

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Хлуд Ольги Михайлівни «Задача оптимальної упаковки еліпсоїдів: математичні моделі та методи розв'язання», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дослідження. На сучасному етапі стрімко зростає інтерес до ефективного розв'язання задачі упаковки (*Packing Problems*), зокрема задач оптимальної упаковки еліпсоїдів. Висока зацікавленість пояснюється широким застосуванням в різноманітних галузях науки та техніки та неймовірною складністю математичних моделей і методів їх розв'язання. Задачі упаковки та розкрою належать до класу NP-складних і є предметом дослідження обчислювальної геометрії, а методи їх розв'язання – новим напрямом теорії дослідження операцій.

Цей клас задач має широкий спектр наукових та практичних застосувань при комп'ютерному моделюванні структури рідин, кристалів і скла, руху і пресування сипучих речовин, розробці висококоміцних керамічних матеріалів, вирощуванні кристалів, у термодинаміці для моделювання процесу переходу рідин у кристалічну форму, в сучасній біології під час моделювання розміщення хромосом в ядрах людських клітин, у ядерній медицині для виробництва ліків, в адитивних технологіях (3D printing) з метою оптимізації геометрії промислових виробів, у робототехніці для моделювання руху та взаємодії частин роботів та у багатьох інших галузях науки і техніки.

На сьогодні задачі оптимальної упаковки еліпсоїдів залишаються недостатньо дослідженими. Для їх розв'язання використовуються як евристичні алгоритми, які базуються на апроксимації еліпсоїдів багатогранниками та кулями, так і нелінійна оптимізація, але запропоновані оптимізаційні алгоритми мають оцінку, яка є квадратичною по відношенню до кількості еліпсоїдів, що приводить до складності застосування локальних та глобальних NLP-solvers.

Дисертаційна робота присвячена математичному і комп'ютерному моделюванню процесу оптимізації упаковки еліпсоїдів в опуклому контейнері з урахуванням форми контейнера, особливостей метричних характеристик та орієнтації еліпсоїдів, обмежень на мінімально допустимі відстані між еліпсоїдами.

Отже, зважаючи на все вищезгадане, можна зробити висновок, що тема дисертаційної роботи є актуальною.

Обґрунтованість та достовірність нових положень, висновків і рекомендацій дисертації підтверджено формально-аргументованим викладенням матеріалу, доведенням відповідних тверджень, застосуванням конструктивних апробованих засобів математичного моделювання, надійністю використаних методів нелінійної та негладкої оптимізації.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні наукові результати дисертації вказані в авторефераті та є наступними:

- розроблено нові засоби математичного моделювання для задач оптимальної упаковки еліпсоїдів у вигляді класів ϕ -функцій,

псевдонормалізованих ϕ -функцій, квазі ϕ -функцій та псевдонормалізованих квазі ϕ -функцій, які дозволяють в аналітичному вигляді описувати відношення неперетину еліпсоїдів, включення еліпсоїдів у контейнер, обмеження на мінімально допустимі відстані з урахуванням орієнтації еліпсоїдів, особливостей метричних характеристик і форми контейнера (прямокутний паралелепіпед, круговий циліндр, опуклий багатогранник, куля, еліпсоїд, довільний опуклий контейнер);

- вперше побудована математична модель базової задачі упаковки еліпсоїдів (надалі 3DBEP) в контейнер мінімальних розмірів (відповідних метричних характеристик) та математичні моделі її основних реалізацій у вигляді задач нелінійного програмування;
- розроблені ефективні методи розв'язання задач оптимальної упаковки еліпсоїдів із застосуванням сучасних методів нелінійного програмування та негладкої оптимізації, які, на відміну від існуючих підходів, дозволяють отримувати допустимі та локально-оптимальні розв'язки за прийнятний час.

Практичні результати дисертації

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес в Харківському національному університеті радіоелектроніки, застосовувались у дипломному проектуванні; використовуються в ІТ компанії Cloud Works у програмному забезпеченні для розв'язання задач упаковки об'єктів та під час розробки комп'ютерних ігор; у дослідницьких програмах Мексиканського національного університету Nuevo Leon State University. Отримані результати можуть бути використані у логістиці, мінеральній промисловості, робототехніці, ядерній медицині, молекулярній динаміці, нанотехнологіях тощо.

Повнота викладення наукових положень. За темою дисертації опубліковано 22 наукові праці, зокрема 7 статей у спеціалізованих виданнях, затверджених ДАК МОН України, одна з яких – у міжнародному журналі «Восточно-Европейский журнал передовых технологий», що індексується у світових наукометричних базах даних і системах: Scopus, Ulrich's Periodicals Directory, OpenAIRE, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Index Copernicus, WorldCat, РИНЦ, Directory of Open Access Journals та ін. Основні результати роботи доповідалися та одержали схвалення на міжнародних конференціях і наукових семінарах. Наукові результати дисертаційної роботи достатньо повно викладено в опублікованих працях.

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку літератури із 103 найменуваннями та чотирьох додатків.

