

ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Яськова Георгія Миколайовича

**"Оптимізаційні задачі розміщення гіперкуль: математичні моделі,
методи розв'язання, застосування",**

подану на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

за спеціальністю

01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дослідження. Задачі розкрою та упакування (C&P Problems) активно досліджуються науковою спільнотою на протязі останніх років. Такий інтерес пояснюється як великою їх складністю з теоретичної точки зору, так і широким спектром їх застосування при розв'язанні актуальних практичних задач, наприклад, в інформатиці, логістиці, моделюванні виробничих процесів та ін. Задачі упакування гіперкуль (зокрема, кругів, куль) зустрічаються в автомобільній промисловості, в електроніці, в сільському господарстві, в задачах утилізації ядерних відходів, при розробці адитивних технологій, нанотехнологій, в ядерній енергетиці, при плануванні радіо хірургічного лікування та лазерної коагуляції сітківки ока в медицині, в матеріалознавстві та ін. Відомі практичні застосування розміщення гіперкуль довільної вимірності, наприклад, в цифрових комунікаціях та задачах кодування.

Як відомо, задачі розкрою та упакування, в тому числі оптимізаційні задачі упакування гіперкуль (HSOA), є NP-складними. Тому в переважній більшості досліджень, присвячених задачам HSOA, для їх розв'язання використовуються евристичні та статистичні методи, які дозволяють отримати наближені розв'язки. Контейнери мають стандартні просторові форми: круг, прямокутник, куля, кубоїд, циліндр. Майже відсутні дослідження задач упакування в контейнерах із більш складною просторовою формою.

Враховуючи зазначене вище, актуальним є створення єдиного підходу до математичного моделювання та розв'язання оптимізаційних задач упакування гіперкуль довільної вимірності з визначеними особливостями метричних характеристик у контейнерах різних просторових форм, який ґрунтується на сучасних методах геометричного проектування та математичного програмування.

Побудовано та досліджено математичну модель задачі оптимального упакування гіперкуль довільної розмірності в контейнерах з урахуванням додаткових обмежень, зокрема, зон заборони, мінімально допустимих відстаней, обмежень на радіуси гіперкуль. Метою роботи є підвищення ефективності методів розв'язання задач упакування за рахунок створення методології на основі побудови математичних моделей, стратегій та методів розв'язання з використанням оптимізаційних методів нелінійного програмування та сучасних розв'язувачів задач лінійного та нелінійного програмування.

Таким чином, можна зробити висновок, що тема дисертаційної роботи є актуальною.

Обґрунтованість та достовірність

Зміст дисертаційної роботи та наукових публікацій Яськова Г.М. засвідчують достатню обґрунтованість і достовірність отриманих наукових результатів та зроблених висновків. Робота базується на використанні методів аналітичної й обчислювальної геометрії, геометричного проектування та нелінійної оптимізації. Достовірність отриманих у дисертації результатів забезпечено коректністю постановки задач, коректним застосуванням математичного апарату, конструктивних засобів математичного моделювання, надійністю використаних методів нелінійної оптимізації, розв'язанням тестових прикладів та порівнянням результатів з опублікованими в літературних джерелах та розміщеними на спеціалізованих сайтах.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні наукові результати дисертації:

- набув подальшого розвитку метод Ф-функцій Стояна, зокрема, побудовано нові функції: Ф-функції для аналітичного опису взаємних відношень гіперкулі та гіперпрямокутника, гіперкулі, гіперциліндра, d -політопа; Ф-функції кулі та тривимірних тіл, поверхня яких утворена плоскими, циліндричними та сферичними поверхнями;

- побудовано загальну математичну модель задачі оптимального упакування гіперкуль (HSOA) та розглянуті її основні реалізації відповідно до міжнародної класифікації задач C&P Problems;

- вперше запропоновано єдину методологію розв'язання задач оптимального розміщення гіперкуль;

- вперше розроблено метод пошуку наближення до глобального

екстремуму задачі упакування максимальної кількості рівних гіперкуль у контейнері заданих розмірів, який ґрунтується на гомотетичних перетвореннях гіперкуль;

