

## ВІДГУК

офіційного опонента Любого Євгена Володимировича  
на дисертаційну роботу Зубачика Романа Михайловича  
на тему: «Вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для  
маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста» подану на  
здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.22.01 – транспортні системи

### 1. Актуальність теми дисертації.

Сьогодні у великих і найзначніших містах України спостерігається характерна ситуація, коли зростання рівня автомобілізації не супроводжується відповідним розвитком вулично-дорожньої мережі. Це, в свою чергу, спричиняє вичерпування пропускну здатності вулиць і доріг, зниження швидкостей руху, підвищення щільності транспортних потоків і, відповідно, утворення заторів. Такі наслідки відбиваються вкрай негативно на усіх учасниках дорожнього руху, але найбільший вплив дана ситуація має на наземний громадський транспорт, зокрема маршрутні автобуси в силу його габаритних розмірів і меншої маневреності порівняно з індивідуальним транспортом.

Для зменшення тривалості поїздки на маршрутних автобусах і підвищення їх конкурентоздатності на вулично-дорожній мережі застосовують методи забезпечення пріоритетного руху.

Враховуючи зазначене тема дослідження, що розглядає вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на перегонах вулиць і регульованих перехрестях вулично-дорожньої мережі міста, є достатньо актуальною.

### 2. Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами

Тема дисертації «Вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста» та вирішення в її межах завдань щодо визначення та обґрунтування критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць для маршрутних автобусів і забезпечення їм пріоритетного проїзду на регульованих перехрестях відповідає Транспортній стратегії України на період до 2020 року (затверджена постановою КМУ від 20.10.10 №2174-р.) та Концепції державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 р., що схвалена Постановою КМУ від 25.03.2013 р. № 294.

### 3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертаційній роботі обґрунтовано критерії впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць, причому за основний – вибрано показник мінімальний обсяг пасажиропотоку, для визначення якого запропоновано залежність, що враховує особливості дорожньо-транспортних умов на перегонах вулиць.

Кандидатська  
Вх. № 01/1702  
30. 11. 2015

Розроблено метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя», впровадження якого дає змогу зменшити затримки автобусів на регульованих перехрестях, особливо підходи до яких мають не більше двох смуг руху в одному напрямку.

Подальшого розвитку набув науковий підхід щодо визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізольованого регульованого перехрестя на основі імітаційної моделі, яка на відміну від існуючих ґрунтується на використанні параметрів закону розподілу Гіпер-Ерланга для розподілу часових інтервалів між автомобілями, що надходять до перехрестя.

Вперше проведено аналітичний опис процесу формування черги на суміжному у напрямку координації регульованому перехресті та запропоновано алгоритм для розрахунку максимальних їх значень шляхом імітаційного моделювання.

#### **4. Практичне значення отриманих результатів**

Практичне значення отриманих результатів полягає у визначенні та обґрунтуванні критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць, а також у розробці імітаційних моделей для визначення максимальної довжини черги транспортних засобів на підході до ізольованого та координованого регульованого перехрестя і можуть бути використані для вирішення завдань підвищення ефективності міської транспортної системи.

Розроблено транспортну модель міста Львова у програмному середовищі VISUM, яка дає змогу проводити техніко-економічний аналіз ефективності заходів транспортної інфраструктури.

Результати дослідження можуть бути використані під час проектування та впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць, а також забезпеченні просторово-часового пріоритету на регульованих перехрестях.

#### **5. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у роботі**

Для визначення значень максимальної довжини черги транспортних засобів на підході до ізольованого і координованого регульованого перехрестя використовувались методи теорії ймовірності, математичної статистики та випадкових процесів, імітаційного моделювання та мова програмування Objective-C. Для встановлення межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя», а також для дослідження його функціонування на реальному перехресті використовувались середовище VISSIM. Водночас, програмне середовище VISUM використовувалось для створення транспортної моделі міста і встановлення з її використанням, обсягів пасажиропотоків, значень коефіцієнта заповнення автомобіля пасажирями, прогнозів зміни інтенсивності руху та швидкості руху автобуса при відсутності і наявності спеціальних смуг на перегонах вулиць.

Адекватність імітаційних моделей для визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до ізольованого і координованого перехрестя підтверджена результатами отриманих у середовищі VISSIM.

Практична значущість отриманих результатів підтверджена актами впровадження в управлінні транспорту та зв'язку Львівської міської ради та Львівському комунальному підприємстві «Львівавтодор».

