

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Мельнікової Юлії Ігорівни на тему «Синхронізація розкладів руху громадського транспорту з використанням евристичних методів та імітаційного моделювання», подану на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 27 Транспорт за спеціальністю 275 — транспортні технології (на автомобільному транспорті)

На надання відгуку представлена дисертація загальним обсягом 178 сторінок друкованого тексту, яка містить: анотації (українською та англійською мовами) зі списками публікацій здобувачки за темою дисертаційної роботи, зміст, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел з 124 найменувань та чотири додатки. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи складає 102 сторінки, робота містить 16 таблиць та 40 рисунків.

Актуальність теми дослідження. Незважаючи на появу останніми роками нових технологій забезпечення міської мобільності у містах, побудованих на сучасних цифрових технологіях, міський масовий громадський транспорт, який працює за маршрутною технологією, був і залишається основним засобом пересування населення у межах міських територій. Такі переваги громадського транспорту, як велика провізна спроможність, доступність, невеликі питомі витрати енергії на пересування одного пасажирів та ефективне використання площ роблять його не тільки привабливим для більшості потенційних пасажирів, а й засобом для подолання проблем, викликаних стрімким зростанням рівня автомобілізації через залучення власників приватних автомобілів до користування громадським транспортом. Критеріями привабливості будь-якого засобу міської мобільності, перш за все, служать грошові та часові витрати на пересування, регулярність сполучення, доступність сполучення у необхідний час, комфорт пересування. Маршрутна технологія передбачає рух пасажирських транспортних засобів за фіксованими та заздалегідь встановленими маршрутами за оголошеним розкладом (або інтервалом) руху на кожному з маршрутів. Сукупність усіх маршрутів усіх видів транспорту у місті утворює маршрутну мережу, яка, у більшості випадків, не забезпечує безпересадочного сполучення для усіх без виключення пар зупинок на ній, тож, для реалізації певних поїздок деяким пасажирам доводиться робити пересадки (змінювати маршрут на шляху прямування). Пересадки, самі по собі, є незручними для пасажирів, оскільки вимагають додаткових витрат часу і, у певних випадках, додаткових фінансових витрат. Саме синхронізація розкладів руху на маршрутах маршрутної мережі покликана зменшити витрати часу, який пасажирів втрачають на пересадку під час поїздок за рахунок максимального узгодження моментів прибуття пасажирських транспортних засобів різних маршрутів на зупинку, на якій здійснюється пересадка. Це дозволяє зменшити негативний ефект для пасажирів при здійсненні пересадок, скоротити витрати часу на пересування та збільшити привабливість громадського транспорту для потенційних пасажирів. Таким чином можна стверджувати, що тема та задачі дослідження, сформульовані та вирішені здобувачкою у дисертаційній роботі, є актуа-

льними. Актуальність теми дослідження підвищується в умовах оперативного планування та диспетчерського управління роботою транспорту з використанням сучасних цифрових технологій, дозволяючи досягнути інтегрального ефекту не лише за рахунок локальної синхронізації розкладів руху на окремих маршрутах, але й на маршрутній мережі міста в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи здобувачки відповідає загальному напрямку наукових досліджень кафедри управління на транспорті Національного технічного університету «Дніпровська політехніка». Напрямки наукових досліджень дисертаційної роботи здобувачки відповідають стратегічній цілі 2 Транспортної стратегії України на період до 2030 року (схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р) у частині вирішення задач удосконалення мережі маршрутів транспорту загального користування, підвищення рівня якості надання послуг з перевезення пасажирів, сприяння підвищенню міської мобільності, формування ефективної мережі автобусних маршрутів загального користування.

