

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

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню важливої та раніше не вирішеної науково-практичної задачі – аналітичного опису обмежень розміщення геометричних об'єктів, що можуть змінювати просторову форму під тиском (м'яких об'єктів) та створення ефективного обчислювального методу для розв'язання задачі пошуку оптимальних розміщень для таких об'єктів.

Ступінь актуальності обраної теми.

Математичне моделювання процесу розміщення реальних об'єктів і розробки ефективних методів оптимізації такого розміщення за певним критерієм використовується для вирішення широкого кола задач: компонування устаткування, розробки генеральних планів промислових підприємств, забудови територій, розподілу пам'яті, розкрою та покриття для забезпечення раціонального використання матеріалів тощо.

Оцінити актуальність цієї тематики можна не тільки охарактеризувавши широкий перелік галузей промисловості, де зустрічаються зазначені задачі або навівши кількість посилань на наукові роботи з цієї тематики, але й фактами існування міжнародної наукової організації ESICUP, що координує зусилля науковців, які працюють за цією тематикою, та наявності доступних веб-ресурсів, що відображають поточний стан світових досліджень з оптимізаційних задач компонування та надають можливість ознайомитися з найкращими результатами у цій галузі.

Оптимізаційні задачі компонування геометричних об'єктів належать до класу NP-складних. Інтерес до ефективного розв'язання задач цього класу пояснюється надзвичайною складністю побудови математичних моделей та широким спектром прикладних застосувань. Для розв'язання таких задач використовуються як евристичні алгоритми так і математична оптимізація. Деякі задачі компонування, поставлені як задачі нелінійного програмування, мають настільки велику розмірність, що сучасні програмні засоби локальної оптимізації не здатні знайти навіть допустимі розв'язки за прийнятний час.

Для математичного моделювання реального розміщення геометричних об'єктів довільної форми в евклідових дво- і тривимірних просторах, окрім ретельного і повного дослідження відношень геометричних об'єктів, що мають фіксовану конфігурацію із застосуванням методу ϕ -функцій, актуальною

залишається проблема аналітичного опису обмежень розміщення геометричних об'єктів, що можуть змінювати просторову форму під тиском (м'яких об'єктів). Такі задачі виникають в сучасній біології, медицині, адитивних технологіях, робототехніці та багатьох інших пріоритетних галузях науки і техніки.

Отже, створення засобів математичного та комп'ютерного моделювання, побудова математичних моделей у вигляді задач нелінійного програмування, що враховують «еластичні» (розтягування та стиснення) перетворення розміщуваних об'єктів, та розробка ефективних методів розв'язання цих задач оптимізації компонування шляхом отримання допустимих та локально-оптимальних розв'язків за прийнятний час із застосуванням сучасних вирішувачів (солверів), є актуальними. Саме на подальший розвиток досліджень за вказаним напрямом спрямована дисертаційна робота О. П. Мелашенко, про що свідчить тема та завдання дослідження, а також отримані результати.

Зв'язок дисертаційної роботи з пріоритетними напрямками розвитку науки й техніки

Дисертаційну роботу виконано в Інституті енергетичних машин і систем імені А. М. Підгорного НАН України відповідно до планів науково-технічних робіт з держбюджетної теми КПКВК 6541030, керівник – член-кореспондент НАН України Ю. Г. Стоян, «Розробка математичних моделей та методів розв'язання задач геометричного проєктування з урахуванням механічних та технологічних чинників» (2022–2026 рр.) та держбюджетної теми КПКВК 6541230, керівник – член-кореспондент НАН України О. В. Кравченко, «Підвищення ефективності процесу комплексного водневого термобарохімічного впливу на продуктивні горизонти шляхом математичного та фізичного моделювання» (2023 р.); спільних наукових досліджень з Державним університетом Нуево Леон (UANL), Мексика (Договір про програми академічного обміну з науки і техніки, 2021–2024 рр.); проєкту Volkswagen Foundation, грант #97775, TU, Дрезден, Німеччина, спільно з відділом методів негладкої оптимізації ІК НАН України, керівник від України – член-кореспондент НАН України П. І. Стецюк, (2021–2024 рр.).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Достовірність та обґрунтованість положень, висновків і результатів, отриманих в дисертаційній роботі, підтверджується коректністю постановки задачі, доведенням відповідних тверджень, застосуванням методу ϕ -функції, надійних методів нелінійної оптимізації в геометричному проєктуванні та використанням надійного локального солверу IPOPT, а також результатами обчислювальних експериментів.

