

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Супруна Антона Андрійовича
«r-Алгоритми та квазіньютонівські методи
в прикладних задачах негладкої оптимізації»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 11 Математика та статистика
за спеціальністю 113 Прикладна математика

Актуальність теми роботи

Робота присвячена дослідженню та побудові нових методів квазіньютонівського та субградієнтного типу для розв'язання низки прикладних задач, зокрема логістики та енергетики.

Зі зростанням населення та розвитком технологій міжнародна торгівля стає все більш важливою. Логістика відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного транспортування товарів від виробника до споживача, зі складів до баз тощо. Дуже часто доводиться розглядати додаткові можливості зберігання товарів у проміжних пунктах з різних причин (термін придатності товарів, безпека та терміновість транспортування, транспортні обмеження та інші). Оптимізація логістичних процесів є критичною для конкурентоспроможності та задоволення споживчих потреб.

Крім того, ефективна логістика сприяє зменшенню викидів та покращенню екологічних показників. Оптимізація маршрутів, використання екологічно чистих транспортних засобів та управління запасами можуть сприяти сталому розвитку. З урахуванням зростання обізнаності про проблеми забруднення навколишнього середовища та змін клімату, багато країн активно працюють над переходом до відновлюваних джерел енергії. Це вимагає розробки та оптимізації інфраструктури для виробництва, зберігання та розподілу відновлюваної енергії, що є критичним завданням у контексті зростання попиту та обмежених ресурсів.

Метою даної роботи є розвиток методології розв'язання різного роду оптимізаційних задач, які часто виникають в логістиці, енергетиці, побудові відмовостійких мереж різного типу і складності тощо. Зважаючи на вищесказане, тематика дисертаційної роботи є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана згідно з низкою планів науково-дослідних робіт Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, а саме:

ВФ 120.19 «Розробити субградієнтні алгоритми розв'язання багатоекстремальних квадратичних оптимізаційних задач» (державний реєстраційний номер 0117U000327);

М/12-2021 «Методи оптимізації зі зменшенням ризиків для розміщення об'єктів у виробництві відновлюваної енергії» (державний реєстраційний номер 0121U113859);

М/30-2022 «Методи оптимізації зі зменшенням ризиків для розміщення об'єктів у виробництві відновлюваної енергії» (державний реєстраційний номер 0122U200100);

ВК 120.24.19 «Розроблення оптимізаційних процедур для задач розташування накопичувачів електроенергії в ОЕС України в сучасних умовах технологічних змін. Етап 1. Розроблення математичних моделей, методів та програмного забезпечення для спеціальних класів двоетапних транспортних задач» (державний реєстраційний номер 0119U001641).

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому та оформлення

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел зі 100 найменувань та двох додатків.

У розділі 1 автор проаналізував основні етапи розвитку градієнтних, ньютонівських і квазіньютонівських методів, субградієнтних методів, продемонстрував актуальність теми дисертації та доцільність проведення досліджень.

У розділі 2 розглядаються H - та B -форми методів квазіньютонівського типу та ДФП-методу (Давидона – Флетчера – Пауелла). Проведено порівняння цих методів з r -алгоритмами. Дано аналіз переваг та недоліків цих методів. Для мінімізації гладких опуклих функцій побудовано градієнтний метод з

перетворенням простору – $DFPR(\alpha)$ -алгоритм, що поєднує властивості як квазіньютонівських методів, так і r -алгоритмів.

Розділ 3 присвячено побудові модифікації $r(\alpha)$ -алгоритму з адаптивним регулюванням кроку за напрямком спуску, що використовує прискорену реалізацію розтягу простору. Результати роботи цієї модифікації порівнюються з результатами роботи класичних варіантів r -алгоритмів. Для задач квантильної регресії та побудови S-подібної кривої застосовано методи BFGS та L-BFGS-B. Ефективність роботи цих методів демонструють результати обчислювальних експериментів.

Розділ 4 присвячено задачі знаходження пропускних спроможностей дуг відмовостійких мереж, а саме математичним моделям двох класів задач, що формулюються як задачі лінійного, змішаного булевого лінійного та нелінійного програмування з блочною структурою матриці обмежень. Наведено результати обчислювальних експериментів з використанням солвера Gurobi. Розроблено декомпозиційні методи на основі r -алгоритмів та продемонстровано їхню ефективність порівняно з програмою IPOPT.

У розділі 5 сформульовано дві оптимізаційні задачі, призначені для знаходження максимального k -плекса у неорієнтованому графі. Розроблено алгоритм пошуку всіх максимальних k -плексів для неорієнтованого графа та його реалізацію за допомогою GLPK (GNU Linear Programming Kit).