Наукова новизна одержаних результатів. Винесені на захист положення наукової новизни дисертаційної роботи, є коректними за формулюванням та належно обґрунтованими. Наукова новизна результатів дослідження, отриманих здобувачкою у дисертаційній роботі, полягає у наступному:

- розроблено та доведено до алгоритмічної реалізації науковий підхід до синхронізації розкладів руху на міському громадському транспорті на рівнях транспортно-пересадочного вузла та маршрутної мережі, ефективність якого забезпечується рекомендованим вибором параметрів метаевристичного методу оптимізації, а саме генетичного алгоритму, що забезпечує отримання близьких до оптимальних розкладів руху на підставі встановлених закономірностей впливу цих параметрів на критерій оптимізації;
- удосконалено науковий підхід до синхронізації розкладів руху на маршрутах міського громадського транспорту шляхом інтеграції методів імітаційного моделювання транспортних процесів обслуговування пасажирів та метаевристичних методів оптимізації, що дозволило формалізувати показники функціонування пасажирської транспортної системи у параметрах оптимізаційного алгоритму і врахувати стохастичний характер попиту пасажирів на перевезення.

Практичне значення одержаних результатів дослідження. Наукові та практичні (програмна реалізація розроблених алгоритмів) результати дисертаційної роботи здобувачки можуть бути використані організаторами регулярних перевезень у містах при вирішенні задач розробки та удосконалення розкладів руху на міських маршрутах громадського транспорту а також у пунктах взаємодії міського пасажирського транспорту з приміським та міжміським автомобільним та залізничним видами пасажирського транспорту з метою скорочення витрат часу пасажирів на очікування транспорту та пересадку у транспортно-пересадочних вузлах на шляху прямування.

Результати наукових досліджень і розробок здобувачки, а саме розроблені наукові підходи щодо оптимізації розкладів руху маршрутного транспорту з метою їх синхронізації та зменшення тривалості очікування пасажирів при пересадках у транспортних вузлах використані у практичній діяльності ТОВ «Дінат-С» (м. Верхньодніпровськ) для удосконалення транспортного обслуговування пасажирів на міських автобусних маршрутах загального користування №1 ... №5 у місті Верхньодніпровськ та ТОВ «Дніпропетровське автотранспортне підприємство 11201» (м. Дніпро) для розробки розкладів руху автобусів на маршрутах з метою їх синхронізації з розкладами руху інших видів транспорту.

Результати дисертаційної роботи здобувачки також впроваджені та використовуються у освітньому процесі кафедри управління на транспорті Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» в межах реалізації освітніх програм підготовки бакалаврів і магістрів за спеціальністю 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» за освітніми компонентами «Пасажирські перевезення» та «Управління автомобільними перевезеннями». Практичне впровадження знайшли методика синхронізації розкладів руху на міських маршрутах на основі генетичних алгоритмів, імітаційна модель, що дозволяє досліджувати вплив ефекту синхронізації розкладів руху на рівень якості транспортного обслуговування пасажирів, спеціалізована програмна бібліотека класів мовою Python, яка може бути використана здобувачами магістерського рівня вищої освіти при виконанні випускних кваліфікаційних робіт, тематика яких пов'язана з темою дисертаційного дослідження здобувачки.

Практичне використання результатів наукових досліджень здобувачки в практичній діяльності транспортних підприємств та у навчальному процесі підтверджено актами впровадження, скан-копії яких містяться у додатках до дисертаційної роботи.

Оцінка змісту дисертаційної роботи в цілому. Дисертаційна робота, представлена до захисту, складається з анотацій (українською та англійською мовами), вступу, чотирьох розділів з прикінцевими висновками по кожному з них, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та чотирьох додатків, другий з яких містить перелік публікацій здобувачки за темою дисертації.

Анотації дисертації містять обґрунтування вибору теми наукових досліджень здобувачки та її актуальність, сформульовану мету роботи, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів дослідження, загальний зміст роботи, перелік ключових слів та перелік публікацій здобувачки за темою дисертаційної роботи. Зміст англійської та української версій анотації є тотожним.

У вступі дисертації наведено інформацію про актуальність теми дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, планами темами, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, описано методи досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувачки у наукові публікації за темою дисертації без посилання на конкретні публікації, здійснені у співавторстві, подано інформацію про апробацію результатів дисертації. Наприкінці вступу розміщено інформацію про кількість публікацій за темою дисертації, її структуру та обсяг.