Академічна доброчесність

Робота відповідає вимогам щодо академічної доброчесності. Використані положення, результати, тексти інших науковців мають посилання на першоджерело.

Проведений аналіз тексту (в тому числі з використанням інструментів, що рекомендовані для використання у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна) дає підстави для висновку про відсутність порушень академічної доброчесності.

Характеристика змісту дисертації

Структурно дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, у яких матеріал роботи викладено у наступному порядку.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, вказано об'єкт, предмет та методи досліджень, визначено наукову новизну і практичну значущість отриманих результатів та наведено інформацію про апробацію результатів дослідження і кількість публікацій за темою дисертаційної роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено огляд літератури за темою дисертації і вибору напрямів дослідження. Надано досить вичерпний огляд публікацій із проблем математичного моделювання та розв'язання задач розміщення, що належать до класу задач геометричного проектування. Наводяться визначення ϕ -функції та квазі ϕ -функції. Обґрунтовано необхідність розвитку нових засобів математичного моделювання та ефективних методів оптимізації для розв'язання задач компонування геометричних об'єктів.

Другий розділ присвячено новій задачі 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. З метою аналітичного опису обмежень розміщення побудовано ϕ -функції для моделювання включення м'яких об'єктів у контейнер та квазі ϕ -функції для моделювання неперетину. Доведено, що перетворення еластичності зберігає площу кожного багатокутника та еліпса. Математична модель сформульована як неперервна задача нелінійної оптимізації. 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. Наведено результати обчислювальних експериментів, які підтвердили ефективність запропонованого підходу для оптимізації компонування м'яких еліпсів і багатокутників у прямокутний контейнер.

У третьому розділі формулюється задача компонування м'яких прямокутників в опуклий контейнер із зонами заборони. Для аналітичного

опису умов неперетину та включення м'яких прямокутних об'єктів визначено ϕ -функції та квазі ϕ -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 у вигляді 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 оптимізації компонування м'яких прямокутників у трикутних, прямокутних, кругових та масштабованих опуклих контейнерах із зонами заборони.

У четвертому розділі формулюється задача 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'єкту. 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 формулюється задача 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 аналітичний опис умов розміщення (неперетин та включення) м'яких багатогранників за допомогою нових ϕ -функцій та квазі 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, отриманих за допомогою програмного забезпечення, створеного на основі запропонованих у роботі засобів математичного моделювання, стратегій та методів розв'язання. Продемонстровано ефективність запропонованого підходу для компонування м'яких пірамід та кубоїдів у прямокутних, сферичних та циліндричних контейнерах.

У додатках представлено список публікацій здобувача; довідки застосування результатів наукових досліджень та використання програмних

продуктів, розробленого за темою роботи; вихідні дані результатів обчислювальних експериментів та вихідні дані до прикладів, код програми оптимізації компонування м'яких об'єктів.

Нові наукові результати

У дисертаційному дослідженні отримано наступні нові науково-технічні результати.

Вперше сформульовано нову задачу геометричного проєктування, яка на відміну від існуючих підходів розглядає геометричні об'єкти зі змінною просторовою формою, та враховує окрім їх неперервних рухів також перетворення еластичності (м'які об'єкти).

Отримав подальший розвиток метод ϕ -функцій: 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.

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.

Вперше розроблено метод генерації допустимих розміщень та метод декомпозиції для пошуку локальних екстремумів задачі компонування м'яких об'єктів як подальший розвиток методів геометричного проєктування.

Повнота викладу наукових положень

Ознайомлення з дисертацією та копіями статей дозволяє зробити висновок стосовно необхідної повноти опублікованих наукових результатів у регламентованих виданнях.

Основні розділи дисертації висвітлені в статтях і виступах, що включають 14 найменувань, серед яких 3 статті у виданнях, що індексується науково-метричною базою Scopus (одна стаття у виданні квартиля Q1), 2 статті – у фахових виданнях України категорії А, 1 стаття – у фаховому виданні України категорії Б. У вступі до дисертації зазначено особистий внесок автора у наукові праці, написані у співавторстві.

