

ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА
на дисертацію Чорної Ольги Сергіївни
**«Математичні моделі та методи оптимізації на циклічних
перестановках і їх застосування»**,
подану на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю
01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми

Множини допустимих розв'язків багатьох наукових та практичних задач, які мають комбінаторну природу, можна описати за допомогою комбінаторних конфігурацій, що мають різні властивості. Використання для математичного моделювання та розв'язання зазначених задач підмножин класичних комбінаторних множин вимагає розробки нових та модифікації існуючих методів комбінаторної оптимізації з урахуванням властивостей цих підмножин. Однією з відомих підмножин класичної множини перестановок є множина циклічних перестановок, елементами якої є перестановки, циклічна структура яких складається з одного циклу.

В існуючих дослідженнях множина циклічних перестановок застосовується у моделях задач транспортної маршрутизації та у методах локального пошуку з використанням циклічних трансферів. Але, незважаючи на це, актуальним є подальше вивчення комбінаторних властивостей циклічних перестановок та їхнє застосування в математичних моделях та методах розв'язання задач комбінаторної оптимізації.

Отже, розробка методів комбінаторної оптимізації з урахуванням властивостей множини циклічних перестановок, та їхнє використання для математичного моделювання і розв'язання задач комбінаторної природи є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з пріоритетними науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу Чорна О.С. виконувала на кафедрі системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки в період з 2012 по 2020 роки в рамках розділу №293 «Розробка методології і математичних моделей соціально-економічних систем при реалізації концепції їх стійкого розвитку» науково-дослідної роботи (ДР № 0115U001522).

Достовірність та обґрунтованість одержаних результатів

Достовірність та обґрунтованість результатів дисертаційної роботи забезпечується коректним доведенням тверджень щодо властивостей перестановок, використанням класичних методів комбінаторної оптимізації, достатньою кількістю опублікованих статей у рецензованих виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus. Розроблені та вдосконалені у роботі методи комбінаторної оптимізації, математичні моделі та програмне забезпечення для розв'язання задач вивозу і доставки вантажів впроваджено у держбюджетні науково-дослідні роботи, у виробництво та в навчальний процес, що підтверджено відповідними актами.

Зміст дисертаційної роботи

Дисертація містить дві анотації, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатки.

У першому розділі розглянуто основні відомості щодо задач комбінаторної оптимізації, проведено аналіз досліджень сучасних методів комбінаторної оптимізації, зокрема наведено огляд останніх результатів дослідження властивостей множини циклічних перестановок. Відзначено відомі результати, присвячені циклічній структурі перестановок, перестановкам з заданими циклічними властивостями. Розглянуто перестановочний багатогранник та відповідний йому граф, виділено вершини, що відповідають множині циклічних перестановок.

Сформульовано задачі дослідження та виявлено актуальні для предметної області проблеми.

У другому розділі сформульовано математичні моделі задач оптимізації на множині циклічних перестановок, подальшому аналізу яких присвячено дисертаційну роботу. Проведено занурення множини допустимих розв'язків цих задач у арифметичний евклідов простір, що дозволило сформулювати еквівалентні задачі оптимізації. Розвинуто дослідження множини циклічних перестановок з точки зору комбінаторної теорії багатогранників. Введено так звані транспозиції суміжності – спеціальний вид транспозицій породжуючих елементів перестановки, які дозволяють будувати перестановки, що відповідають суміжним вершинами перестановочного багатогранника. Досліджено вплив транспозицій суміжності на циклічну структуру перестановок. Ці дослідження використано у роботі в методах комбінаторної генерації та оптимізації.

Третій розділ дисертації присвячено розробці методів розв'язання задач комбінаторної оптимізації, що базуються на властивостях, описаних у розділі 2.

Запропоновано методи розв'язання задачі мінімізації лінійних функцій на множині циклічних перестановок без додаткових обмежень, за допомогою яких можливо отримання точного, наближеного та евристичного розв'язків. Для наближеного розв'язку задачі побудовано оцінку зверху.

Розроблено метод розв'язання задачі мінімізації лінійних функцій на множині циклічних перестановок за наявності додаткових лінійних обмежень з використанням ідеології випадкового пошуку, променевого пошуку, класичних евристик, та побудови симплексу навколо перестановочного багатогранника. Допоміжну задачу пошуку норми різниці, яка виникає багаторазово при розв'язанні вхідної задачі, можливо розв'язувати за допомогою запропонованих в роботі методів.

Четвертий розділ присвячено розв'язанню задач комбінаторної оптимізації за допомогою циклічних трансферів. На початку розділу наведено основні класичні відомості з теорії циклічних трансферів, згідно робіт Thompson, Orlin, Psaraftis. Для випадків, коли загальний підхід не може бути застосовано, описано загальну стратегію альтернативного підходу до побудови циклічних трансферів від'ємної вартості з метою покращення розв'язків задач комбінаторної оптимізації, отриманих за допомогою евристики. Запропоновану стратегію реалізовано для покращення розв'язку задачі вивозу і доставки з тривимірними обмеженнями на завантаження. Для відбору елементів кластерів – кандидатів для участі у циклічних трансферах – використано дві евристики. Наведено приклад покращення розв'язку однієї задачі вивозу і доставки та усереднені результати обчислювальних експериментів.