У першому розділі дисертації авторкою подано загальну характеристику проблеми координатної та синхронізації розкладів руху транспорту на міських маршрутах громадського транспорту. На підставі вивчення наукових публікацій, пошук яких здійснено за ключовими словами у наукометричних базах даних Scopus та Google Scholar, проведено аналіз методів та алгоритмів, які застосовувались науковцями в Україні та за кордоном для вирішення задачі синхронізації розкладів руху, подано їх характеристику, механізми реалізації, критерії оптимальності, переваги та недоліки у застосуванні для різних видів транспорту та об'єктів застосування (маршрутна мережа, її сегмент або окремих маршрутів). В результаті було визначено, що найбільш ефективним та перспективним, з огляду на цілочисельність, багатомірність та комбінаторний характер, є застосування для вирішення поставленої задачі одного з методів метаевристичної оптимізації, зокрема генетичного алгоритму, для отримання рішення, близького до оптимального, за розумний час.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячений розробці імітаційної моделі системи міського громадського пасажирського транспорту, яка покликана адекватно відтворювати процеси транспортного обслуговування пасажирів громадським маршрутним транспортом у місті з метою проведення комп'ютерних експериментів для оцінки ефективності розроблених у дисертаційній роботі генетичних алгоритмів у задачі синхронізації розкладів руху маршрутного транспорту на рівні маршрутної мережі та транспортно-пересадочного вузла. Здобувачкою подано характеристику існуючих спеціалізованих пакетів програмного забезпечення з моделювання систем міського громадського транспорту, таких як Aimsun та PTV Vision та розроблено бібліотеку класів мовою програмування Python, сумісну з аналізованими пакетами програмного забезпечення. Описано склад бібліотеки, що складається з класів Net, Node, Link, Line, Vehicle, Passenger, а також додатковий клас Stochastic для генерації випадкових величин за заданим законом розподілу та його параметрами. Подано опис полів і методів розроблених класів, а також їх зв'язок один з одним.

У третьому розділі дисертації розроблено методику синхронізації розкладів руху на маршрутах міського громадського транспорту на рівні транспортно-пересадочного вузла та маршрутної мережі в цілому з використанням генетичних алгоритмів. Здобувачкою розроблено та формалізовано моделі транспортно-пересадочного вузла, маршрутної мережі та задачі синхронізації розкладів руху громадського транспорту у них. Ідея реалізації алгоритму полягає у часових зсувах існуючих розкладів руху на маршрутах відносно одне одного, що, і це є важливим, дозволяє змінювати тривалість очікування пасажирів при пересадках без зміни інших технологічних параметрів маршрутів, таких як кількість рухомого складу, режими роботи та відпочинку водіїв тощо. При цьому синхронізація розкладів руху є виключно організаційно-технологічним рішенням, яке не потребує жодних додаткових витрат. Розроблено генетичний алгоритм та подано опис його алгоритмічної реалізації (представлення та кодування хромосом, селекції, схрещування, мутації) стосовно об'єктів дослідження. Програмну реалізацію розроблених алгоритмів розміщено у відкритому репозиторії GitHub для широкого загалу, посилання на який наведено в тексті дисертації (с. 103 другого розділу дисертаційної роботи).

Четвертий розділ роботи містить експериментальні дослідження з використанням попередньо розроблених алгоритмів синхронізації на маршрутах міського громадського транспорту для умов маршрутної мережі автобусного транспорту міста Верхньодніпровськ. Здобувачкою проаналізовано існуючу маршрутну мережу автобусного транспорту загального користування міста, подано характеристику маршрутів та рухого складу, що їх обслуговує, обрано та обґрунтовано транспортно-пересадочний вузол для проведення експериментів. На підставі проведених імітаційних експериментів отримано скорочення середньої тривалості часу очікування пасажирів на 7 .. 8 % для транспортно-пересадочного вузла та на 12 .. 13 % для маршрутної мережі в цілому. Проведено дослідження впливу параметрів генетичного алгоритму (розміру популяції, імовірності та кількості мутацій, імовірності схрещування) на результативні показники алгоритму синхронізації розкладів руху для транспортно-пересадкового вузла та маршрутної мережі.

Висновки по результатах дисертаційного дослідження здобувачки містять результати вирішення поставлених у роботі задач та відповідають ним. Висновки є належно обґрунтованими, коректно сформульованими та свідчать про можливість використання результатів роботи для вирішення практичних задач стосовно обраного у дисертаційній роботі об'єкта та предмета дослідження.

