

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Гребеніка Ігоря Валерійовича на дисертаційну роботу Маций Ольги Борисівни «Математичне моделювання та методи оптимізації замкнених маршрутів в задачах транспортного типу», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

1. Актуальність теми. Дисертаційна робота Маций О. Б. є результатом досліджень щодо розвитку і вдосконалення методів оптимізації транспортних перевезень, розробленню нових і вдосконаленню відомих методів та алгоритмів комбінаторної оптимізації, які застосовуються в транспортній логістиці для побудови замкнених маршрутів. Робота цього напрямку пов’язана з оптимізацією процесів управління переміщеннями пасажирів та вантажів, потребує розширення класів задач, що піддаються ефективному розв’язанню сучасними математичними методами. Представлена робота містить нові теоретично та практично важливі результати та є внеском у розвиток методів і алгоритмів комбінаторної оптимізації.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження здійснювалося відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові результати, на яких базується дисертаційна робота, отримані при виконанні планових бюджетних програм, замовлень: проект на замовлення Державного агентства з питань науки, інновацій та інформатизації України №ДЗ/464-2011 на тему «Розроблення та впровадження інформаційно-комунікаційної технології руху наземного транспорту великих міст»; держбюджетна тема за договором № Ф62/106-2015 «Розроблення та впровадження новітніх інформаційно-комунікаційних технологій для мехатронних і навігаційних систем броньованих колісних і гусеничних машин»; держбюджетна тема за договором № 01-53-16 «Забезпечення



конкурентоспроможності підприємств транспортної галузі України за рахунок підвищення ефективності віртуального управління процесами транспортного обслуговування»; держбюджетна тема за галузевим замовленням МОН України за договором № 0117U002405 «Розроблення інформаційно-комунікаційної технології інтелектуального керування наземними безпілотними багатоцільовими транспортними засобами».

3. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Достовірність і обґрунтованість отриманих результатів дисертаційної роботи забезпечувалась коректністю використання основних положень теорії оптимізації, строгістю постановок задач і доведеними теоремами. Коректність чисельних результатів підтверджується порівнянням із відомими з літератури результатами експериментів та чисельними розв'язками, достатньою кількістю публікацій у міжнародних наукових виданнях, у виданнях, що входять до фахових видань України, та апробацією на міжнародних наукових конференціях.

4. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи. У результаті виконання дисертаційного дослідження отримано нові наукові результати, найсуттєвіші з яких:

- отримали подальший розвиток методи знаходження паросполучення мінімальної ваги в довільному графі в частині спрощення структури дводольного графу та зменшення часової складності;

- вперше запропоновано рекурентний метод розв'язання задачі про призначення, що містить швидку за часовими параметрами процедуру побудови найкоротшого збільшуючого шляху в зваженому графі транспортної мережі, що дає перевагу в швидкості обчислень над іншими методами оптимізації замкнених маршрутів;

- вдосконалено рекурентний метод побудови зважених паросполучень, в частині зменшення часової складності, на основі якого розв'язується задача побудови 2-фактора мінімальної ваги, в результаті її зведення до обмеженої задачі про призначення;

– запропоновано модифікацію алгоритму Літтла, орієнтовану на зменшення часу розв'язання задач транспортного типу, яка містить один з окремих випадків задачі знаходження 2-фактора мінімальної ваги для швидкого обчислення оцінок меж шуканого оптимуму.

5. Оцінка змісту дисертації, її відповідність встановленим вимогам, стиль та повнота викладу наукових положень в опублікованих працях. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновками за розділами, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, чотирьох додатків та має загальний обсяг 165 сторінок.

Зміст, оформлення дисертаційної роботи відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи і встановленим вимогам до кандидатських дисертацій згідно з «Порядком присудження наукових ступенів».

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені у 18 наукових працях, у тому числі, в 9 статтях у фахових наукових виданнях, з яких 6 статей опубліковано в спеціалізованих фахових виданнях України, 3 статті опубліковані в міжнародних фахових виданнях, які включені до наукометричної бази SCOPUS, та 9 тез доповідей на наукових конференціях.

Дисертація побудована логічно, матеріал викладено послідовно, з чітким розумінням мети і задач дослідження. Дисертація написана технічно грамотною мовою.

Зміст автoreферату по суті ідентичний основним положенням дисертаційної роботи.

В *анотації* та *вступі* обґрунтовано актуальність теми дослідження, зокрема, теоретичну і практичну важливість вдосконалення існуючих методів теорії паросполучень для розв'язання широкого класу задач оптимізації маршрутів на транспортній мережі; сформульовано мету, об'єкт, предмет дослідження, визначено наукову новизну та наведено відомості про апробацію отриманих результатів, включаючи зв'язок з науковими програмами, планами.

