

ВІДГУК

офіційного опонента – доктора технічних наук, професора Комяк Валентини Михайлівни на дисертаційну роботу Мелашенко Оксани Петрівни «Математична модель та метод розв’язання оптимізаційної задачі компонування геометричних об’єктів з урахуванням перетворення розтягування та стиснення», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

1. Актуальність теми.

Дисертаційну роботу присвячено розробці математичних моделей та методів розв’язання нестандартних задач оптимізації компонування геометричних об’єктів, що мають змінну просторову форму за умови збереження їх площі/об’єму, зі застосуванням перетворень розтягування та стиснення (перетворень еластичності).

Основу досліджень у дисертаційній роботі становить метод ϕ -функцій (the ϕ -function technique), заснований членом-кореспондентом НАН України Ю. Г. Стояном, який на сьогодні європейською спільнотою Operational Research визнано найбільш потужним засобом математичного та комп’ютерного моделювання відношень складних геометричних об’єктів, що не має аналогів у світі.

Цей метод дозволяє описувати оптимізаційні задачі розміщення (зокрема компонування) у вигляді задач математичного програмування. На сьогодні побудовані ϕ -функції/квазі ϕ -функції для деяких класів 2D&3D геометричних об’єктів, що мають фіксовану просторову форму.

Однак сучасні практичні застосування потребують урахування нестандартних обмежень розміщення геометричних об’єктів, що мають змінну просторову форму, за умови збереження площі/об’єму. Зокрема такі задачі постають у геології, матеріалознавстві, медицині, біології, логістиці, в адитивному виробництві.

Тому дисертаційна робота О. П. Мелашенко, яку присвячено розробленню аналітичних засобів опису умов розміщення, побудові математичних моделей та методів розв’язання нестандартних задач оптимізації компонування геометричних об’єктів змінної просторової форми з застосуванням перетворень еластичності за умови збереження їх площі/об’єму є актуальною.

2. Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота Ю. П. Мелашенко виконувалася в період з 2021 р. по 2025 р. в Інституті енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України відповідно до планів науково-дослідних 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) 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); спільних наукових досліджень з Державним університетом Нуево Леон (UANL), Мексика (Договір про програми академічного обміну з науки і техніки, 2021–2024); проекту 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).

3. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Висновки і результати дисертації в частині розроблених автором математичних моделей та методів в цілому справляють враження добре обґрунтованих коректним використанням методів геометричного проектування та оптимізації. Достовірність отриманих наукових результатів дисертації забезпечується коректністю постановки задачі дослідження, використанням відомих методів геометричного проектування, зокрема, методу ϕ -функцій, ефективністю розроблених методів розв'язання оптимізаційних задач з точки зору обчислювальної складності. Ефективність запропонованих методів підтверджується порівнювальним аналізом результатів обчислювальних експериментів з експериментальними даними.

Таким чином, можна стверджувати, що вихідні положення дисертації є коректними, одержані результати, висновки і рекомендації логічно та математично аргументовані, їх достовірність підкріплюється перевіркою працездатності моделей, методів та програмних засобів.

4. Новизна наукових положень і висновків

В ході досліджень сформульовано нові наукові положення і висновки, отримано ряд нових результатів, що мають суттєве наукове і практичне значення. При цьому:

1) Сформульовано нову задачу геометричного проектування, яка, на відміну від існуючих, розглядає геометричні об'єкти, які можуть змінювати просторову форму під дією зовнішніх сил за умови збереження їхніх площі/об'єму (м'які об'єкти).

2) Набув подальшого розвитку метод ϕ -функцій: вперше запропоновано засоби математичного моделювання обмежень розміщення для задачі компонування м'яких об'єктів, у тому числі:

– квазі ϕ -функції для моделювання відношення неперетину двовимірних та тривимірних м'яких об'єктів;

– ϕ -функції для моделювання відношення включення двовимірних та тривимірних м'яких об'єктів у контейнери різної форми.

3) Уперше побудовано загальну математичну модель оптимізації компонування м'яких об'єктів як задачу нелінійного програмування та її основні реалізації залежно від розмірності задачі, форми об'єктів і

контейнерів, виду цільових функцій та перетворень еластичності, із застосуванням запропонованих ρ -функцій та квазі ρ -функції.

4) Набули подальшого розвитку методи геометричного проектування для класу задач компонування об'єктів, що мають змінну просторову форму:

- розроблено метод генерації допустимих розміщень для задачі компонування м'яких об'єктів;

- розроблено метод декомпозиції для пошуку локальних екстремумів задачі компонування м'яких об'єктів, який дає змогу звести задачу великої розмірності до послідовності задач нелінійного програмування значно меншої розмірності, лінійної відносно кількості м'яких об'єктів.

5. Практична значимість і шляхи використання результатів.

Практична значущість отриманих результатів полягає в тому, що наукові результати дисертаційної роботи є подальшим розвитком математичного моделювання та обчислювальних методів в геометричному проектуванні: 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, нанотехнології, матеріалознавство, логістику, медицину, робототехніку).