#### **6. Повнота оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

За матеріалами дисертації опубліковано 19 наукових праць, зокрема 9 статей у фахових виданнях України, 2 статті в інших виданнях України, 1 стаття за кордоном. Основні положення дисертації доповідались на 7 науково-практичних конференціях, 6 з яких були міжнародними. Кількість публікацій відповідає вимогам наказу МОНмолодьспорту України від 17.10.2012 №1112 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

Назва дисертації відповідає її змісту. Дисертація та автореферат оформлені згідно з вимогами МОН України. Науковий рівень дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою КМУ від 24.07.2013 р. № 567, а зміст – паспорту спеціальності 05.22.01 – транспортні системи.

#### **7. Загальна характеристика структури та змісту дисертаційної роботи**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 107 найменувань та 8 додатків. Загальний осяг дисертаційної роботи становить 187 сторінок. Основний зміст роботи викладений на 151 сторінках і містить 20 таблиць та 48 рисунків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації; окреслено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету та задачі дослідження; визначено об'єкт, предмет і методи дослідження; висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів; розкрито особистий внесок здобувача.

У першому розділі окреслено основні етапи наукової думки щодо застосування методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста, зокрема впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць та забезпечення пріоритету на регульованих перехрестях.

Здобувачем відзначено, що функції спеціальних смуг мають широке використання і впроваджуються для спецавтомобілів, вантажних автомобілів, немоторизованого транспорту та громадського транспорту (автобусів, тролейбусів, трамваїв), однак найбільше – для маршрутних автобусів.

Детально проаналізовано існуючі методи, що забезпечують пріоритет автобусам на регульованих перехрестях. Для цього їх поділено на три групи,

зокрема ті, що забезпечують пріоритет у просторі, пріоритет у часі і просторово-часовий пріоритет.

Визначальним критерієм для впровадження методів, що забезпечують просторово-часовий пріоритет автобусам на регульованих перехрестях є наявність не менше трьох смуг руху в одному напрямку на вулицях, що його утворюють. До умов, в яких складно забезпечити такий пріоритет відносяться регульовані перехрестя, підходи до яких мають не більше двох смуг руху в одному напрямку, що є особливо актуальним для вуличних мереж міст з щільною забудовою.

Розглянуто приклад комплексного застосування різних методів забезпечення пріоритетного руху на усій довжині автобусного маршруту, що реалізується впровадженням системи «швидких автобусних перевезень». Розглянуто характеристики цієї системи та особливості її впровадження.

Загальний обсяг першого розділу відповідає встановленим вимогам.

У другому розділі визначено та обґрунтовано критерії впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць. За критерії здобувачем запропоновано використовувати такі показники, як кількість смуг руху в одному напрямку (критерій I), мінімальний обсяг пасажиропотоку (критерій II) та рівень завантаження руху, що визначає стан транспортного потоку на непріоритетних смугах (критерій III).

Здобувач запропонував емпіричну залежність для визначення значень мінімального обсягу пасажиропотоку залежно від дорожньо-транспортних умов на перегонах вулиць. З її використанням визначено діапазон значень мінімального обсягу пасажиропотоку (від 912–5928 пас./год) для перегонів вулиць безперервного та регульованого руху.

Критерій, що характеризує стан транспортного потоку на непріоритетних смугах пропонується визначати рівнем завантаження руху, допустима область якого є в інтервалі від 0 до 0,75 завантаження перегону вулиці. При цьому наголошується, що основним етапом розрахунку цього показника є визначення зміни інтенсивності руху на непріоритетних смугах після виділення спеціальних.

У третьому розділі розроблено метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя», який дає змогу забезпечити просторово-часовий пріоритет автобусам на регульованих перехрестях, зокрема підходи до яких мають не більше двох смуг руху в одному напрямку.

Сенс цього методу полягає в створенні додаткового поширення у зоні перехрестя та облаштуванні на ньому спеціальної смуги, яка забезпечує вільний під'їзд автобусів до стоп-лінії. Проїзд перехрестя реалізується за допомогою алгоритмів керування світлофорної сигналізації. Запропоновано шість основних типів таких спеціальних смуг, визначено від чого залежать їх геометричні параметри.

Здобувачем доведено, що одним із ключових етапів впровадження цього методу є визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до перехрестя, яка визначається на основі значень максимальної

довжини черги транспортних засобів, що утворюється на смузі, яка межуватиме із спеціальною. Для їх визначення здобувач розробив імітаційні моделі (написані мовою програмування Objective-C), які дають змогу визначати значення максимальної довжини черги транспортних засобів на підході до ізольованого та координованого перехресть.