- вперше розроблено метод спрямованого перебору локальних екстремумів для отримання наближення до глобального екстремуму задачі упакування нерівних гіперкуль у контейнері з однією змінною метричною характеристикою;

- вперше запропонований підхід, який дозволяє розв'язувати задачі оптимального упакування гіперкуль у контейнері фіксованих розмірів у вигляді задачі про рюкзак (Knapsack Problem), як задачі із змінним коефіцієнтом гомотетії контейнера (Open Dimension Problem);

- набули подальшого розвитку та удосконалення методи розв'язання оптимізаційних задач розміщення гіперкуль: методи побудови допустимих початкових точок (метод ґратчастих розміщень, метод оптимізації нев'язок, жадібний алгоритм); методи локальної оптимізації (метод оптимізації за групами змінних, комбінований метод спуску на основі метода оптимізації за групами змінних і методу множників Лагранжа, метод можливих напрямків); методи пошуку наближень до глобального екстремуму (модифікації методу околів, що звужуються, для задачі розміщення рівних і нерівних куль у контейнері із змінною метричною характеристикою).

Практичні результати дисертації.

Побудовано математичну модель задачі упакування гіперкуль (HSOA) та методологію її розв'язання, яка охоплює широке коло практичних задач у різних галузях промисловості, в медицині, інформаційних системах, зокрема:

- комп'ютерне моделювання упакування гіперкуль у матеріалознавстві, порошковій металургії та нанотехнологіях, ядерній енергетиці, при розробці технологій очищення газу та дистиляції;

- оптимізація просторової форми виробів у 3D-друці для SLS технології адитивного виробництва; в інформаційно-логістичних системах, які забезпечують оптимізацію перевезення й зберігання різних вантажів; в медицині при плануванні радіохірургії пухлин та лазерної коагуляції сітківки ока; в теорії кодування, цифрових комунікаціях і системах для зберігання інформації.

Математичні моделі, методи, алгоритми, відповідне програмне забезпечення, що запропоновані в дисертаційній роботі, використані в наукових дослідженнях Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН

України під час виконання держбюджетних тем.

Програмне забезпечення, розроблене в дисертаційній роботі, застосовується на кафедрі прикладного матеріалознавства та обробки матеріалів Національного університету "Львівська політехніка". Запропоновані засоби математичного моделювання та методи розв'язання задач розміщення впроваджені в навчальний процес у Харківському національному університеті радіоелектроніки. Роботу підтримано державним університетом Нуево Леон (Монтеррей, Мексика).

Повнота викладення наукових положень. 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 високорейтингових 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). H-індекс цитування робіт за науково-метричними міжнародними базами даних: Scopus – 7, *Web of Science* – 6, Google Scholar – 9.

Дисертація містить вступ, шість розділів, висновки по роботі та додатки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, вказано об'єкт, предмет і методи досліджень, визначено наукову новизну і практичну значущість отриманих результатів, наведено відомості про публікації за темою дисертації та про апробацію результатів дослідження, а також зазначено особистий внесок здобувача в наукові праці, написані у співавторстві.

Перший розділ присвячено огляду наукових праць за темою дисертації, класифікації задач розміщення гіперкуль у відповідності до міжнародної типології. Наведено основні підходи і методи розв'язання задач упакування гіперкуль різної вимірності та їх практичні застосування. Вибрано напрям досліджень.

У *другому розділі* наведено способи подання інформації про геометричні об'єкти та визначення задач геометричного проектування. Розглянуто визначення Φ -функції в арифметичному d -вимірному евклідовому просторі. Побудовано математичну модель основної задачі розміщення гіперкуль та

розглянуті її реалізації згідно з міжнародною класифікацією задач розкрою та упакування, досліджено їх основні особливості. Побудовано Φ -функції для формалізації умов розміщення гіперкулі в гіперкулі, гіперпрямокутнику, гіперциліндрі, опуклому d -політопі $d \geq 4$.

У *третьому розділі* розглянуто окремі випадки основної задачі розміщення гіперкуль для різних функцій цілі, вимірності простору, просторової форми контейнера, метричних характеристик розміщуваних гіперкуль та контейнера, додаткових обмежень. Досліджено математичні моделі та наведено їх особливості.