Розроблені програмні модулі оптимізації компонування м'яких об'єктів застосовуються: на кафедрі «Матеріалознавства та інженерії 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 при їх розміщенні у м'яких капсулах) у виробничій діяльності підприємства Біолік – Фарма; при проектуванні об'єктів аеродрому/аеропорту (будівель та споруд авіаційного та неавіаційного призначення, при регулюванні 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).

Методи, що запропоновані в дисертаційній роботі, використані в наукових дослідженнях Інституту енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України під час виконання держбюджетних тем, спільних наукових досліджень с Державним університетом Нуево Леон (UANL), Монтеррей, Мексика, використані в Договорі про програми академічного обміну з науки та техніки, (2021-2024), у проекті Volkswagen Foundation #97775 (2021-2024), TU, Dresden, Germany.

6. Зміст, завершеність, стиль викладу, публікації, апробація.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 194 найменувань та 4 додатків. Оформлення дисертації виконано відповідно до діючих вимог.

У вступі наведена загальна характеристика дисертації, обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та завдання роботи, об'єкт, предмет та методи дослідження, сформульовано наукову новизну, практичну значущість одержаних результатів, визначено особистий внесок авторки, наведено дані про апробацію та впровадження результатів дослідження, надано інформацію про кількість публікацій за темою роботи.

У першому розділі виконано огляд літературних джерел, у яких розглядаються моделі та методи розв'язання оптимізаційних задач компонування двовимірних та тривимірних об'єктів (2D та 3D об'єктів) у контейнери різної просторової форми, які мотивовані сучасними застосуваннями. Наведено основні положення теорії геометричного проєктування, які є основою для створення засобів математичного та комп'ютерного моделювання нестандартних задач оптимізації компонування геометричних об'єктів з урахуванням перетворень еластичності. Розглянуто поняття ϕ -функції (для опису умов включення 2D та 3D об'єктів) та квазі ϕ -функції (для опису умов неперетину 2D та 3D об'єктів), наведено їхні основні властивості. Сформульовано задачу оптимізації компонування м'яких об'єктів. Обґрунтовано актуальність обраного напрямку дослідження.

Другий розділ присвячено дослідженню задач компонування м'яких еліпсів/багатокутників у контейнер мінімальної висоти. Розглянуто два сценарії задачі компонування м'яких багатокутників: 1) зі змінними вершинами та заданими параметрами еластичності; 2) зі змінними параметрами руху та змінними параметрами еластичності. У задачах компонування м'яких еліпсів інтервал зміни параметра еластичності є заданим. Доведено, що запропоноване перетворення еластичності зберігає площу кожного багатокутника/еліпса. Для аналітичного опису обмежень розміщення побудовано ϕ -функції для моделювання відношення включення м'яких об'єктів (еліпсів/багатокутників) у прямокутний контейнер мінімальної висоти та квазі ϕ -функції для моделювання відношення неперетину м'яких об'єктів (еліпсів/багатокутників). Побудовано відповідні математичні моделі як задачі нелінійного програмування. Для розв'язання задачі компонування м'яких об'єктів застосовано стратегію мултистарту. Запропоновано метод побудови допустимих стартових точок із застосуванням методу гомотетичних перетворень м'яких еліпсів/багатокутників. Для локальної оптимізації розроблено метод декомпозиції. Наведено результати обчислювальних експериментів, які показали ефективність запропонованого підходу для розв'язання оптимізаційних задач компонування м'яких еліпсів/багатокутників у оптимізований прямокутний контейнер.

У третьому розділі досліджено задачу оптимізації компонування м'яких орієнтованих/неорієнтованих прямокутних об'єктів у контейнері різної форми. Розглянуто випадок наявності зон заборони всередині контейнера. Для аналітичного опису умов неперетину та умов включення м'яких прямокутних об'єктів визначено ϕ -функції та квазі ϕ -функції. Розглянуто різні цільові функції залежно від типу контейнера (круговий, прямокутний, полігональний). Задача розміщення м'яких орієнтованих/неорієнтованих прямокутників в оптимізований контейнер сформульована як задача нелінійного програмування. Доведено, що запропоноване перетворення еластичності зберігає площу кожного м'якого прямокутника. Для розв'язання задачі компонування м'яких орієнтованих/неорієнтованих прямокутників застосовано стратегію мультистарту, метод побудови допустимих стартових розміщень та локальної оптимізації з використанням методу декомпозиції. Наведено результати обчислювальних експериментів для компонування м'яких прямокутників в оптимізовані кругові, прямокутні та опуклі багатокутні контейнері із зонами заборони, які визначені як об'єднання базових об'єктів (колі, еліпси, прямокутники, опуклі багатокутники).

У четвертому розділі сформульовано задачу компонування довільних (опуклих та неопуклих) м'яких багатокутників, що вільно переміщуються та обертаються, у м'який опуклий полігональний контейнер мінімальної площі (мінімального периметра). Для опису умов неперетину та включення визначено відповідні ϕ -функції та квазі ϕ -функції. Описано умову опуклості м'якого полігонального контейнера та умову збереження площі кожного багатокутного об'єкта. Побудовано відповідну математичну модель як задачу нелінійного програмування за умов неперетину, включення та перетворень еластичності м'яких об'єктів та опуклості контейнера. Наведено результати обчислювальних експериментів для компонування довільних (опуклих та неопуклих) м'яких багатокутників у м'який опуклий полігональний контейнер мінімальної площі (мінімального периметра).