У д о д а т к а х розміщено акти впровадження результатів дослідження, список публікацій здобувачки за темою дисертаційної роботи, гістограми статистичних розподілів середньої кількості пасажирів, що здійснюють пересадку у обраному транспортно-пересадочному вузлі та часу між послідовними прибуттями пасажирів до нього.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій, використаних і сформульованих за результатами дисертаційної роботи здобувачки, забезпечуються використанням належної методології та методик наукового дослідження, використання методів теорії транспортних процесів і систем, імітаційного моделювання систем, теорії метаевристичної оптимізації та кореляційно-регресійного аналізу для дослідження поведінки розроблених алгоритмів в залежності від їх вхідних параметрів. Отримані у дисертаційній роботі наукові та прикладні результати досліджень та сформульовані на їх підставі висновки та рекомендації є достатньо чіткими, достовірними та обґрунтованими в результаті проведеного змістовного аналізу, мають прикладну значимість у контексті обраного об'єкта дослідження. Такий висновок впливає з коректності постановки задач, застосування належних методів досліджень, вибору математичного апарату, використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Повнота викладення результатів дисертації у опублікованих працях. Основні результати наукових досліджень здобувачки у рамках виконаної дисертаційної роботи оприлюднені у 9 публікаціях, з яких: одна наукова стаття у закордонному періодичному виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі

Scopus (Q2-Q3 за SCImago Journal and Country Rank), дві наукові статті у фахових періодичних виданнях України (одна з яких одноосібна); шість публікацій, що засвідчують апробацію результатів наукових досліджень дисертаційної роботи на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, в тому числі: одні тези доповіді міжнародної конференції, що індексуються у міжнародній наукометричній базі Scopus. З урахуванням вимог п. 8 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 від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами) кількість публікацій здобувачки за темою дисертації складає 3,5 (одна стаття у виданні, що належить до другого-третього квартилів у наукометричній базі Scopus, та прирівнюється до двох наукових публікацій; одна одноосібна стаття у фаховому періодичному виданні України, що прирівнюється до однієї публікації; одна стаття з трьома співавторами у фаховому періодичному виданні України, що прирівнюється до 0,5 публікації), що відповідає встановленим вимогам до кількості публікацій здобувача ступеня доктора філософії. Зміст наукових публікацій та тез доповідей здобувачки відповідає темі та змісту дисертаційної роботи, достатньо повно відбиває сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення та отримані результати наукових досліджень. Зміст особистого внеску здобувачки у друкованих працях, опублікованих у співавторстві, не має повторювань та дублювання. Основні положення дисертаційної роботи пройшли належний рівень апробації на наукових конференціях різного рівня.

Дискусійні питання та зауваження до дисертаційної роботи. Критичний аналіз змісту дисертаційної роботи здобувачки дає підстави висловити деякі дискусійні положення та зауваження, а саме:

1. У вступі дисертаційної роботи чітко не виокремлений конкретний особистий внесок здобувачки у наукових працях, опублікованих у співавторстві. При цьому, тим не менш, зазначено, що здобувачці належить ідея та безпосередня реалізація розрахунково-експериментальної частини, але на захист виносяться не лише практичні, але й теоретичні положення.
2. Використання фраз «кількість цільових функцій», «кількість критеріїв цільових функцій» та «кількість елементів цільових функцій» (с. 53-54 першого розділу роботи) потребує пояснення у контексті багатокритеріальної оптимізації та використовуваних при цьому оптимізаційних методів.
3. У роботі запропоновано визначати тривалість руху маршрутного транспорту перегонами маршрутної мережі на підставі заданої довжини ланки та технічної швидкості руху. Тож, тривалість руху транспорту між зупинками у моделі є детермінованою величиною, що є різною для різних перегонів маршруту. Потребує пояснення у контексті моделювання цієї величини необхідність врахування ступеня завантаження дороги рухом та засобів регулювання дорожнього руху на перегонах міських маршрутів, що можуть суттєво вплинути на значення технічної швидкості руху протягом різних часових проміжків доби.