Четвертий розділ присвячено методології розв'язання задач упакування гіперкуль. Проаналізовано основні чинники, які впливають на вибір стратегії розв'язання задачі. Описано структурні елементи методології: математичні моделі, стратегії розв'язання, способи побудови початкових точок, методи локальної та глобальної оптимізації. В залежності від досліджених особливостей математичних моделей запропоновано шість стратегій для розв'язання задач HSOA: три стратегії для задач ODP та три стратегії для задач, сформульованих як задача КР.

У *п'ятому розділі* згідно із запропонованими стратегіями побудовано методи розв'язання для реалізацій основної задачі розміщення гіперкуль різної вимірності. Описано способи побудови початкових точок, методи локальної й глобальної оптимізації. При побудові методів локальної оптимізації виконано декомпозицію задачі та запропоновано нову стратегію активного набору обмежень. Теоретично обґрунтовано ефективність методу спрямованого перебору локальних екстремумів, в якому відбувається використовується ідея змінних радіусів гіперкуль.

У *шостому розділі* наведено опис програмного забезпечення, за допомогою якого здійснюються обчислювальні експерименти. Виконано порівняння ефективності методів, запропонованих у дисертаційній роботі, та кращих відомих методів для розв'язання задач розміщення гіперкуль різної вимірності. Розглянуто практичні застосування задач упакування гіперкуль та стратегії розв'язання згідно із запропонованою методологією.

Додатки дисертації містять акти та довідки про впровадження результатів дослідження та свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, лист підтримки від державного університету Монтеррей (Мексика).

Зауваження до дисертаційної роботи

1. Не зрозуміло, яким чином незв'язність контейнеру, що виникає в задачі розміщення гіперкуль в областях із зонами заборони, впливає на вибір методу розв'язання.
2. В модифікації методу можливих напрямків не обґрунтовано вибір параметру ε -активності лінійних обмежень ($\varepsilon/10$).
3. У роботі запропоновано чотири методи побудови допустимих початкових розміщень. У деяких стратегіях використовується декілька методів отримання початкових точок. На жаль, немає обчислювальних експериментів, в яких порівнюються результати розв'язання при застосуванні різних методів побудови початкових точок.
4. Для планування радіопроменевої терапії пропонується розв'язувати задачу розміщення куль. На мій погляд, більш коректним було б розглядати задачу розбиття області довільної просторової форми на підобласті, оптимальною зовнішньою апроксимацією яких були б кулі.
5. Одним із видів початкових точок є ґратчасті розміщення однакових куль. Цікавим було б розглянути як початкові точки ґратчасті розміщення для задач, в яких задані декілька класів конгруентності куль. Це зауваження слід розглядати як напрям для подальших досліджень.

Але зазначені зауваження не впливають на загальний рівень дисертаційної роботи, яка виконана у відповідності до сформульованої мети.

Висновки. Результати дисертаційної роботи є новими, оригінальними та викладені у публікаціях автора в наукових фахових виданнях. Дисертація є завершеною науковою роботою, у якій запропонована та теоретично обґрунтована методологія розв'язання задач оптимального упакування гіперкуль у обмежених областях з урахуванням спеціальних обмежень, складовими якої є засоби математичного моделювання взаємодії гіперкуль різної вимірності, нові математичні моделі та ефективні методи розв'язання.

Зміст роботи та отримані в ній результати повністю відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Результати наукових досліджень, за якими Яськов Г.М. захистив кандидатську дисертацію, не виносяться на захист докторської дисертації.

Зміст автореферату дисертації повністю відповідає основним положення самої дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота Яськова Г.М. "Оптимізаційні задачі розміщення гіперкуль: математичні моделі, методи розв'язання, застосування" задовольняє вимогам «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вчених звань» ДАК МОН України, що висуваються до докторських дисертацій, а її автор заслуговує на присвоєння наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,

професор кафедри фізико-математичних
дисциплін Національного університету
цивільного захисту України,
доктор технічних наук, професор

Валентина КОМЯК

Підпис засвідчую,

Вчений секретар

Національного університету цивільного захисту України,
канд. психол. наук, с.п.с.



Андрій ПОБІДАШ