

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

ЗУБАЧИК РОМАН МИХАЙЛОВИЧ

УДК 656.13.053

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНОГО РУХУ
ДЛЯ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ
МІСТА**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Вікович Ігор Андрійович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри транспортних технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Поліщук Володимир Петрович,
Національний транспортний університет,
завідувач кафедри транспортних систем та безпеки
дорожнього руху

кандидат технічних наук, доцент
Любий Євген Володимирович
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
доцент кафедри транспортних систем і логістики

Захист відбудеться "____" грудня 2015 року о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, зал засідань (ауд. 333).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 42

Автореферат розісланий "____" листопада 2015 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.І. Каськів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Прогрес автомобілізації сприяє збільшенню інтенсивності транспортних потоків (ТП), що у міських умовах призводить до високого рівня завантаження вулиць. Перевантаження вулично-дорожніх мереж (ВДМ), своєю чергою, зумовлює багато гострих проблем соціального і економічного характеру. Тому зниження їх рівня завантаження є актуальним завданням для переважної більшості країн. Одним із прогресивних шляхів зниження рівня завантаження ВДМ вважається ефективна організація громадського транспорту (ГТ), що дає змогу скоротити обсяги користування індивідуальними транспортними засобами (ТЗ), які становлять домінуючу частку в існуючих ТП, і цим самим знизити завантаження ВДМ.

Сьогодні у містах України найпоширенішим видом ГТ для перевезення міського населення є маршрутні автобуси (МА). Для підвищення якості перевезення і транспортного обслуговування пасажирів цим видом транспорту на ВДМ потрібно покращувати його конкурентоздатність шляхом надання переваги у русі по відношенню до інших учасників руху. Така перевага реалізується за допомогою застосування методів забезпечення пріоритетного руху, до яких насамперед належать впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць та забезпечення пріоритету на регульованих перехрестях. Застосування цих методів у містах України наразі перебуває на початковому етапі. Тому для поширення їхнього застосування є потреба у їх вивченні та вдосконаленні, що і підтверджує актуальність дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у межах наукового напряму кафедри транспортних технологій та науково-дослідної роботи «Оптимізація параметрів вулично-дорожньої мережі і пішохідно-транспортних потоків та організації автомобільних перевезень» (номер державної реєстрації 0113U001348), відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 року (схваленої розпорядженням КМУ від 20.10.2010р. № 2174-р) та Концепції державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року (схваленої Постановою КМУ від 25.03.2013 р. № 294).

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху на вулично-дорожній мережі міста для маршрутних автобусів шляхом визначення та обґрунтування критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць і розробка методу, що забезпечує їм просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях.

Для досягнення мети у роботі визначені такі основні завдання дослідження:

1. Провести аналіз методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста.
2. Визначити та обґрунтувати критерії впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць.
3. Розробити метод, що забезпечує просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях, встановити межі області його ефективного застосування і дослідити особливості функціонування на реальному перехресті.

4. Визначити оптимальну довжину спеціальної смуги на підході до ізольованого та координованого регульованого перехрестя на основі імітаційної моделі максимальної довжини черги транспортних засобів.

5. Розробити транспорту модель міста у середовищі VISUM, і з її використанням оцінити доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за визначеними критеріями.

Об'єкт дослідження є дорожній рух на перегонах вулиць і регульованих перехрестях вулично-дорожньої мережі міста.

Предметом дослідження є вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на перегонах вулиць і регульованих перехрестях вулично-дорожньої мережі міста.

Методи дослідження. Методи теорії ймовірності, математичної статистики та випадкових процесів, імітаційного моделювання і мова програмування Objective-C використовуються для визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до ізольованого та координованого регульованого перехрестя на основі значень максимальної довжини черги транспортних засобів. Середовище VISSIM використовується для встановлення межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» і для дослідження ефективності його функціонування на реальному перехресті, а програмне середовище VISUM – для створення транспортної моделі міста і встановлення з її використанням обсягів пасажиропотоків, значень коефіцієнта заповнення ТЗ пасажирами, прогнозів зміни інтенсивності руху на непріоритетних смугах та шляхової швидкості автобуса за відсутності і наявності спеціальних смуг на перегонах вулиць.