У *першому розділі* дано аналіз сучасного стану проблем транспортної логістики, пов'язаних з побудовою і дослідженням моделей маршрутизації. Встановлено, що задача транспортної маршрутизації Vehicle Routing Problem (VRP) та її прикладні версії є узагальненнями NP-повної задачі комівояжера. Виділено окремі випадки VRP, представлені базовими, ефективно вирішуваними задачами про паросполучення. Відомі алгоритми розв'язання задачі про паросполучення характеризуються високою обчислювальною складністю. Тому їх використання як допоміжних для обчислення нижніх оцінок у методах типу гілок і меж ускладнює процес розгалужень. Із наведеного огляду випливає необхідність розв'язання базових задач про паросполучення єдиним методом, що прискорює побудову і знижує вартість маршрутів в узагальненнях задачі комівояжера.

Другий розділ містить опис методу, розробленого для розв'язання задачі про призначення і задачі про зважене паросполучення. Розроблено рекурсивний метод розв'язання задачі про призначення, який характеризується простотою реалізації і часом роботи, не більшим, ніж час роботи найефективнішого на цей час угорського алгоритму. Для розв'язання задачі про зважене паросполучення запропоновано модифікацію рекурентного методу оптимального призначення зі складністю $O(n^3)$, що є більш ефективним, ніж відомий алгоритм Едмонса, який має складність $O(n^4)$.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи запропоновано модифікований метод розв'язання гамільтонової задачі комівояжера довільного зваженого графа. Метод є вдосконаленням класичного методу Літтла, в якому вперше при побудові оптимального маршруту в гамільтоновій задачі комівояжера отримано більш точний спосіб обчислення нижніх меж, що забезпечує істотне скорочення обчислень в схемах перебору.

У *четвертому розділі* описано процес проектування і розроблення програмного забезпечення для швидкого пошуку розв'язків задач класу маршрутизації на транспортній мережі та експериментальної реалізації методів,

запропонованих у даній дисертаційній роботі.

Досліджено час роботи відомих методів розв'язання задачі про призначення (методу потенціалів і угорського методу) і рекурентного методу, запропонованого в дисертаційній роботі. У результаті порівняння методів розв'язання задачі про призначення виявлено, що кращі часові характеристики показав рекурентний метод розв'язання задачі про призначення, наведений в дисертаційній роботі. Також досліджувався час розв'язання задачі комівояжера модифікованим методом Літтла, в якому використані різні релаксації для отримання нижніх оцінок вартості маршрутів комівояжера – розв'язання задачі знаходження 2-фактора мінімальної ваги, рекурентний метод розв'язання задачі про призначення і угорський алгоритм. Результати обчислювального експерименту показують, що найменший час розв'язку демонструє модифікація методу Літтла, що використовує як релаксацію – розв'язання задачі знаходження 2-фактора мінімальної ваги.

6. Наукове і практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені моделі та методи оптимізації орієнтовані на вдосконалення організації перевезень у реальному масштабі часу і в реальних умовах руху транспортних засобів.

Їх практичне застосування дозволяє скоротити сумарні витрати на транспортування, мінімізувати витрати часу і пального на виконання транспортних робіт, патрулювання населених пунктів, доставку пошти, прискорюють передачу даних із безпілотників, що виконують замкнені маршрути.

Усі запропоновані методи програмно реалізовані, апробовані і показали свою працездатність і ефективність на серіях тестових завдань у широкому діапазоні розмірності вхідних даних. На їх основі створено програмний продукт, впроваджений в навчальний процес Харківського національного автомобільно-дорожнього університету та використаний в виробничому процесі науково-виробничого підприємства «Карсис» (м. Харків).

7. Зауваження до змісту дисертаційної роботи.

1. В оглядовій частині роботи міститься недостатньо посилань на сучасні роботи вітчизняних та закордонних дослідників проблем оптимізації замкнених маршрутів в задачах транспортного типу.

2. В другому та третьому розділах при викладенні методів розв'язання оптимізаційних задач на графах доцільно було б виділити класи задач транспортного типу, розв'язки яких можна отримати за допомогою запропонованих в роботі методів.

3. Теорема 2.2 (с. 86) має невдале формулювання, що ускладнює сприйняття її суті. Проте, доведення теореми є коректним.

4. В дисертації не наведено детального опису прикладів впровадження результатів роботи в практичних або модельних задачах транспортного типу. Замість цього є лише посилання на впровадження, підкріплене документальним підтвердженням.

5. В роботі відсутні рекомендації щодо подальшого використання отриманих результатів та подальшого розвитку запропонованих методів оптимізації замкнених маршрутів в задачах транспортного типу.

Зроблені зауваження не знижують якості виконаного дослідження і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

8. Висновки до дисертаційної роботи. Вважаю, що дисертаційна робота Маций Ольги Борисівни є завершеним науковим дослідженням, в якому одержані нові теоретичні та експериментальні результати; тема, об'єкт дослідження, зміст роботи та основні результати відповідають 1 та 2 пунктам паспорту наукової спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Вважаю, що за обсягом досліджень, актуальністю, науковою новизною і практичним значенням одержаних результатів, їх впровадженням та опублікованими роботами, дисертація відповідає вимогам чинних нормативних документів, у тому числі, пунктам 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів» № 567, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України до

дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор, Маций Ольга Борисівна, заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри системотехніки
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор

I. V. Гребенік

Підпис проф. I.B. Гребеніка засвідчує:
Учений секретар Вченої ради ХНУРЕ



I. V. Магдаліна