

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Мелашенко Оксани Петрівни «Математична модель та метод розв'язання оптимізаційної задачі компонування геометричних об'єктів з урахуванням перетворення розтягування та стиснення», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Актуальність дослідження ефективних методів розв'язання задач оптимізації розміщення геометричних об'єктів зумовлена як широким спектром практичних застосувань, так і високим рівнем складності відповідних математичних моделей та алгоритмічних підходів. Такі задачі виникають у процесі вирішення ключових проблем біології та медицини; у матеріалознавстві — при вивченні фізико-хімічних процесів, створенні новітніх матеріалів і вдосконаленні технологічних процедур; в адитивних технологіях; у логістиці — для прогнозування попиту, оптимізації управління запасами, підвищення ефективності функціонування логістичних систем і мінімізації витрат; у наукових дослідженнях у галузі нанотехнологій та робототехніки; у системах комп'ютерного розпізнавання образів; а також у хімічній промисловості, машинобудуванні, суднобудуванні та інших галузях.

У відомій науковій школі члена-кореспондента НАН України Ю.Г. Стояна в рамках теорії геометричного проектування розроблено аналітичні засоби математичного моделювання обмежень розміщення з використанням всесвітньо визнаного методу ϕ -функцій та ефективних методів пошуку допустимих та локально-оптимальних розв'язків оптимізаційних задач компонування геометричних об'єктів, що мають **фіксовану просторову форму**.

Врахування перетворень деформації (розтягування та стиснення) розміщуваних об'єктів є особливо важливим для прикладних задач, де геометричні об'єкти можуть **змінювати свою просторову форму** (м'які об'єкти) під впливом зовнішніх факторів (таких як тиск, температура або механічні навантаження).

Компонування м'яких об'єктів є перспективним засобом математичного та комп'ютерного моделювання таких задач, як оптимізація дизайну структури порошків металевих та керамічних сплавів; оптимізація завантаження та транспортування вантажів; ландшафтно-екологічної оптимізації сільськогосподарського землекористування; створення модельного ядра із заданими параметрами пористості для вивчення структури породи та пустотного простору.

Таким чином, наукової та практичної значущості набуває проблема створення інтелектуальних технологій розв'язання сучасних задач оптимального компонування м'яких геометричних об'єктів на основі конструктивних засобів математичного та комп'ютерного моделювання, ефективних методів оптимізації та обчислювальної математики, засобів візуалізації різноманітних варіантів розміщення, а дисертаційне дослідження Мелашенко Оксани Петрівни за темою «Математична модель та метод розв'язання оптимізаційної задачі компонування геометричних об'єктів з урахуванням відображення розтягування та стиснення» є актуальним напрямом розвитку теорії геометричного проектування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана в період з 2021 по 2025 роки в Інституті енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України та є частиною науково-технічних робіт, що фінансуються за держбюджетною темою КПКВК 6541030. Ця тема спрямована на розробку математичних моделей та методів розв'язання задач геометричного проектування з урахуванням механічних та технологічних чинників (2022 – 2026 рр). Крім того, робота пов'язана з держбюджетною програмою КПКВК 6541230 (2023 р.), яку присвячено підвищенню ефективності процесу комплексного водневого термобарохімічного впливу на продуктивні горизонти шляхом математичного та фізичного моделювання.

Дисертаційна робота також включає спільні наукові дослідження з Державним університетом Нуево Леон (Мексика), відповідно до договору про програми академічного обміну з науки і техніки на період з 2021 по 2024 роки. Крім того, авторка брала участь у проєкті Volkswagen Foundation, грант #97775, TU, Дрезден (Німеччина), який здійснювався спільно з відділом методів негладкої оптимізації Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України з 2021 по 2024 роки.

Практичне значення отриманих результатів

Розроблені програмні модулі оптимізації компонування м'яких об'єктів застосовуються: на кафедрі «Матеріалознавство та інженерія матеріалів» Національного університету «Львівська політехніка» для комп'ютерного моделювання процесу заповнення заданого об'єму частинками несферичної форми та для вивчення структури зразків матеріалу, які отримані у результаті 3D-друку; для оптимізації завантаження та транспортування вантажів (ТОВ Лактіонов С. І.); для вдосконалення процесу таблетування (аналіз властивостей порошкоподібних лікарських засобів під час їх розміщення у м'яких капсулах) у виробничій діяльності підприємства Біолік-Фарма; під час проектування об'єктів аеродрому/аеропорту (будівель та споруд авіаційного та неавіаційного призначення, під час регулювання землекористування в околицях аеропорту/аеродрому) у ході виконання науково-дослідної роботи «Проектування аеродромів, вертодромів, аеропортів і об'єктів їх інфраструктури» (Науково-дослідний центр судової експертизи у сфері інформаційних технологій та інтелектуальної власності Міністерства юстиції України), про що свідчать відповідні довідки.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За змістом дисертаційна робота здобувачки Мелашенко О.П. повністю відповідає стандарту вищої освіти та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми зі спеціальності 113 – «Прикладна математика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувачки до теорії геометричного проектування.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Послідовність викладення результатів роботи є логічною, строгою і зрозумілою.