Наукова новизна отриманих результатів:

- обґрунтовано, що основний показник як критерій впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць є не інтенсивність руху автобусів, а мінімальний обсяг пасажиропотоку, для визначення якого запропоновано емпіричну формулу, що враховує особливості дорожньо-транспортних умов на перегонах;

- розроблено метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя», впровадження якого дає змогу зменшити затримки автобусів на регульованих перехрестях, особливо, якщо підходи до них мають не більше двох смуг руху в одному напрямку;

- отримав подальший розвиток підхід щодо створення імітаційної моделі для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізольованого регульованого перехрестя, яка відрізняється від існуючих використанням закону Гіпер-Ерланга для розподілу часових інтервалів між ТЗ, які надходять до перехрестя, що дає змогу підвищити адекватність результатів моделі;

- вперше отримано аналітичний опис процесу формування черги на суміжному у напрямку координації регульованому перехресті та запропоновано алгоритм для розрахунку максимальних їх значень за допомогою імітаційного моделювання.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено методика щодо застосування спеціальних смуг на перегонах вулиць, яка включає запропоновані критерії впровадження, з використанням яких можна об'єктивно оцінити доцільність їх функціонування. Розроблено імітаційні моделі для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізольованого і координованого перехрестя, які можуть використовуватися як для визначення оптимальної довжини

спеціальної смуги на підході до перехрестя, так і для аналізу роботи регульованих перехресть за показником максимальної довжини черги. Розроблено транспортну модель міста у VISUM, з використанням якої можна виконувати техніко-економічний аналіз ефективності заходів транспортної інфраструктури.

Результати дисертаційного дослідження використані в Управлінні транспорту та зв'язку Львівської міської ради під час оцінювання доцільності впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць та забезпечення пріоритету на регульованих перехрестях і у Львівському комунальному підприємстві «Львівавтодор» при техніко-економічному аналізі заходів транспортної інфраструктури, що виконуються у середовищі VISUM з використанням розробленої транспортної моделі міста Львова, а також у навчальному процесі у Національному університеті «Львівська політехніка» на кафедрі транспортних технологій для студентів спеціальності 7(8).07010104 «Організація і регулювання дорожнього руху».

Особистий внесок здобувача. Усі положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і наведені у роботах [1-12]. У спільних публікаціях автор визначив функції спеціальних смуг [6] та запропонував критерії їх впровадження на перегонах [1, 8], розробив метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя» [2] та встановив межі області його ефективного застосування [12] і провів модельний експеримент щодо його ефективності [4], розробив моделі для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізольованого [10] та координованого [11] перехрестя, провів аналіз координованого керування дорожнім рухом [5], описав методику моделювання попиту на ГТ у середовищі VISUM [9].

Апробація результатів дисертації. Особисті положення дисертації доповідалися на: III Міжнародній науково-практичній конференції «Логістика промислових регіонів» (06 – 09 квітня 2011 р., м. Донецьк, ДААТ); Міжнародній науково-практичній конференції «Забезпечення безпеки та комфорту дорожнього руху: проблеми та шляхи розв'язання» (17 – 18 травня 2011 р., м. Харків, ХНАДУ); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (24 – 26 жовтня 2011 р., м. Вінниця, ВНТУ); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти» (17 – 18 листопада 2011 р., м. Донецьк, ДААТ); III Міжнародній науково-практичній конференції «Проблема розвитку транспортних систем і логістики» (3 – 8 травня 2012 р., м. Євпаторія, СНУ ім. В. Даля); II Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі» (18 – 19 вересня 2013 р., м. Донецьк, ДААТ); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (21 – 23 жовтня 2013 р., м. Вінниця, ВНТУ).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 19 наукових праць, з них 9 статей у фахових наукових виданнях України (2 – одноосібно), 2 статті в інших виданнях України, 1 статтю за кордоном та 7 тез доповідей (1 – одноосібно).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (107 найменувань) та додатків. Загальний обсяг роботи становить 187 сторінок, з них 151 сторінки основного тексту, 20 таблиць, 48 рисунків та 8 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність обраної теми, окреслений об'єкт і предмет дослідження, відображена наукова новизна і практична цінність роботи, наведено відомості про впровадження та апробацію результатів дослідження.

У **першому розділі** встановлено, що якість транспортного обслуговування пасажирів автобусами значною мірою залежить від раціональної організації дорожнього руху на ділянках ВДМ, через які проходять їхні маршрути. Проблемі раціональної організації дорожнього руху у містах присвячені наукові праці багатьох вітчизняних та зарубіжних учених: Врубеля Ю.А., Гаврилова А.А., Гаврилова Е.В., Дзюби О.П., Дрю Д., Єрсова В.І., Іносе Х., Клінковштейна Г.І., Кременця Ю.А., Левашева А.Г., Лобанова Є.М., Лобашова О.О., Печерського М.П., Поліщука В.П., Пржибила П., Світека М., Сільянова В.В., Хамади Т., Хомяка Я.В., Четверухіна Б.М., Шелкова Ю.Д., Шештокаса В.В., Schnabel W. та ін.