У *п'ятому розділі* представлено обчислювальні експерименти та здійснено їх аналіз. Продемонстровано побудову дерева розв'язків для задач мінімізації лінійної функції на множині циклічних перестановок за допомогою методу гілок та меж та за допомогою модифікації цього методу з використанням евристики. Наведено приклад отримання наближеного розв'язку цієї задачі за допомогою транспозицій суміжності. Розв'язанню задачі мінімізації лінійної функції на множині циклічних перестановок з додатковими лінійними обмеженнями надано геометричну інтерпретацію. Представлено усереднені результати проведених обчислювальних експериментів. Дано аналіз отриманих

результатів та рекомендації щодо використання запропонованих в роботі методів.

Наукова новизна результатів роботи

1. Отримали подальший розвиток методи дослідження спеціального класу транспозицій для перестановок, що відповідають суміжним вершинам перестановочного багатогранника (транспозицій суміжності) в частині:

- їх впливу на циклічну структуру перестановок;
- аналізу циклічних властивостей суміжних перестановок;
- їх застосування для генерації циклічних перестановок;

це дозволяє дослідити циклічну структуру суміжних вершин перестановочного багатогранника, розробити нові та адаптувати існуючі методи комбінаторної оптимізації; знизити надлишковість при генерації циклічних перестановок за допомогою транспозицій суміжності.

2. Вперше для циклічних перестановок при їх відображенні в евклідов простір, отримано такі результати:

- запропоновано класифікацію циклічних перестановок у залежності від послідовності елементів у циклі, що дозволяє генерувати циклічні перестановки та оцінити складність їхньої генерації за допомогою транспозицій суміжності.
- побудовано циклічні перестановки за допомогою транспозицій суміжності та їх композицій, які можуть бути використані в методах комбінаторної оптимізації на циклічних перестановках;
- досліджено взаємне розташування вершин, що відповідають циклічним перестановкам у перестановочному багатограннику, що дозволяє підвищити ефективність методів розв'язання задач комбінаторної оптимізації на циклічних перестановках;

3. Отримали подальший розвиток методи розв'язання задач оптимізації лінійних функцій на множині циклічних перестановок за рахунок використання властивостей транспозицій суміжності, що дозволяє підвищити ефективність відомих методів (гілок та меж, випадкового пошуку) при розв'язанні задач на циклічних перестановках.

4. Отримав подальший розвиток метод циклічних трансферів для покращення розв'язків задач комбінаторної оптимізації, отриманих за допомогою евристики, в частині генерації циклічних трансферів від'ємної

вартості, що дозволяє розширити клас розв'язуваних задач, для яких неможливо побудувати допоміжний граф (auxiliary graph).

Значимість результатів дисертаційної роботи для науки та практики

Моделі, методи та їх комп'ютерна реалізація, розроблена автором, використовується у виробництві ПП «Латона» для розв'язання задач, пов'язаних з вивозом і доставкою вантажів, що підтверджено відповідним актом про використання. Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес.

Повнота відображення результатів дисертації в публікаціях.

Основні результати дисертації повною мірою викладені у статтях і тезах міжнародних конференцій. Всього за матеріалами дисертаційної роботи зроблено 21 публікацію, з них 6 статей у профільних наукових виданнях України, пов'язаних з темою дослідження, 3 статті у міжнародних журналах, проіндексованих наукометричною базою Scopus, 10 доповідей на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

Відповідність щодо дотримання вимог до дисертаційних робіт.

Зміст, якість і оформлення дисертації відповідають вимогам до кандидатських дисертацій. Зміст автореферату в повній мірі відображає основні положення та результати дисертації. Висновки повністю відповідають змісту дисертації. Список літератури, на яку посилається автор, достатньо повний і добре відображає стан проблеми.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У підрозділі 3.3 оцінка прискорення, яке може бути отримано за допомогою паралельного обчислення розв'язку задачі, дано неточно, не описано яким чином була оцінена частка паралельного виконання програми по відношенню до послідовної. Це знижує точність обчисленої оцінки прискорення.

2. У підрозділі 3.4 запропоновано стратегію генерації циклічних перестановок в околі стартової циклічної перестановки. Описана стратегія далі не знайшла застосування в роботі, не наведено рекомендацій щодо її використання.

3. Одним з нових результатів роботи є розвинутий метод циклічних трансферів для покращення розв'язків задач комбінаторної оптимізації, ефективність якого продемонстровано на прикладі задачі транспортної маршрутизації. У роботі не наведено достатнього обґрунтування, чому для

покращення розв'язків цієї задачі неможливо використання класичної версії методу циклічних трансферів.

Однак наведені зауваження суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження.

Висновки по дисертаційній роботі

Вважаю, що дисертація Чорної Ольги Сергіївни є завершеним науковим дослідженням в якому отримані нові науково обґрунтовані результати, що вирішують важливу науково-технічну задачу підвищення ефективності математичних моделей і методів розв'язання задач комбінаторної оптимізації та їх застосуванням для розв'язання актуальних прикладних задач, у тому числі транспортної маршрутизації. Проведені дисертаційні дослідження відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

За актуальністю, науковим рівнем, науковою новизною, практичним впровадженням, кількістю та якістю публікацій дисертаційна робота повністю відповідає пп. 11, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 (зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 р.), а її автор Чорна Ольга Сергіївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи за отримання нових наукових результатів, що стосуються розробки і вдосконалення математичних моделей і методів комбінаторної оптимізації для розв'язання актуальних прикладних задач, в тому числі транспортної маршрутизації.

Офіційний опонент,

доктор фізико-математичних наук,
провідний науковий співробітник
відділу методів дискретної оптимізації,
математичного моделювання та аналізу
складних систем Інституту кібернетики
імені В.М. Глушкова НАН України
старший науковий співробітник



Н.В. Семенова