Імітаційна модель, що визначає максимальну чергу транспортних засобів на підході до ізольованого перехрестя відрізняється від існуючих використанням параметрів закону розподілу випадкових величин Гіпер-Ерланга для розподілу часових інтервалів між автомобілями, які надходять до перехрестя. Це дає змогу підвищити адекватність результатів моделювання. Зокрема значення довжини черги, які отримано за моделлю, є аналогічними до тих, що визначаються за німецькими нормами HBS (на відміну від американських HCM) і близькими до тих, які видає VISSIM. Причому найкращі результати досягаються за законом Гіпер-Ерланга з параметром  $a = 3$ . Ця імітаційна модель реалізована у такий спосіб, що може використовуватися на переносних пристроях (iPhone, iPad), і через зміну вхідних параметрів можна легко змінювати умови дослідження.

Результати моделювання подаються як значення максимальної довжини черги транспортних засобів, що утворюється на початку дозволеного сигналу та впродовж циклу регулювання. Перші значення можуть використовуватися для оцінки ефективності керування світлофорною сигналізацією, а другі – для визначення довжини додаткового поширення на підході до перехрестя, яке застосовується з метою підвищення пропускної здатності перехрестя або для забезпечення пріоритету руху автобусам за допомогою методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя».

Імітаційна модель, що визначає максимальну довжину черги транспортних засобів на підході до координованого перехрестя розроблена на основі аналітичних досліджень процесу формування черги на суміжному у напрямку координації перехресті. Це дало змогу адекватно відтворити реальний процес на суміжному перехресті, зокрема утворення груп транспортних засобів на живлячому підході, їх деформація на суміжному перехресті з використанням статистичної моделі  $\sigma$ , реалізація процесу виключення ТЗ з другорядних підходів, які не потрапляють у черги на суміжному перехресті у процесі їхнього утворення, а також визначення значень максимальної довжини черги транспортних засобів, які є аналогічними тим, що видає VISSIM.

Вважаю, що однією з основних складових, яка зумовлює формування таких значень максимальної довжини черги транспортних засобів, є визначення середньоквадратичного відхилення тривалості проїзду автомобілями ділянки координації  $\sigma$  (статистична модель). За результатами моделювання у середовищі VISSIM встановлено характер залежностей  $\sigma$  від довжини ділянки координації  $L$ , кількості автомобілів у групі  $N_{gp}$ , кількості вантажних автомобілів у групі  $N_g$  і частки потоку прямого напрямку на живлячому підході  $\beta_{ST}$ .

Для забезпечення маршрутним автобусам проїзду без зупинки через перехрестя при функціонуванні методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя», пропонується використовувати адаптивні алгоритми керування світлофорної сигналізації. Зокрема, алгоритм виклик спеціальної фази – здобувач вважає основним, який доцільно використовувати для ефективного доповнення цього методу в частині забезпечення пріоритетного проїзду площі перехрестя.

У четвертому розділі описано процес створення транспортної моделі міста у середовищі VISUM (м. Львів), з використанням якої проведено оцінку доцільності впровадження спеціальних смуг на перегонах частини магістральної вул. Стрийська (м. Львів) за визначеними критеріями.

Транспортна модель м. Львова у VISUM включає модель попиту на індивідуальний, громадський, велосипедний та вантажний транспорт і пішохідний рух.

Для створення моделі попиту здобувач використовує стандартну 4-х ступеневу модель попиту, причому, щоб підвищити її точність, на етапі створення транспортного руху (I етап 4-х ступеневої моделі попиту), використовується методика проф. Д. Лозе. Вона передбачає поділ моделі попиту на шари попиту, кожен з яких відображає один з найхарактерніших джерело-ціль переміщень у просторі міста впродовж доби (наприклад, дім – робота, дім – магазин, дім – дозвілля тощо). В даному дослідженні для м. Львова модель попиту поділено на 19 шарів.

Моделювання попиту виконувалося, в тому числі, і на основі показників транспортної рухомості населення міста. Для їх визначення було проведено опитування, в якому брало участь 1800 респондентів.

З використанням транспортної моделі у VISUM та запропонованих критеріїв проведено оцінку доцільності впровадження спеціальних смуг на перегонах частини вулиці Стрийська (м. Львів).