У п'ятому розділі сформульовано задачу компонування заданої множини м'яких багатогранників в опуклий контейнер мінімального об'єму. Багатогранники мають змінну просторову форму у заданих межах параметрів еластичності за умови збереження їх об'єму та опуклості. Розглянуто два сценарії задачі компонування м'яких опуклих багатогранників: 1) зі змінними вершинами та заданими параметрами еластичності; 2) зі змінними параметрами руху та змінними параметрами еластичності. Запропоновано ϕ -функції та квазі ϕ -функції як засоби математичного моделювання умов розміщення (неперетин та включення) м'яких багатогранників. Доведено, що запропоноване перетворення еластичності зберігає об'єм кожного м'якого багатогранника. Побудовано відповідні математичні моделі як задачі нелінійного програмування. Розроблено метод розв'язання із застосуванням алгоритму генерації допустимих стартових розміщень та метод декомпозиції. Наведено

результати обчислювальних експериментів для компонування м'яких пірамід та кубоїдів у прямокутних, сферичних та циліндричних контейнерах.

У цілому дисертація має досить логічну структуру, її мова відповідає рівню науково-технічних видань, термінологія використовується коректно, стиль викладу зручний для аналізу, ясний для розуміння.

Слід зазначити, що більшість висновків до розділів сформульовано не як прості анотації результатів, а як наукові положення, що дозволяють оцінити особистий внесок автора, ступінь новизни та значимості.

Ознайомлення з дисертацією та копіями публікацій дозволяє зробити висновок про необхідну повноту опублікування наукових результатів у регламентованих виданнях. Результати дисертації висвітлені в статтях і доповідях, що включають 14 найменувань, у тому числі 6 – у виданнях, які відповідають п. 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 979 від 21.10.2020 р., з яких 3 публікацій проіндексовано у наукометричній базі Scopus.

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.

За об'єктом і методами досліджень, а також за отриманими результатами дисертація відповідає спеціальності 113 – Прикладна математика.

7. Зауваження по дисертаційній роботі.

1. В розділі 1.4 (стор. 47) формулюється математична модель задачі оптимального компонування геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками. Декларуються нові поняття та обмеження: м'які об'єкти, перетворення еластичності, які формалізуються в наступних розділах роботи, що робить роботу складною для розуміння. Треба було б надати їх в першому розділі на змістовному рівні.

2. В роботі здійснюється декомпозиція задачі (2.3-2.7), що дозволяє зменшити трудомісткість задачі. Не зрозуміло, як виконується компроміс між часом обчислення і якістю розв'язку.

3. У роботі авторка у деяких підрозділах позначає однаковими літерами різні за змістом параметри, такі як:

- коефіцієнт гомотетії кругів у Алгоритмі 1 (стор.54, розділ 2) та параметр еластичності у метричних обмеженнях задачі LSP1_2D (стор. 61, розділ 2)

- матриця повороту для задачі еластичності LSP1_2D (стор. 63, розділ 2) та матриця еластичності для задачі LSP2_3D (стор. 161, розділ 5)

4. При аналізі методів геометричного проектування (абзац 4, стор. 40) не міститься посилання на праці окремих перелічених в цьому ж абзаці вчених.

5. При викладанні властивостей квазі- ϕ -функцій на стор. 44-45, властивість 3 повторює властивість 2.

6. Невдалі вирази та терміни: прямокутник мінімальної висоти, є стилістичні вади (перший абзац на стор.126, другий абзац на стор.107), відсутній крок 10 в алгоритмі 2 на стор. 59, тощо.

7. Незважаючи на великий обсяг роботи, цікавим було б розглянути компонування м'яких еліпсоїдів, але це є побажанням на подальші дослідження.

8. Висновки по роботі. Наведені вище зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертації, що аргументована в попередніх розділах відгуку. Дисертації притаманна чітка логіка досягнення поставленої автором мети. Науковий рівень дисертації є високим і відповідає пунктам 10–12 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 979 від 21.10.2020 р.

Вважаю, що дисертаційна робота «Математична модель та метод розв'язання оптимізаційної задачі компонування геометричних об'єктів з урахуванням перетворення розтягування та стиснення», являє собою завершене дослідження, у якому одержані нові науково обґрунтовані теоретичні результати, які є новим напрямком в теорії геометричного проектування, та у сукупності дають змогу підвищити ефективність розв'язання оптимізаційних задач оптимального компонування геометричних об'єктів, що мають змінну просторову форму, за допомогою розроблення конструктивних засобів математичного і комп'ютерного моделювання, нових математичних моделей та методів локальної оптимізації із застосуванням сучасних NLP-солверів, а її автор Мелашенко Оксана Петрівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика у галузі знань 11 – Математика і статистика.

Офіційний опонент,
професор кафедри фізико-математичних
дисциплін Національного університету
цивільного захисту України
д.т.н., професор

В. М. Комяк — В. М. Комяк

