спрямованого перебору локальних екстремумів, в якому відбуваються гомотетичні перетворення гіперкуль

завдяки введенню змінних радіусів.

У шостому розділі наведено опис програмного забезпечення, результати обчислювальних експериментів та практичні застосування. Для розв'язання задач лінійного та нелінійного програмування використано сучасні розв'язувачі, які є особливо ефективними для задач із розрідженими матрицями. Результати обчислювальних експериментів порівнюються з тестовими задачами розміщення гіперкуль різної вимірності, представленими в міжнародних журналах та на сайтах, присвячених задачам розміщення гіперкуль.

Додатки дисертації містять акт про впровадження результатів дослідження, свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, лист підтримки від державного університету в м. Монтеррей, Мексика.

6. Оцінка змісту дисертації і її завершеність в цілому. Дисертація представляє завершену наукову роботу, яка має внутрішню єдність, сукупність наукових теоретичних положень і експериментальних результатів, що свідчать про індивідуальний внесок здобувача у науку.

Теоретичні положення та експериментальні результати є оригінальними, обґрунтованими; вони отримані на основі надійного методичного забезпечення. Поставлені в роботі задачі послідовно вирішено автором і, таким чином, досягнуто мету дослідження – ефективно розв'язання оптимізаційних задач розміщення гіперкуль шляхом створення методології, що ґрунтується на побудові нових засобів моделювання, математичних моделей, розробці методів розв'язання з використанням сучасного програмного забезпечення для задач лінійного та нелінійного програмування.

Автореферат повною мірою відображає зміст дисертації.

7. Апробація та повнота викладення основних результатів роботи. За темою дисертації опубліковано 62 наукові праці, в тому числі: 1 монографія (видавництво Betriebswirtschaftlicher Verlag, Німеччина), 26 статей у наукових фахових виданнях, що входять до переліку наукових спеціалізованих видань, серед яких 7 статей у міжнародних журналах, що індексуються науково-метричною базою Scopus, з них 6 – у високореєтингових зарубіжних журналах (European Journal of Operational Research, International Transactions in Operational Research, Journal of Global Optimization, International Journal of Computer Mathematics, Optimization Letters), 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, 33 тези та доповіді на міжнародних наукових конференціях (з них 13 – за кордоном).

Н-індекс цитування робіт за науково-метричними міжнародними базами даних: Scopus – 7, Web of Science – 6, Google Scholar – 9.

Загалом, слід відзначити, що результати виконаних досліджень – це якісно новий рівень теоретичного обґрунтування і практичної реалізації методів розв'язання для класу задач розміщення гіперкуль довільної вимірності.

8. Зауваження до дисертації й автореферату. У тексті чимало простих помилок і похибок, на які вказано дисертантові.

8.1. Для двовимірних задач було б цікавим не обмежувати себе тільки опуклими контейнерами та круговими зонами заборони.

8.2. В роботі побудована математична модель задачі із змінними метричними характеристиками, але методи розв'язання розроблено тільки для задач з однією метричною характеристикою. Було б цікавим розглянути задачі з іншими функціями цілі, наприклад, площа прямокутника, об'єм або площа поверхні кулі кубоїда, циліндру.

8.3. В основній математичній моделі задач розміщення гіперкуль доцільно було б урахувати можливість багатокритеріальної оптимізації.

8.4. Для розв'язання задачі використовуються методи, в яких радіуси гіперкуль та коефіцієнт гомотетії контейнера є змінними. Доцільно було б передбачити таку можливість у основній математичній моделі задачі.

8.5. Запропоновано спосіб побудови крайніх точок для окремих випадків основної задачі. Незрозуміло, як отримувати крайні точки області допустимих розв'язків для задачі, в якій є опуклі обмеження.

8.6. Не обґрунтовано вибір методу можливих напрямків для локальної оптимізації.

8.7. При плануванні радіопроменевої терапії розв'язується задача розміщення гіперкуль. За такого розташування джерел випромінювання частина пухлини буде не оброблена. На мій погляд, більш коректно розглядати задачу покриття.

8.8. В прикладах для розміщення гіперкуль у гіперкулі відбувається пошук гіперкулі-контейнера з мінімальним радіусом. Така функція цілі відрізняється від функції, яка виникає в задачах кодування.

Вказані зауваження не ставлять під сумнів достовірність матеріалів дисертації, основних положень і висновків, не знижують теоретичну і практичну цінність роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

9. Висновок. Дисертація Яськова Г.М. "Оптимізаційні задачі розміщення гіперкуль: математичні моделі, методи розв'язання, застосування" є завершеною науковою роботою, яка в сукупності може бути охарактеризована як успішне вирішення науково-практичної проблеми

створення методології розв'язання задач розміщення гіперкуль. Результати дисертаційної роботи оригінальні, достатньо обґрунтовані і викладені в авторських публікаціях у міжнародних та фахових виданнях. Експериментальні результати можна застосовувати в дослідженнях задач розміщення гіперкуль у різних галузях науки та техніки.

Результати наукових досліджень, за якими Г.М. Яськов захистив кандидатську дисертацію, не виносяться на захист докторської дисертації. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – «Математичне моделювання та обчислювальні методи».

Автореферат у повному обсязі відбиває зміст дисертації.

Зважаючи на викладене вище вважаю, що подана до захисту дисертаційна робота є завершеною науковою працею, виконаною на високому науковому рівні, відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема, вимогам п.п. 11, 12, 14 «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор, Яськов Георгій Миколайович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент

декан факультету математики і інформатики, професор кафедри теоретичної і прикладної інформатики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, доктор технічних наук, професор



Г. М. Жолткевич

« 02 » січня 2020 року

Підпис проф. Жолткевича Г.М. засвідчую.

Начальник служби управління персоналом Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна



С. М. Куліш

« 02 » січня 2020 року