4. Припущення, що інтервал руху автобусів на кожному з синхронізованих маршрутів є детермінованим та сталим протягом періоду моделювання знижує точність отримуваних результатів (с. 74 другого розділу роботи), тож у роботі бажано було б оцінити вплив на підсумковий результат синхронізації розкладів руху стохастичного характеру прибуття пасажирського рухомого складу на зупинки з можливими відхиленнями від встановленого розкладу у більший чи менший бік.
5. При розробці моделі транспортно-пересадочного вузла (пункт 3.1.1 третього розділу роботи, с. 82) здобувачкою серед вихідних даних зазначено пропускну здатність маршрутів громадського транспорту. Не зрозуміло, чи враховувались у моделі транспортно-пересадочного вузла пропускну здатність самого транспортно-пересадочного вузла, перевищення якої може призвести до збільшення тривалості очікування пасажирами пересадки через утворення черг транспорту перед транспортно-пересадочним вузлом?
6. Вибір в якості критерію оптимальності загального часу очікування пасажирів апіорі є варіативним, оскільки при використанні методу імітаційного моделювання з випадковим попитом при кожній реалізації моделі буде отримана різна кількість пасажирів, що надходять до системи. У цьому випадку більш придатним бачиться використання в якості критерію оптимальності середнього часу очікування одного пасажирів (формула (3.8) на с. 89 третього розділу роботи).
7. У роботі бажано було б навести структуру та бодай укрупнені алгоритми або блок-схеми реалізації імітаційних моделей транспортно-пересадочного вузла та маршрутної мережі, щоб суттєво сприяло кращому їх сприйняттю науковцями та практичними фахівцями у галузі.
8. Дискусійним є питання щодо прийнятого у імітаційній моделі припущення про надходження пасажирів до зупинок у випадкові моменти часу. В умовах відносно великих (10 хвилин та більше) інтервалів руху на маршрутах спостерігається ефект адаптації пасажирів до розкладу руху, внаслідок чого вони надходять до зупинок у випадкові моменти часу, що є ближчими до часу прибуття транспортних засобів, а не розподілені рівномірно у інтервалі між послідовними прибуттями. Неврахування цього факту може призвести до зниження точності та адекватності результатів моделювання.
9. У роботі наявні декілька незначних орфографічних та стилістичних помилок, зокрема: «порівняльня» на с. 56; «морських судів» на с. 60; «виступаючи» на с. 93; «маршрутно» на с. 94; «маршртах» на с. 97; «значень» на с. 138;

Висловлені зауваження та зазначені недоліки не зменшують наукової цінності отриманих у дисертаційній роботі результатів та суттєво не впливають на її загальну позитивну оцінку.

ВИСНОВОК

Виходячи з аналізу змісту представленої дисертаційної роботи, наукової новизни її положень, практичної значимості результатів досліджень, ступеня достовірності та обґрунтованості положень та результатів дослідження можна дійти висновку, що дисертація Мельнікової Юлії Ігорівни на тему «Синхронізація розкладів руху громадського транспорту із використанням евристичних методів та імітаційного моделювання» є завершеним науковим дослідженням, в якому отримані нові наукові результати, які у сукупності дають можливість розв'язання задач зниження витрат часу пасажирів на пересування у маршрутних мережах громадського транспорту міст шляхом синхронізації розкладів руху на окремих маршрутах, що мають спільні зупинки, та у транспортно-пересадочних вузлах за рахунок скорочення часу очікування пасажирів при здійсненні пересадок. Дисертаційна робота відповідає спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» в частині предмету та напрямків наукових досліджень. Дисертація оформлена згідно з вимогами освітньо-наукової програми «Транспортні системи» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету і не суперечить вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40. За обсягом проведених теоретичних та експериментальних досліджень, їх рівнем та науковою новизною, практичною значимістю отриманих результатів дисертаційна робота у повній мірі 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 від 12.01.2022 р. № 44, а її авторка, Мельнікова Юлія Ігорівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)».

Офіційний опонент:
декан транспортного факультету
Національного університету
«Запорізька політехніка»
доктор технічних наук, професор

Олексій КУЗЬКІН

