

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу Чугая А.М.

"Математичне моделювання та методи розв'язання задач оптимальної упаковки тривимірних тіл",

подану на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дослідження. На сьогоднішній день стрімко зростає інтерес до ефективного розв'язання задач пошуку оптимальної упаковки тривимірних тіл, які належать до класу *NP*-складних і є предметом дослідження обчислювальної геометрії, а методи їх розв'язання - новим напрямом теорії дослідження операцій. Висока зацікавленість пояснюється широким застосуванням в різноманітних галузях науки та техніки та неймовірною складністю математичних моделей і методів їх розв'язання.

Цей клас задач має широкий спектр наукових та практичних застосувань, наприклад, в задачах логістики (при упаковці вантажів для транспортування), в машинобудуванні (при компоновці літальних апаратів, суден і т.д.), у матеріалознавстві (дослідження властивостей та структури матеріалів, порошкова металургія), у нанотехнологіях і т.д.

На цей час задачі упаковки тривимірних тіл залишаються найменш дослідженими в класі задач розміщення. Серед об'єктів розміщення, як правило, розглядаються циліндри або паралелепіпеди, а довільні просторові тіла представляються у вигляді апроксимаційних моделей. Для їх розв'язання здебільшого використовуються евристичні алгоритми, що призводить до втрати оптимальних розв'язків.

Дисертаційна робота присвячена математичному і комп'ютерному моделюванню процесу оптимізації упаковки тривимірних тіл з використанням точних математичних моделей та підходів, що базуються на застосуванні оптимізаційних методів нелінійного програмування та сучасних НЛП солверів

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в період з 2007 р. по 2018 р. у відділі математичного моделювання й оптимального проектування Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України і є частиною досліджень, що проводяться під керівництвом члена-кореспондента НАН України Стояна Ю.Г. відповідно до планів науково-дослідних робіт за такими держбюджетними темами: "Розробка конструктивних засобів та обчислювальних методів для розв'язання оптимізаційних задач упаковки та покриття" (2007-2011 рр., № ДР 0107U003662); "Створення інтелектуальних інформаційних технологій розв'язання оптимізаційних задач розміщення об'єктів довільних просторових форм" (2012-2016 рр., № ДР 0112U002488); "Розробка математичних моделей та комп'ютерних технологій розв'язання оптимізаційних задач компоновки тривимірних об'єктів" (2017-2018 рр. № ДР 0117U000877).

Обґрунтованість та достовірність нових положень, висновків і рекомендацій дисертації підтверджено коректністю постановок задач,

строгістю математичних викладок, застосуванням конструктивних апробованих засобів математичного моделювання, надійністю використаних методів нелінійної та негладкої оптимізації. Наведені в роботі чисельні експерименти демонструють найкращі за значенням цільової функції та часом виконання результати порівняно з світовими аналогами, що також підтверджує достовірність отриманих положень.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукові результати дисертаційної роботи є подальшим розвитком математичного моделювання і обчислювальних методів в геометричному проектуванні: створено нові математичні моделі, розроблено нові методи та сучасні інформаційні технології розв'язання оптимізаційних задач упаковки тривимірних тіл.

Світовий рівень створених засобів математичного моделювання задач упаковки тривимірних тіл підтверджено публікаціями у високореєтингових міжнародних журналах, апробацією на міжнародних конференціях та симпозіумах, довідками про використання у виробництві і свідоцтвами про реєстрацію авторського права на твір.

Основні наукові результати дисертації вказані в авторефераті і серед них можна виділити такі:

- побудовано новий клас Φ -функцій для орієнтованих тривимірних тіл, поверхня яких утворена циліндричними, конічними, сферичними поверхнями та площинами;
- побудовано новий клас Φ -функцій та квазі- Φ -функцій для неорієнтованих тривимірних тіл, поверхня яких сформована циліндричними, конічними та сферичними поверхнями;
- вперше побудовано математичну модель загальної задачі оптимальної упаковки неорієнтованих тривимірних тіл, поверхня яких сформована циліндричними, конічними, сферичними поверхнями і площинами та різні її реалізації;
- вперше розроблено єдину методологію розв'язання задач оптимальної упаковки тривимірних тіл, що допускають одночасно неперервні повороти та трансляції, яка ґрунтується на підходах до пошуку упаковки орієнтованих та неорієнтованих тривимірних тіл;
- розроблено нові стратегії розв'язання задач упаковки тривимірних тіл;
- набули подальшого розвитку та удосконалення методи розв'язання оптимізаційних задач упаковки тривимірних тіл, які враховують неперервні повороти та трансляції, а саме методи побудови допустимих початкових точок для пошуку локальних екстремумів (регулярних розміщень, гомотетичних перетворень об'єктів, кластеризації); методи локальної оптимізації, які ґрунтуються на використанні методу внутрішньої точки та методу можливих напрямів разом зі стратегіями активного набору, вибору підобластей та декомпозиції задачі на задачі меншої розмірності й обчислювальної складності; методи пошуку наближень до глобального екстремуму задач упаковки (модифікації методу околів, що звужуються, та методу побудови перспективних розміщень і організації переходів до локальних екстремумів з кращими

значеннями функції цілі).