Методи забезпечення пріоритетного руху, зокрема впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць та забезпечення пріоритету на перехрестях, є окремим видом заходів з організації дорожнього руху, які спрямовані на підвищення ефективності автобусних перевезень на ВДМ.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної технічної літератури щодо застосування спеціальних смуг показує, що їхні функції мають широке використання і впроваджуються для спецавтомобілів, вантажних ТЗ, немоторизованого транспорту (велосипедистів, пішохідного руху) та ГТ (автобусів, тролейбусів, трамваїв). Метою впровадження спеціальних смуг для цих учасників дорожнього руху є забезпечення виконання спецавтомобілями невідкладних службових завдань в умовах перевантаження вулиць рухом; підвищення пропускної здатності елементів ВДМ та безпеки руху в умовах, коли ТЗ вантажного транспорту домінують у ТП; забезпечення нормальних умов руху під час паралельних потоків пішоходів відносно руху ТЗ після завершення масових заходів або під час одностороннього колонного руху пішоходів чи велосипедистів у певні періоди доби; зменшення затримок ГТ на маршрутах слідування. Сьогодні найчастіше спеціальні смуги впроваджуються для автобусів, які можуть виділятися лініями розмітки і позначатися буквами чи кольором, або відокремлюватися острівками, бар'єрами чи бордюрами. Однак їх поширення у містах України наразі гальмується відсутністю адекватних критеріїв щодо впровадження.

Одним із основних етапів організації пріоритетного руху на ВДМ для автобусів є забезпечення пріоритету на регульованих перехрестях, оскільки саме на них виникають найбільші їх затримки. Усі існуючі методи, що дають змогу забезпечувати пріоритет на таких перехрестях, умовно можна поділити на три групи, зокрема такі, що забезпечують пріоритет у просторі, пріоритет у часі і просторово-часовий пріоритет. Невід'ємними елементами просторово-часового пріоритету є використання спеціальних смуг та відповідна адаптація алгоритмів керування світлофорної сигналізації.

Методи просторового і часового пріоритету ефективно функціонують за незначної інтенсивності МА та непріоритетних ТП. Просторово-часові методи, можуть забезпечувати пріоритетні умови руху і при збільшенні інтенсивності руху,

особливо МА. Найкращих результатів з позиції забезпечення абсолютного пріоритету (проїзду без зупинки) можна досягти за допомогою методу, що ґрунтується на впровадженні спеціальних смуг на перегонах вулиць, які не перериваються на перехрестях, та виклику спеціальної фази. До умов, в яких складно забезпечити такий пріоритет, належать регульовані перехрестя, підходи до яких мають не більше двох смуг руху в одному напрямку, що є особливо актуальним для ВДМ міст зі щільною забудовою.

Наразі комплексне застосування різних методів забезпечення пріоритетного руху на усій довжині автобусного маршруту реалізується при впровадженні системи «швидких автобусних перевезень» (ШАП), яка відрізняється від традиційних автобусних перевезень ще й використанням закритих зупинних пунктів («за типом метро») та автобусів особливо великої місткості. Іншими важливими її перевагами є швидкість обслуговування, перевізна здатність (може досягати 45000 пас./год), а також вартість та тривалість впровадження, яка значно дешевша за метро і реалізується за 1 – 3 роки після розробки проекту.

Основою для створення системи ШАП на визначеній ділянці ВДМ є впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць і забезпечення пріоритету на перехрестях, на основі чого і були сформувані мета та завдання дослідження.

У **другому розділі** проведено теоретичні дослідження стосовно критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць і наведено обґрунтування щодо тих, які доцільно використовувати.

За результатами аналізу доведено, що використання показника інтенсивності руху автобусів як критерію впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць, є непридатним для різних типів автобусів, оскільки при одному і тому ж мінімальному значенні різниця у перевізній здатності може досягати більше 6 тис. пас./год. На основі цього та інших результатів теоретичних досліджень встановлено, що доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць необхідно визначати за кількістю смуг руху в одному напрямку (критерій I), мінімальним обсягом пасажиропотоку (критерій II) та за станом ТП на непріоритетних смугах (критерій III). Не менше трьох смуг руху в одному напрямку на перегоні є умовою критерію I, оскільки за меншої кількості для непріоритетних ТП залишається одна смуга, режим і умови руху на якій часто визначатимуть автомобілі-лідери, що рухається попереду самостійно утвореної групи ТЗ.

Для визначення мінімального обсягу пасажиропотоку запропонована емпірична формула, яка в тому числі дає змогу враховувати особливості дорожньо-транспортних умов на перегонах вулиць ВДМ:

$$O_{П_{jk}} \geq O_{H_{jk}} \quad \text{при } O_{H_{jk}} \in W, \quad (1)$$

де $O_{П_{jk}}$ – обсяг пасажиропотоку на j -му перегоні у k -му напрямку, пас./год;
 $O_{H_{jk}}$ – інтенсивність пасажирського руху на j -му перегоні у k -му напрямку при стані W системи «Дорожні умови – Транспортні потоки» («ДУ – ТП»), пас./год; W – оптимальний стан функціонування системи («ДУ – ТП»).