У тексті дисертаційної роботи та у публікаціях, що містять результати наукових досліджень О. П. Мелашенко, порушень принципів академічної доброчесності (плагіату, фабрикації та фальсифікації) не виявлено.

Дисертаційна робота відповідає вимогам щодо академічної доброчесності.

Робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

В анотаціях стисло і чітко описуються актуальність дослідження, структура дисертації, узагальнено основні результати, наведені ключові слова та зміст роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, що підкріплюється чітко сформульованою метою дослідження, визначено наукову новизну, теоретичне та практичне значення. Вказано на зв'язок роботи з науковими темами, а також особистий внесок дисертантки у дослідження.

У першому розділі проведено огляд літератури, присвяченої задачам оптимального компонування геометричних об'єктів у контейнери різної форми. Наведено основні положення методу ρ -функції – відомого інтелектуального засобу математичного та комп'ютерного моделювання відношень геометричних об'єктів. Описано загальну математичну модель оптимізаційної задачі компонування геометричних об'єктів у рамках теорії геометричного проектування. Проведено аналіз публікацій, який дозволив зробити висновки, що найбільша увага приділялася задачам оптимального компонування об'єктів з фіксованою просторовою формою, тоді як задачі компонування об'єктів зі змінною формою досліджені недостатньо.

Обґрунтовано актуальність обраного напрямку дослідження та сформульовано задачу оптимізації компонування м'яких об'єктів, що можуть змінювати просторову форму з урахуванням їх трансляцій, поворотів та перетворень еластичності. Цей напрям досліджень є подальшим розвитком теорії геометричного проектування.

У другому розділі досліджено нову задачу компонування м'яких еліпсів і багатокутників у прямокутний контейнер мінімальної висоти. Розглянуто два сценарії для багатокутників: зі змінними вершинами та заданими параметрами еластичності, а також зі змінними параметрами руху та еластичності. Для еліпсів інтервал зміни параметра еластичності є заданим.

Для аналітичного опису обмежень розміщення побудовано ρ -функції для моделювання включення м'яких об'єктів у контейнер та квазі ρ -функції для моделювання неперетину. Доведено, що перетворення еластичності зберігає площу кожного багатокутника та еліпса. Математична модель сформульована як неперервна нелінійна оптимізаційна задача.

Запропоновано метод розв'язання, заснований на стратегії мултистарта, алгоритмі побудови допустимих стартових розміщень та ітераційній процедурі декомпозиції. Компонування м'яких еліпсів і багатокутників мотивоване моделюванням пористих середовищ під тиском, що актуально для нафтогазової промисловості.

Таким чином, розробка моделей і методів для компонування м'яких опуклих багатокутників потребує подальших досліджень. Наведено результати обчислювальних експериментів, які підтвердили ефективність запропонованого підходу для оптимізації компонування м'яких еліпсів і багатокутників у прямокутний контейнер.

Третій розділ присвячено задачі компонування м'яких прямокутників в опуклий контейнер із зонами заборони. Для аналітичного опису умов неперетину та включення м'яких прямокутних об'єктів визначено ρ -функції та квазі ρ -функції. Доведено, що перетворення еластичності зберігає площу кожного прямокутника.

Розглянуто різні цільові функції залежно від типу контейнера (круговий, прямокутний, полігональний), а також випадки наявності зон заборони всередині контейнера. Створено математичну модель як задачі нелінійного програмування.

Запропоновано метод розв'язання, який включає алгоритм генерації допустимих стартових розміщень та метод декомпозиції. Проведено чисельні експерименти, які

підтвердили ефективність запропонованого підходу для компонування м'яких прямокутників у трикутних, прямокутних, кругових та масштабованих опуклих контейнерах із зонами заборони.

Четвертий розділ присвячено задачі компонування довільних м'яких багатокутників у опуклий полігональний контейнер мінімальної площі або периметра. Розроблено аналітичні засоби для опису умов розміщення нерегулярних багатокутників.

Описано умови опуклості контейнера, що має змінні вершини, та збереження площі кожного багатокутного об'єкта. Побудовано математичну модель задачі як задачу нелінійного програмування. Запропоновано метод генерації допустимих стартових розміщень та метод декомпозиції для локальної оптимізації.

Наведено результати обчислювальних експериментів, які демонструють ефективність запропонованого підходу для компонування нерегулярних м'яких багатокутників у опуклий полігональний контейнер мінімальної площі або периметра.

У п'ятому розділі сформульовано задачу компонування множини м'яких багатогранників в опуклий контейнер мінімального об'єму. Багатогранники можуть змінювати свою просторову форму в межах заданих параметрів еластичності, зберігаючи при цьому об'єм та опуклість.