Практичні результати дисертації полягають у створенні нових математичних моделей та ефективних методів, а на їх базі - комп'ютерних програм, які можуть використовуватися у вигляді оптимізаційного ядра в системах автоматизованого проектування різних технічних систем та пристроїв у машинобудуванні, при проведенні комп'ютерного моделювання структури різних матеріалів у матеріалознавстві, порошковій металургії, нанотехнологіях, при оптимізації процесу 3D-друку для SLS-технології адитивного виробництва, у інформаційно-логістичних системах, що забезпечують оптимізацію перевезення і зберігання різних вантажів.

Деякі отримані результати було впроваджено на етапі конструкторського проектування при розв'язанні задач компонування синтезу для авіаційної промисловості та у логістичних задачах на державному підприємстві "Харківський машинобудівний завод"ФЕД.

Повнота викладення наукових положень. За темою дисертації опубліковано 64 наукових праці, у тому числі: 1 монографія (видавництво SpringerOptimizationandItsApplications, індексується науково-метричною базою Scopus), 32 статті у наукових фахових виданнях, що входять до переліку наукових спеціалізованих видань, серед яких 8 статей в міжнародних журналах, що індексуються науково-метричною базою Scopus, з них 3 – у високорейтингових зарубіжних (EuropeanJournalofOperationalResearch, JournaloftheOperationalResearchSociety, AdvancesinDecisionSciences), 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, 30 тез та доповідей на міжнародних наукових конференціях (з них 3 – на міжнародних конференціях ESICUP, EuropeanConferenceonOperationalResearch, Applicationofinformationandcommunicationtechnologyandstatisticsineconomyandeducation).

H-індекс цитування робіт дисертанта за науково-метричною міжнародною базою Scopus дорівнює 4.

Загалом слід констатувати, що здобуток виконаних досліджень – це якісно новий рівень теоретичного обґрунтування і практичної реалізації методів розв'язання класу задач упаковки неорієнтованих тривимірних тіл.

Наукові результати дисертаційної роботи достатньо повно викладено в опублікованих працях.

Дисертація складається зі вступу, сьомих розділів, висновків, списку літератури з 250 найменуваннями та двох 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 тривимірних тіл і методів їх розв'язання, та вибору напряму дослідження.

В *другому розділі* дисертації наводяться визначення Ф-функції, псевдонормалізованої Ф-функції, квазі-Ф-функції, як засобів математичного

моделювання обмежень неперетину об'єктів розміщення. Будується клас Φ -функцій для орієнтованих тривимірних тіл, поверхня яких утворена циліндричними, конічними, сферичними поверхнями та площинами.

У *третьому розділі* проведено математичне моделювання взаємодії для таких пар неорієнтованих тривимірних тіл: опуклих багатогранних тіл; неопуклих багатогранних тіл; багатогранного тіла та кулі; паралелепіпедів, які допускають ортогональні повороти; тривимірних тіл, поверхня яких утворена сферичними, циліндричними, конічними поверхнями та площинами. Слід відзначити, що квазі- Φ -функції мають більш простий вигляд, ніж Φ -функції. Такий простий вид умов взаємного неперетинання неорієнтованих тривимірних тіл став можливим завдяки введенню додаткових змінних (які визначають параметри розділяючої площини). Але в той же час введення додаткових змінних для кожної пари тривимірних тіл значно збільшує розмірність задачі, що ускладнює пошук її розв'язку. Побудовані в цьому розділі Φ -функції та квазі- Φ -функції дозволяють побудувати точні математичні моделі оптимізаційних задач упаковки тривимірних тіл.

Четвертий розділ присвячено побудові математичної моделі загальної задачі упаковки тривимірних тіл у вигляді задачі нелінійного програмування, у загальному виді, з негладкими функціями. Досліджуються властивості побудованої моделі. Показано, що область допустимих розв'язків може бути представлена у вигляді об'єднання підобластей, кожна з яких описується системою нерівностей з гладкими функціями. Виділяються та досліджуються реалізації основної математичної моделі.

У *п'ятому розділі* в розділі 5 представлено єдину методологію розв'язання задач упаковки тривимірних тіл, що допускають одночасно неперервні повороти та трансляції. Розроблена методологія використовує два основних підходи до розв'язання задач: упаковки опуклих орієнтованих тривимірних тіл; упаковки неорієнтованих тривимірних тіл. У випадку неорієнтованих тіл підхід до розв'язання задачі використовує дві різні стратегії пошуку наближення до глобального розв'язку, які обираються в залежності від форми тіл. У випадку, якщо тіла мають опуклу форму, використовується стратегія, яка ґрунтується на гомотетичних перетвореннях та пошуку перспективних точок. Оскільки при упаковці тривимірних тіл неопуклої форми складність задачі значно підвищується, то для її розв'язання використовується багатоетапна стратегія мультістарту, яка на початковому етапі використовує стратегію упаковки неорієнтованих опуклих тіл.