Розрахунок $O_{П_{jk}}$ та $O_{H_{jk}}$ для перегону безперервного і регульованого руху виконується за такими формулами:

$$\text{- для } j\text{-го перегону безперервного руху} - O_{\Pi_{jk}} \geq P_{H_{ijk}} Z_{on} \cdot \gamma \cdot Y_{jk}, \quad (2)$$

$$\text{- для } j\text{-го перегону регульованого руху} - O_{\Pi_{jk}} \geq \sum_{i=1}^r P'_{H_{ijk}} \cdot X_{on} \cdot Y_{jk}, \quad (3)$$

де $P_{H_{ijk}}$ – пропускна здатність i -ї смуги j -го перегону у k -му напрямку, авт./год;
 Z_{on} – оптимальний рівень завантаження вулиці рухом; γ – коефіцієнт багатосмуговості перегону; $P'_{H_{ijk}}$ – пропускна здатність i -ї смуги j -го перегону на підході до регульованого перехрестя у k -му напрямку, авт./год; X_{on} – оптимальний ступінь насичення рухом на підході; r – кількість неперіоритетних смуг руху у k -му напрямку; Y_{jk} – коефіцієнт заповнення ТЗ пасажирями на j -му перегоні у k -му напрямку.

З формул (2) та (3) видно, що розрахунок значень мінімального обсягу пасажиропотоку залежить від величини інтенсивності пасажирського руху, яка своєю чергою, залежать від пропускної здатності неперіоритетної смуги руху та коефіцієнта заповнення. На основі можливих інтервалів їх значень визначено діапазон мінімального обсягу пасажиропотоку для перегонів вулиць безперервного і регульованого руху (рис. 1).

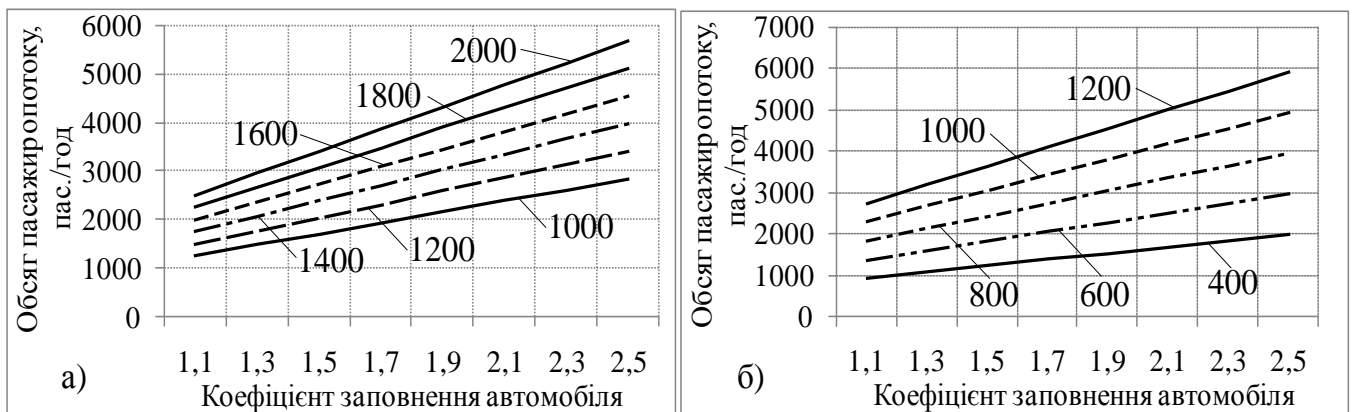


Рисунок 1 – Діапазон значень мінімального обсягу пасажиропотоку для перегонів безперервного (а) та регульованого (б) руху: цифри на кривих – пропускна здатність

З рис. 1 видно, що мінімальний обсяг пасажиропотоку має широкий діапазон значень (1254 – 5700 та 912 – 5928 пас./год відповідно для перегонів безперервного та регульованого руху), що пояснюється широким спектром значень залежних показників. Використовуючи середнє із можливого діапазону коефіцієнта заповнення, значення мінімального обсягу пасажиропотоку для практичних розрахунків набудуть 2050 та 2390 пас./год відповідно для перегону безперервного та регульованого руху при пропускній здатності смуги руху 1000 та 700 авт./год.