У розділі 6 розглядаються три моделі двоетапної транспортної задачі, а саме: класична двоетапна транспортна задача та задачі з обмеженнями на кількість проміжних пунктів (їм відповідає задача лінійного програмування), а також двоетапна транспортна задача квадратичного програмування. Наведено AMPL-код для розв'язання цих задач, проведено обчислювальні експерименти з використанням програми Gurobi для двоетапної транспортної задачі з багатьма розв'язками.

Сформульовані висновки підкреслюють актуальність обраної теми, дозволяють оцінити необхідність подальшого вивчення окреслених в роботі проблем і задач.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків

Зміст дисертаційної роботи побудовано на відповідному первинному матеріалі, аналіз та узагальнення якого дозволили сформулювати основні наукові положення, висновки та рекомендації.

Основні наукові положення, висновки та практичні рекомендації базуються на матеріалах власних досліджень автора, логічно витікають з матеріалів дисертації і є науково обґрунтованими, чітко сформульованими та містять нові важливі науково-практичні узагальнення.

Достовірність і наукова новизна наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації

Здобувачем вперше запропоновано і описано *B*-форму алгоритму Давидона – Флетчера – Пауела та нове сімейство алгоритмів з розтягом простору на її основі. Також запропоновано нове сімейство субградієнтних алгоритмів з розтягом простору у напрямку модифікованої різниці двох субградієнтів у перетвореному просторі, частковим випадком якого є *r*-алгоритм Шора. Крім цього, побудовано низку оптимізаційних моделей, зокрема для задачі квантильної регресії у вигляді задачі безумовної мінімізації кусково-лінійної функції, для задачі побудови *S*-подібної кривої, сформульовану як задачу мінімізації гладкої функції суми нев'язок з простими двосторонніми обмеженнями на змінні. Також запропоновано два класи оптимізаційних моделей для задачі побудови відмовостійкої мережі. Ці моделі описуються задачами лінійного, нелінійного та булевого лінійного програмування.

Достовірність та обґрунтованість отриманих здобувачем результатів зумовлена обраними методологічними підходами, достатнім використанням теоретичних та емпіричних матеріалів. Кількість та якість використаних матеріалів, докладність їхнього аналізу створює передумови для забезпечення достатнього рівня достовірності дисертаційної роботи.

Практичне значення отриманих результатів

Наукові положення і висновки дослідження можна застосовувати для розв'язування практичних прикладних задач, в основі яких лежить мінімізація негладких або погано обумовлених опуклих функцій. Базуючись на розроблених схемах алгоритмів, можна розробляти їхні нові варіанти та модифікації. В дисертаційній роботі запропоновано оптимізаційні моделі, які можна використати для розв'язання низки прикладних задач – оцінки параметрів квантильної регресії, побудови контурів профілю різних частин моделей в машинобудуванні з відповідними аеродинамічними властивостями, задачі побудови надійних систем мережевої структури (наприклад, енергетичної системи, логістичної системи тощо), задачі пошуку максимального k -плекса.

Повнота викладу матеріалу дисертації в опублікованих роботах і анотації

Основні положення та результати дисертаційної роботи викладено у чотирьох статтях, які відносяться до переліку наукових фахових видань України, одній статті, що входить до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, чотирьох тезах міжнародних наукових і науково-практичних конференцій. Три роботи опубліковано як колективні підрозділи колективної монографії.

Основні наукові положення та висновки чітко сформульовано відповідно поставленим задачам наукової роботи.

Зауваження до дисертації

Автору не вдалось уникнути певних недоліків у роботі:

1. В таблицях 2.1 та 2.2 (розділ 2, с. 47-48) наведено результати роботи $DFPR(\alpha)$ та $r_0(\alpha)$ -алгоритму, однак не наведено жодної інформації про чисельні експерименти, наприклад, якою мовою програмування були реалізовані алгоритми, час виконання відповідних програм тощо.

2. Програмні реалізації вищенаведених алгоритмів варто включити в дисертацію та оформити у вигляді додатків.

3. Для задачі пошуку всіх максимальних k -плексів, яка розглядається в

підрозділі 5.6, доцільно навести в додатку програмний код, який використовується для її розв'язання.

Варто відмітити, що наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та є дискусійними.

Висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Супруна А.А. на тему «r-Алгоритми та квазіньютонівські методи в прикладних задачах негладкої оптимізації» є закінченим самостійним науковим дослідженням, в якому отримано нові результати, що в сукупності вирішують поставлене наукове завдання.

Дисертація за актуальністю, об'ємом і рівнем проведених досліджень, науковою новизною і практичною значимістю 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 січня 2022 року, а її автор Супрун Антон Андрійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Завідувач відділу інтелектуальних інформаційних технологій
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України,
старший науковий співробітник,
доктор фізико-математичних наук

Василь ГОРБАЧУК