Кожна із запропонованих стратегій ґрунтується на використанні послідовності таких методів: методу побудови допустимих точок з області припустимих розв'язків; методу локальної оптимізації; методу глобальної оптимізації.

У *шостому розділі* представлено опис розроблених методів побудови початкових точок, пошуку локальних екстремумів і наближення до глобального екстремуму задачі. В роботі були розроблені такі методи: для упаковки конгруентних тривимірних тіл - метод регулярних розміщень; для опуклих тіл, поверхня яких утворена конічними, циліндричними та сферичними поверхнями, - метод гомотетичних перетворень; для неопуклих багатогранних тіл - метод кластеризації. Аналіз особливостей математичних моделей задач упаковки

показав, що область припустимих розв'язків описується дуже великою кількістю нелінійних нерівностей. Цей факт потребує розробки методів, які дозволять ефективно розв'язати проблему великої розмірності задачі. Основна ідея запропонованих методів локальної оптимізації ґрунтується на декомпозиції основної задачі на підзадачі зі значно меншою кількістю обмежень та меншої розмірності. Для цього виконуються такі етапи: послідовна генерація підобластей області припустимих розв'язків, які містять початкову точку; визначення підсистеми ε -активних обмежень; пошук за допомогою сучасних НЛП солверів другого порядку (метод внутрішньої точки) локальних екстремумів на обраних підобластях; організація переходу до інших підобластей.

В роботі запропоновано методи глобальної оптимізації, які дозволяють знаходити наближення до глобальних екстремумів за рахунок: організації направленої випадкового перебору локальних екстремумів; організації переходів до локальних екстремумів з кращими значеннями функції цілі, використовуючи гомотетичні перетворення тривимірних тіл.

В *сьомому розділі* наведено результати чисельних експериментів, проведених за допомогою програмного забезпечення, яке реалізує розроблені математичні моделі та методи розв'язання задач оптимальної упаковки тривимірних тіл.

В ході дослідження розроблених математичних моделей та методів було розв'язано широкий спектр задач пошуку оптимальної упаковки тривимірних тіл. У ході проведення багаточисельних експериментів було виконано порівняння отриманих результатів з аналогічними результатами зарубіжних дослідників та отримано покращення результатів як за функцією цілі, так і за часом розв'язання. Експерименти підтвердили ефективність розроблених математичних моделей та методів. Використання технологій паралельних обчислень дозволило скоротити час розв'язання задач на 30%.

Зауваження до дисертаційної роботи є такими:

1. В роботі автор вказує про отримання локальних мінімумів, але не наводить перевірку необхідних та достатніх умов отримання цих точок.
2. Не обґрунтовано вибір методу локальної оптимізації, модифікація якого розроблена для пошуку локальних максимумів задачі упаковки максимальної кількості конгруентних циліндрів (підрозділ 6.2.1).
3. В особливостях математичної моделі (4.1)-(4.2) автор вказує, що область припустимих розв'язків є незв'язною множиною, проте не наводить відповідного доказу.
4. У роботі слід було б навести порівняння обчислювальних витрат і результатів розв'язку задач із застосуванням і без застосування методу декомпозиції при пошуку локальних екстремумів.
5. У підрозділі 6.2.2 не наведено дослідження залежності швидкості збіжності методу локальної оптимізації від значення параметру декомпозиції.
6. Не визначено обчислювальну складність запропонованих у дисертації методів.
7. Не досліджена залежність ефективності отриманих розв'язків від вибору

8. В роботі бажано було б навести оцінки наближення отриманих розв'язків до глобальних екстремумів для розв'язаних задач.
9. Для результатів чисельних експериментів, наведених у розділі 7.6.1 не наведена інформація про вихідні дані.
10. У розділі 7.1.1 наведено лише загальні характеристики розробленого програмного забезпечення. На мою думку, необхідно було би навести повний опис розробленого програмного забезпечення в окремому додатку.

Зроблені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

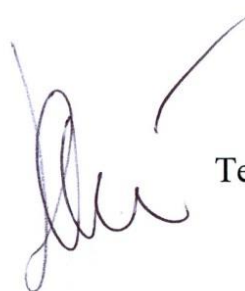
Висновки. Результати дисертаційної роботи є новими, оригінальними, та викладені у публікаціях автора в наукових фахових виданнях. Дисертація є завершеною науковою роботою, у якій побудовані конструктивні засоби математичного та комп'ютерного моделювання, ефективні методи пошуку розв'язків для задач упаковки тривимірних тіл.

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 дисертаційної роботи.

Робота за актуальністю, науковою новизною отриманих результатів, їх достовірністю та практичною значимістю відповідає вимогам пунктів 9,10,12,13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013р. № 567, а її автор заслуговує на присвоєння наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Завідувач кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор



Тевяшев А. Д.