Критерій III, що характеризує стан ТП на неперіоритетних смугах, доцільно визначати не нижніми чи верхніми обмеженнями на інтенсивність, як це пропонується в існуючих рекомендаціях, а рівнем завантаження руху, допустима область якого знаходиться в інтервалі від 0 до 0,75 завантаження перегону вулиці. Основним етапом під час розрахунку цього показника є визначення зміни

інтенсивності руху на неперіоритетних смугах після виділення спеціальних. Для виконання такого завдання доцільно використовувати підхід, за якого прогноз зміни інтенсивності встановлюється за результатами перерозподілу транспортних потоків у моделі функціонування вуличної мережі, що створюється за допомогою інструментів стратегічного моделювання, в яких перерозподіл, як правило, здійснюється з використанням такої залежності:

$$t_{z_j} = t_{0_j} \cdot \left(1 + a \cdot \left(\frac{M_j}{P_j} \right)^b \right), \quad (4)$$

де t_{0_j} , t_{z_j} , M_j , P_j – відповідно тривалість руху у вільних і завантажених рухом умовах, інтенсивність та пропускна здатність на j -му елементі ВДМ; a , b – параметри, що задає користувач ($a \in [0, 0; \infty)$, $b \in \{0, 0..10, 0\}$).

Для оцінки потенційних умов на доцільність впровадження спеціальних смуг сформульовано такий алгоритм дій: формування вхідних даних → перевірка доцільності за критеріями → вибір типу і варіанта спеціальної смуги.

Третій розділ присвячений розробленню методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя», який дає змогу забезпечити просторово-часовий пріоритет автобусам на регульованих перехрестях, зокрема підходи яких мають не більше двох смуг руху в одному напрямку. Цей метод ґрунтується на створенні додаткового поширення у зоні перехрестя і облаштуванні на ньому спеціальної смуги, яка забезпечує вільний під'їзд автобусів до стоп-лінії. Проїзд перехрестя реалізується за допомогою алгоритмів керування світлофорної сигналізації. Для Х-подібного перехрестя запропоновано шість типів таких спеціальних смуг, які при цьому належать до однієї із двох груп. До першої групи віднесено ті, які доцільно впроваджувати на перехрестях, де зупинні пункти відсутні або розташовані перед ним (рис. 2, а, б), а до другої, – де зупинки розташовані після перехрестя (рис. 2, в – е).

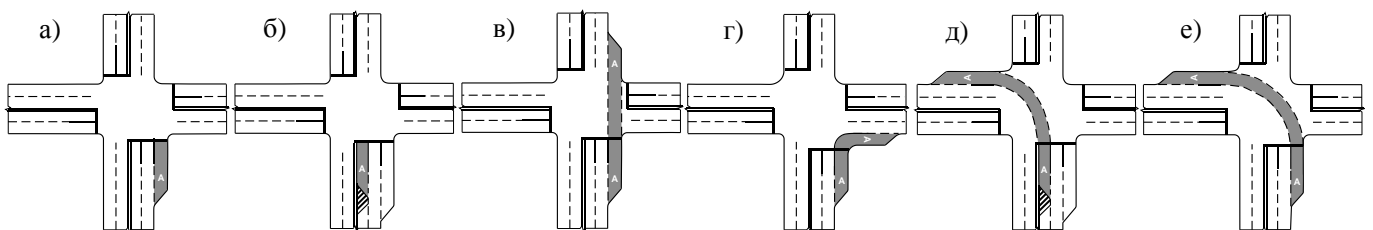


Рисунок 2 – Типи спеціальних смуг у зоні перехрестя першої та другої групи:
а – тип 1.1; б – 1.2; в – тип 2.1; г – 2.2; д – тип 2.3; е – 2.4

Крім забезпечення пріоритету на ізолюваних перехрестях, спеціальні смуги доцільно також впроваджувати на перетинах, які поєднані системою координованого керування. Особлива потреба у цьому з'являється тоді, коли зупинні пункти розташовані після двох суміжних перехресть, що об'єднані координованим керуванням, а ділянка координації, в яку вони входять, є з двома смугами руху в одному або обох напрямках. За таких умов, через неузгодженість часу руху автобусів між зупинками та дозволим сигналом у напрямку координації, можуть виникати затримки на суміжному перехресті. Тобто

забезпечити безупинний рух автобусів між двома сусідніми зупинками, при цьому не порушуючи координованого керування, є фактично неможливо. Тому для зменшення величини затримок автобусів як на живлячому, так і на суміжному перехрестях доцільно впроваджувати у їх зонах спеціальні смуги типу 2.1 (рис. 2, в).

Одним із ключових етапів впровадження методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» є визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до перехрестя, яка визначається на основі значень максимальної довжини черги ТЗ, що утворюється впродовж циклу на смузі, яка межуватиме із спеціальною.