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

Перший розділ присвячено огляду наукових праць за темою дисертації, у якому охоплюється застосування задач упаковки і методи їх розв'язання, та вибору напрямів дослідження.

В *другому розділі* дисертації наводяться визначення ϕ -функції, псевдонормалізованої ϕ -функції, квазі ϕ -функції, псевдонормалізованої

квазі ρ -функції та їх основні властивості. Формулюється постановка базової задачі оптимальної упаковки еліпсоїдів. Будується узагальнена математична модель у вигляді задачі нелінійного програмування та стратегія її розв'язання.

У *третьому розділі* розглядається задача упаковки гомотетичних однаково орієнтованих еліпсоїдів в контейнер (прямокутний паралелепіпед, еліпсоїд) мінімальних розмірів. Для аналітичного опису основних обмежень розміщення використовуються ρ -функції. Будується математична модель у вигляді задачі нелінійного програмування. Пропонуються ефективні алгоритми для пошуку локально-оптимальних розв'язків: один з яких використовує метод нелінійної оптимізації, а другий – метод негладкої оптимізації (алгоритм Шора).

Четвертий розділ присвячено задачі упаковки еліпсоїдів обертання, що допускають неперервні повороти, в контейнер (прямокутний паралелепіпед, циліндр) мінімальних розмірів. Для аналітичного опису основних обмежень розміщень визначаються ρ -функції та вільні від радикалів квазі ρ -функції. Будується математична модель у вигляді задачі нелінійного програмування. Пропонуються ефективні методи пошуку допустимих стартових точок та локальних екстремумів.

У *п'ятому розділі* розглядається задача упаковки неорієнтованих еліпсоїдів у довільний опуклий контейнер (границя якого формується сферичними, циліндричними, еліптичними поверхнями та площинами) мінімальних розмірів з урахуванням мінімально допустимих відстаней. Пропонується використовувати апроксимацію еліпсоїдів багатогранниками або кулями. Для моделювання відношень неперетину еліпсоїдів, належності еліпсоїда контейнеру та обмежень на мінімально допустимі відстані використовуються ρ -функції, квазі ρ -функції, псевдонормалізовані ρ -функції і псевдонормалізовані квазі ρ -функції. Будується математична модель у вигляді задачі нелінійного програмування. Пропонуються алгоритми пошуку стартових точок та допустимих розв'язків.

У *шостому розділі* наведено результати обчислювальних експериментів, виконаних за допомогою програмного забезпечення, побудованого із застосуванням розроблених у ході роботи засобів моделювання, методів та алгоритмів. Зокрема, наведені результати розв'язання задач оптимальної упаковки еліпсоїдів 3DNEP, 3DEP та 3DAEP.

У *додатку А* представлено список публікацій здобувача. *Додаток Б* містить акт про використання результатів дисертації в навчальному процесі ХНУРЕ, акт про використання результатів досліджень та програмного забезпечення в ІТ компанії Cloud Works, лист-рекомендацію про використання результатів дисертації в дослідницьких програмах мексиканського університету Nuevo Leon State University. У *додатку В* наведено опис дослідницької програми «Optimal packing of ellipsoids». *Додаток Д* містить дані обчислювальних експериментів розв'язання задач з шостого розділу.

Зауваження до дисертаційної роботи є такими:

1. На мою думку, доцільно було б згрупувати в окремі розділи дисертації засоби математичного моделювання, математичні моделі та методи розв'язання для розглянутих в роботі задач оптимальної упаковки еліпсоїдів.

2. Хоча в розділі 3 побудовано ρ -функції для моделювання однаково орієнтованих гомотетичних еліпсоїдів, але не наведено жодного прикладу з використанням даних ρ -функцій для ненульових кутів повороту.

3. У розділі 5 корисним було б провести дослідження залежності швидкості збіжності процедури 3DLOFT від значення параметра ε .

4. В роботі для пошуку допустимих розв'язків використовується метод мультістарта, але не наведено оцінки числа стартових точок.

5. Не наведено порівняння результатів чисельних експериментів з кращими відомими результатами для задачі оптимальної упаковки еліпсоїдів у різних опуклих контейнерах.

Зроблені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновки. Результати дисертаційної роботи є новими, оригінальними. Вони викладені у публікаціях автора в наукових фахових виданнях. Дисертація є завершеною науковою роботою, у якій побудовані конструктивні засоби математичного та комп'ютерного моделювання, ефективні методи пошуку допустимих та локально-оптимальних розв'язків для задач упаковки заданого набору еліпсоїдів у контейнер мінімальних розмірів.

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

Зміст автореферату дисертації повністю відповідає основним положенням самої дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота Хлуд О.М. «Задача оптимальної упаковки еліпсоїдів: математичні моделі та методи розв'язання» відповідає встановленим вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 (зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015 та № 567 від 27.07.2016), що висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує на присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

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

В.М. Комяк

Підпис засвідчую
Вчений секретар
Національного університету цивільного
захисту України
канд. психол. наук, с.н.с.



А.Ю.Побідаш