Розглянуто два сценарії компонування м'яких опуклих багатогранників: зі змінними вершинами та фіксованими параметрами еластичності; зі змінними параметрами руху та еластичності. Запропоновано математичні моделі для опису умов розміщення (неперетин та включення) м'яких багатогранників за допомогою ϕ -функцій. Доведено, що перетворення еластичності зберігає об'єм кожного багатогранника.

Побудовано відповідні математичні моделі як задачі нелінійного програмування. Розроблено метод розв'язання, який включає алгоритм генерації допустимих стартових розміщень та метод декомпозиції, що дозволяє звести задачу великої розмірності до послідовності задач меншої розмірності, пропорційної кількості багатогранників.

Наведено результати обчислювальних експериментів, які демонструють ефективність запропонованого підходу для компонування м'яких пірамід та кубоїдів у прямокутних, сферичних та циліндричних контейнерах.

У висновках охарактеризовані основні результати дисертаційної роботи.

Наукова новизна дисертаційної роботи

Усі результати, що виносяться на захист, є новими та математично обґрунтованими. У дисертаційній роботі:

✓ Сформульовано нову задачу геометричного проектування, яка, на відміну від наявних підходів, розглядає геометричні об'єкти зі змінною просторовою формою, враховуючи їх неперервні рухи та перетворення еластичності (м'які об'єкти).

✓ Вперше запропоновано квазі ϕ -функції для моделювання умови неперетину м'яких об'єктів та ϕ -функції для моделювання включення м'яких об'єктів у контейнери різної форми як подальший розвиток методу ϕ -функцій.

✓ Вперше побудовано загальну математичну модель оптимізації компонування м'яких об'єктів та математичні моделі основних її реалізацій залежно від розмірності задачі, форми об'єктів та контейнерів, виду цільових функцій та перетворень еластичності як задачі нелінійного програмування.

✓ Розроблено метод генерації допустимих розміщень та метод декомпозиції для пошуку локальних екстремумів задачі компонування м'яких об'єктів як подальший розвиток методів геометричного проектування.

Врахування перетворень еластичності дозволяє моделювати поведінку геометричних об'єктів під впливом різних факторів.

Загалом, компонування м'яких геометричних об'єктів є **новим напрямом** досліджень у теорії геометричного проектування.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 14 наукових працях здобувачки, зокрема опубліковано 6 статей, з яких 3 статті – у виданнях, які включено до міжнародної наукометричної бази Scopus (одна стаття у виданні квартиля Q1), 2 статті – у фахових виданнях України категорії А, 1 стаття – у фаховому виданні України категорії Б.

Результати дисертації доповідались на 9 міжнародних конференціях (з них 3 зарубіжних).

Таким чином, наукові результати, представлені в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Авторка виконала дуже великий обсяг досліджень, проте до роботи є кілька зауважень та побажань.

- Доцільно було б оцінити обчислювальну складність запропонованих алгоритмів.
- Для розв'язання задач нелінійного програмування застосовано локальний солвер IPOPT. Порівняння часу обчислень із застосуванням інших солверів, таких як Couenne, Gurobi, могло би прикрасити роботу.

- У тексті дисертації є деякі описки та помилки. Наприклад,

Стор. 66. Другий рядок містить запис $\mu^x \mu^x$ – потрібно $\mu^x \mu^y$

Стор. 70. У реченні «Це дає змогу зменшити кількість змінних на $d^{(k)}$ та кількість нелінійних обмежень (4) на $m^{(k)}$. » після слова «обмежень» має бути (2.23)

Стор. 107. У реченні «Розглянемо умову включення (2)» треба «Розглянемо умову включення 2)».

- Приклад застосування оптимізації компонування частинок для створення цифрового керну наведено тільки для двовимірного випадку (Розділ 2, Стор. 90). На мою думку, оптимізація компонування тривимірних частинок більш адекватно описує структуру пористих середовищ.

Вважаю, що висловлені зауваження не зменшують загальну наукову новизну та практичну значущість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновки

За актуальністю теми, великим обсягом виконаних досліджень, новизною та науковою цінністю одержаних результатів дисертаційна робота Мелашенко Оксани Петрівні «Математична модель та метод розв'язання оптимізаційної задачі компонування геометричних об'єктів з урахуванням відображення розтягування та стиснення» є завершеним науковим дослідженням, виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності, відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти,

наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01. 2022 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022 та Постановою Кабінету Міністрів України № 502 від 19.05.2023) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019).

Автор дисертаційної роботи Мелашенко Оксана Петрівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – «Прикладна математика» у галузі знань 11 – «Математика і статистика».

Офіційний опонент
завідувач кафедри інформаційних
управляючих систем та технологій
ДВНЗ «Ужгородський національний
університет»,
доктор технічних наук, професор

Олександр МІЦА