Для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізольованого перехрестя розроблено імітаційну модель підходу(-ів) до перехрестя, яка написана мовою Objective-C у середовищі Xcode, і може використовуватися на iOS пристроях (iPhone, iPad). Модель реалізована у такий спосіб, що користувачу легко змінювати умови дослідження через зміну вхідних параметрів, зокрема тривалість періоду дослідження, кількість підходів до перехрестя (≤ 4) та кількість смуг на кожному з них (≤ 3), включаючи схему проїзду, геометричні параметри підходу, параметри регулювання та умови руху.

На рис. 3 наведено блок-схему алгоритму моделювання одного підходу до ізольованого перехрестя, яка обмежується однією смугою руху. При збільшенні кількості смуг алгоритм збільшується на відповідну кількість блоків моделювання, які виконуються паралельно, а при розгляді більше одного підходу алгоритм від підходу до підходу послідовно змінюється залежно від вхідних параметрів.

Алгоритм моделювання ґрунтується на моделі прибуття ТЗ до перехрестя, очікування у черзі та їх роз'їзд впродовж дії дозволеного сигналу. Основною його складовою є саме моменти надходження ТЗ до перехрестя, які виражаються у моделі через часові інтервали між автомобілями і розподіляються за логнормальним законом та складеним законом Гіпер-Ерланга, щільність якого задається таким виразом:

$$f(x) = \beta \cdot \lambda_1 e^{-\lambda_1(x-\tau)} + (1-\beta) \cdot \frac{\lambda_2^a}{(a-1)!} x^{a-1} \cdot e^{-\lambda_2 x} \quad x \in (0; +\infty), \quad (5)$$

де a , λ_1 , λ_2 – параметри закону розподілу ($a > 0$; $\lambda_1 = 1/\bar{x}$, $\lambda_2 = a/\bar{x}$); τ , \bar{x} – відповідно мінімальний та середній інтервал між ТЗ, с; β – частка ТЗ, які вільно прибувають до перехрестя (за результатами модельного експерименту та регресійного аналізу встановлено, що $\beta = 1,9610e^{-0,006N}$); N – інтенсивність руху, авт./год.

Модель видає значення усередненої максимальної довжини черги ТЗ (в автомобілях і метрах), що утворюється на початку дозволеного сигналу та впродовж циклу за k імітацій, а також максимальні їх значення.

За результатами перевірки адекватності розробленої моделі було встановлено, що значення черги, які вона видає, є аналогічними до тих, що визначаються за німецькими нормами HBS (на відміну від американських HCM) і близькими до тих, які видає VISSIM. Причому між значеннями за HBS і VISSIM не спостерігається значних розбіжностей та зберігається їхня динаміка на усій довжині діапазону інтенсивності, що розглядалася (з 300 до 800 авт./год). Якщо умови руху на підході

відповідають ступеню насичення 0,65, то найкращі результати досягаються тоді, коли часові інтервали між ТЗ, що надходять до перехрестя, розподіляються у моделі за законом Гіпер-Ерланга з параметром $a = 4$ та логнормальним законом (абсолютна різниця не перевищує відповідно 0,74 та 1,67 авт.), а при ступені насичення 0,9 – за законом Гіпер-Ерланга з параметром $a = 3$ (рис. 4). Через відмінність в ефективності використання законів розподілу за різних ступенів насичення, встановлено межі їх застосування (табл. 1).