Апробація результатів дисертації

Основні результати роботи доповідалися і отримали схвалення на міжнародних конференціях і наукових семінарах, серед яких 4 – українських (МПЗІС, 2022, 2023, 2024; КЗСММ, 2024), 3 – закордонні (19th ESICUP, 2023, Bologna, Italy; 20th ESICUP, 2024, Portugal; EURO 2024, Denmark)

Практичне та теоретичне значення одержаних результатів

Наукові результати дисертаційної роботи є подальшим розвитком теорії геометричного проєктування, що заснована членом-кореспондентом НАН

України Ю. Г. Стояном, зокрема: побудовано нові математичні моделі та розроблено методи розв'язання оптимізаційних задач компонування м'яких 2D&3D об'єктів, що мають широкий спектр застосувань в пріоритетних областях науки і техніки (включаючи адитивні технології, матеріалознавство, логістику, медицину, нанотехнології).

Світовий рівень створених засобів математичного моделювання, моделей та методів розв'язання підтверджується публікаціями в міжнародних журналах та фахових виданнях України і апробацією на міжнародних конференціях. Слід відмітити достойний особистий внесок автора та зацікавленість до результатів його досліджень, що підтверджується співпрацею з іноземними вченими.

Моделі, методи, алгоритми, відповідне програмне забезпечення, запропоновані в дисертаційній роботі, використані в наукових дослідженнях Інституту енергетичних машин і систем імені А. М. Підгорного НАН України під час виконання держбюджетних тем та програм в період з 2021 р. по цей час.

Зауваження до дисертаційної роботи

Зауваження спричинені здебільш значним обсягом матеріалу самої роботи.

Вивчаючи текст дисертації, легко дійти висновку, що дисертантка впоралася із викладенням великої кількості формул та ілюстрацій. Однак, у тексті чимало простих помилок і похибок, на які вказано дисертантці (наприклад:

- Стор 100: «розміри та положення $v_z = (x_z, y_z)$ фігур всередині контейнера P_z » – повинно бути «розміри та положення $v_z = (x_z, y_z)$ фігур P_z всередині контейнера».
- Стор 101: $A(\theta_i) = \begin{pmatrix} \cos \theta_i & \sin \theta_i \\ -\sin \theta_i & \cos \theta_i \end{pmatrix}$ треба $A(\theta_i) = \begin{pmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{pmatrix}$
- Стор 111: $v_i^0 \in \Omega^z(L^0) = \Omega(L^0) / \bigcup_z P_z$ треба $v_i^0 \in \Omega^z(L^0) = \Omega(L^0) \setminus \bigcup_z P_z$
- Стор. 112: «Результат, показаний на рис.4 г» – потрібно «Результат, показаний на рис.3.4 г»

Найбільше зауважень стосується занадто лаконічного опису властивостей математичних моделей основних реалізацій задач оптимізації компонування м'яких 2D- та 3D-об'єктів.

Вказані недоліки, зумовлені складністю предмету досліджень, намаганням забезпечити використання результатів у подальших дослідженнях, мета та завдання яких уявляються нечітко.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновки

Дисертаційна робота Мелащенко Оксани Петрівни «Математична модель та метод розв'язання оптимізаційної задачі компонування геометричних об'єктів з урахуванням перетворення розтягування та стиснення» подано у вигляді спеціально підготовленої кваліфікаційної наукової праці на правах рукопису, що виконувалася здобувачем особисто.

Дисертація містить наукові положення, нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати проведених здобувачем досліджень, що мають істотне значення для галузі прикладної математики. Це підтверджено публікаціями, що розкривають основний зміст роботи. Дисертація свідчить про суттєвий особистий внесок здобувача в науку та характеризується єдністю змісту.

Отримані пошукачкою результати мають не тільки наукове, але й прикладне значення оскільки їх можна застосовувати у дослідженнях класів задач розміщення геометричних об'єктів у різних галузях науки та промисловості.

Дисертація «Математична модель та метод розв'язання оптимізаційної задачі компонування геометричних об'єктів з урахуванням відображення розтягування та стиснення» відповідає спеціальності 113 – «Прикладна математика». Анотація і опубліковані роботи за темою дисертації повністю відповідають її змісту.

Вважаю, що подана до захисту дисертаційна робота Мелащенко О. П. відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, зокрема 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), а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – «Прикладна математика» у галузі знань 11 – «Математика і статистика».

Офіційний опонент

Декан факультету математики і інформатики

Харківського національного університету

імені В. Н. Каразіна,

доктор технічних наук, професор



Григорій ЖОЛТКЕВИЧ