Для дослідження особливості функціонування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» здобувач використовує реальне ізольоване регульоване X-подібне перехрестя у м. Львові, яке має одну смугу руху на кожному підході в обох напрямках. Для забезпечення просторово-часового пріоритету автобусам на цьому перехресті, запропоновано впровадити спеціальні смуги типу 2.1, 2.2 та 2.4. Пріоритетний проїзд площі перехрестя забезпечується через виклик спеціальних фаз світлофорної сигналізації.

За результатами модельного експерименту у середовищі VISSIM встановлено, що впровадження методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» на обраному здобувачем перехресті дає змогу зменшити на 87% середню затримку автобуса порівняно з адаптивним світлофорним регулюванням без забезпечення пріоритету. Отримані результати засвідчують ефективність запропонованого методу для забезпечення просторово-часового пріоритету на регульованих перехрестях, особливо, коли на їх підходах є не більше двох смуг руху.

**Загальні висновки** дисертаційної роботи узгоджуються з метою і завданнями дослідження. Отримані результати характеризуються науковою новизною і практичною цінністю, обґрунтовані теоретично і підтверджені експериментальними дослідженнями.

#### **8. Ідентичність змісту автореферату та основних положень дисертації**

Автореферат дисертаційної роботи є ідентичний з нею і не містить інформації, яка відсутня у самій роботі. Текст автореферату повною мірою розкриває наукову і практичну цінність дисертації. Висновки в авторефераті збігаються з висновками у роботі.

#### **9. Зауваження до дисертаційної роботи**

1. У першому розділі доцільно було би дати ширший аналіз комплексного застосування різних методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста, зокрема які використовуються за кордоном.

2. Підрозділ 2.1 «Визначення існуючих критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць» по своїй структурі та змісту повністю має аналітичний характер, тому доцільно було б його представити в першому розділі дисертаційної роботи.

3. Поряд з високою оцінкою проведених теоретичних досліджень щодо критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць необхідно відзначити відсутність детального обґрунтування щодо критерію I – мінімальної кількості смуг руху в одному напрямку на перегонах вулиць.

4. У третьому розділі доцільно було також встановити межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» при наявності на перехресті двох і більше спеціальних смуг, що впроваджуються у його зоні.

5. У четвертому розділі при створенні моделі попиту на етапі створення транспортного руху (I етап 4 ступеневої моделі) доцільно було б детальніше обґрунтувати поділ попиту саме на 19 шарів.

6. Із наведеного в дисертаційній роботі матеріалу не зрозуміло, який саме показник ( $w_{ij}$ ) використано в якості функції тяжіння при використанні гравітаційної моделі формування матриці пасажирських кореспонденцій.

7. Недоліком при створенні транспортної моделі міста у середовищі VISUM є калібрування моделі попиту на індивідуальний і громадський транспорт за допомогою значень відповідно інтенсивності транспортних потоків на перехрестях і пасажиропотоків на перегонах. Це доцільно здійснювати за допомогою зміни параметрів функції корисності.

8. Не зрозумілим є твердження представлене у четвертому висновку стосовно зменшення тривалості руху автобусів до 23–25%, оскільки не зазначено саме за рахунок чого можна досягти такого суттєвого зменшення.

9. Для дослідження ефективності функціонування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» на реальному перехресті автор використовує реальне перехрестя з однією смугою руху на усіх підходах, однак не зрозуміло, чи буде такий же ефект на перехресті з двома смугами руху на підході.

### 10. Загальний висновок на дисертаційну роботу

За обсягом проведених досліджень, їх теоретичним рівнем, актуальністю розглянутої проблеми та значенням одержаних результатів для науки і практики дисертаційна робота Зубачика Романа Михайловича «Вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності є суттєвим внеском у забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів з метою зменшення їх затримок на вулично-дорожній мережі міста.

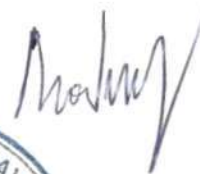
Матеріали дисертації опубліковані у достатній мірі, висновки роботи відображають її основні результати.

Сформульовані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки роботи, їх слід розглядати як побажання здобувачу наукового ступеню для подальшої плідної науково-дослідної роботи.

Автореферат в достатній мірі відповідає змісту дисертаційної роботи, оформлення дисертації і автореферату в цілому відповідає нормативним вимогам.

Дисертаційна робота повністю відповідає паспорту спеціальності 05.22.01 – транспортні системи і вимогам, які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а також пп. 9, 11, 12 Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника до кандидатських дисертацій, а її автор, **Зубачик Роман Михайлович**, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи.

Доцент кафедри транспортних систем і логістики  
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, к.т.н., доцент



Є.В. Любий