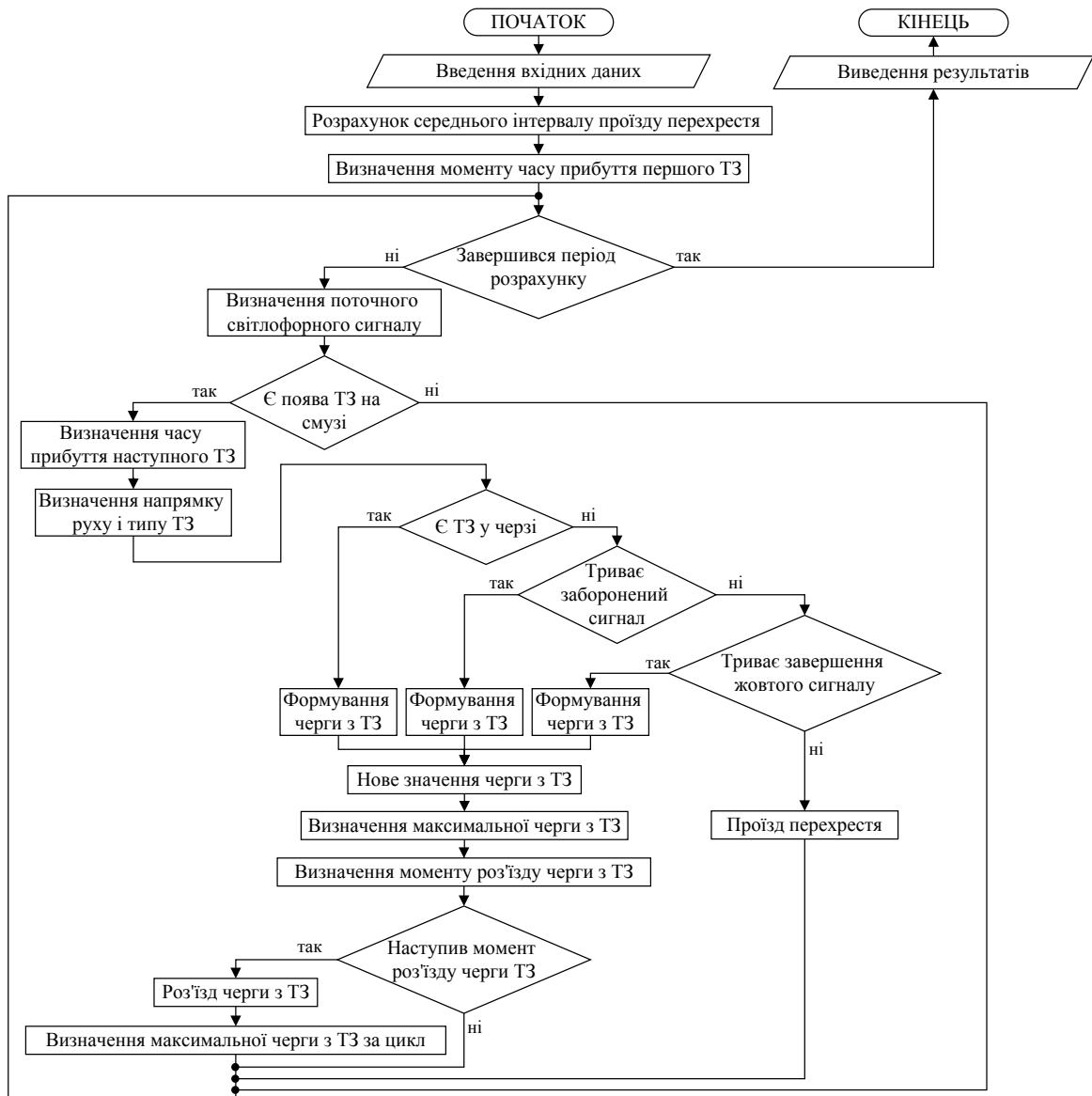


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму моделювання одного підходу до ізолюваного перехрестя

З використанням цієї моделі, на основі значень максимальної довжини черги ТЗ, що утворюється за цикл, визначено значення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до ізолюваного перехрестя для однорідного складу потоку за прийнятої довжини автомобіля 6 м та ступенів насичення, які змінюються від 0,75 до 0,95 з кроком 0,1 (рис. 5). Останній відповідає верхній межі нормальних умов руху на підході до перехрестя. З рис. 5 видно, що діапазон оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до ізолюваного перехрестя змінюється від 47 до 135 м.

Таблиця 1 – Межі застосування у моделі законів розподілу залежно від ступеня насичення

| Ступінь насичення | Закон розподілу |
|-------------------|--|
| $\leq 0,7$ | Гіпер-Ерланга з параметром $a = 4$, Логнормальний |
| $\leq 0,84$ | Гіпер-Ерланга з параметром $a = 2$ |
| $\leq 1,0$ | Гіпер-Ерланга з параметром $a = 3$ |

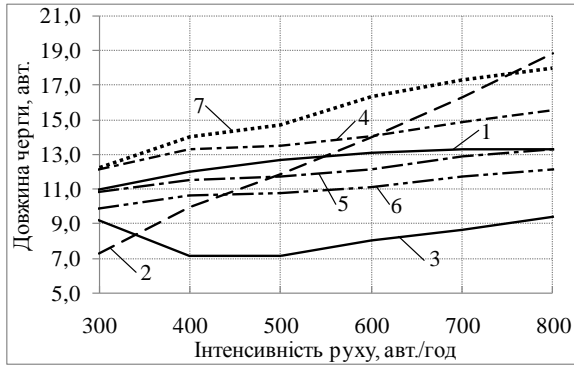


Рисунок 4 – Максимальна довжина черги при ступені насичення 0,9:

1 – за HBS; 2 – за НСМ; 3 – за логнормальним розподілом; 4, 5, 6 – за розподілом Гіпер-Ерланга відповідно з параметрами $a = 2$, $a = 3$, $a = 4$; 7 – за VISSIM

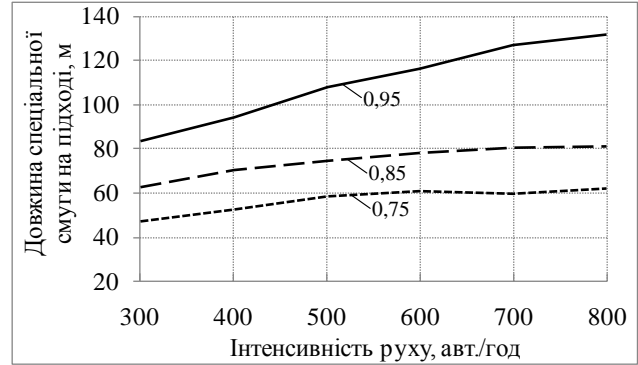


Рисунок 5 – Оптимальна довжина спеціальної смуги на підході до ізолюваного перехрестя (цифри на кривих – ступінь насичення на підході)

Для визначення максимальної довжини черги ТЗ на суміжному у напрямку координації перехресті розроблена імітаційна модель функціонування ділянки координації двох суміжних перехресть (також написана мовою Objective-C). Вхідними параметрами моделі є: тривалість періоду розрахунку; тип живлячого перехрестя (пересічення чи примикання); довжина ділянки координації; інтенсивність руху відповідно на живлячому та другорядних підходах з розподілом за смугами і напрямками руху та складу потоку; параметри регулювання на обох перехрестях; швидкість координації.

Модель створена у такий спосіб, що під час використання, користувач може легко змінювати усі вхідні параметри, проте вона є придатною лише для координованих ділянок з двома смугами руху в одному чи обох напрямках, де живлячий і другорядні підходи є ізолювані і на обох суміжних перехрестях однакова тривалість циклу.

Алгоритм моделювання функціонування ділянки координації умовно можна поділити на три етапи. На першому етапі визначається середній інтервал між ТЗ, які проїжджають стоп-лінію на живлячому та другорядному підходах і момент надходження першого ТЗ на цих підходах (поява наступних визначається на другому і третьому етапах), які розподіляються у моделі за законом Гіпер-Ерланга. На другому – імітується процес роботи другорядних підходів впродовж періоду ψ ($\psi = 900$ с), а після його завершення встановлюється відрізок часу, за який здійснюється роз'їзд середньої черги ТЗ на суміжному перехресті, і на основі цього

визначається фазовий зсув між двома перехрестями. На третьому етапі впродовж періоду T (як правило, 1 год) імітується процес функціонування ділянки координації, що включає роботу живлячого і другорядних підходів (виконуються аналогічно, як в алгоритмі на рис. 3), а також визначення максимальної довжини черги ТЗ на ділянці координації. Останнє ґрунтується на аналітичних дослідженнях процесу формування черги ТЗ на суміжному перехресті, згідно яких чергу на ньому утворюють ТЗ, що в'їжджають на ділянку координації від живлячого підходу та другорядних підходів.

Потрапляння у чергу ТЗ з другорядних підходів зумовлене принципами координованого керування, за якими їх в'їзд на ділянку координації відбувається тоді, коли у напрямку координації триває заборонений сигнал. Потрапляння усіх ТЗ чи певної їх частини залежить від параметрів керування між суміжними перехрестями, зокрема тривалості дозволених сигналів на обох перехрестях в напрямку координації та величини фазового зсуву. Аналізуючи ці часові параметри було встановлено, що не потрапити у чергу на суміжному перехресті можуть ТЗ, які стартують на другорядних підходах, і ті, що їх проїжджають наприкінці дозволеного сигналу. На основі часових параметрів обох перехресть у моделі визначаються ці відрізки часу, за які виконується виключення ТЗ з другорядних підходів, що не потрапляють у чергу на суміжному перехресті, тобто встановлення довжини черги ТЗ. Для визначення довжини черги, що утворюється з ТЗ, які прибувають із живлячого підходу, запропоновано таку формулу:

$$Q_{Ж_{ik}} = \begin{cases} \frac{(\tau_p + \tau_{\max} - t_{zc} - t_{z_1}) \cdot N_{zp}}{\tau_p + (\tau_{\max} - \tau_{\min})} & \text{при } Q_{Ж_{ik}} > 0, \\ 0 & \text{при } Q_{Ж_{ik}} < 0 \end{cases}, \quad (6)$$

де $Q_{Ж_{ik}}$ – довжина черги на i -й смузі суміжного перехрестя з ТЗ, що надійшли із живлячого підходу за k -й цикл, авт.; τ_{\min} , τ_{\max} – тривалість проїзду ділянки координації відповідно першого та останнього ТЗ групи, с; τ_p – тривалість роз'їзду групи на живлячому підході, с; N_{zp} – кількість ТЗ групи на живлячому підході за k -й цикл, авт.; t_{zc} – тривалість фазового зсуву, с; t_{z_1} – тривалість дозволеного сигналу на суміжному у напрямку координації перехресті, с.

Формула (6) побудована на основі тривалості проїзду автомобілів групи ділянки координації, які в імітаційній моделі розподіляються за нормальним законом з використанням такого виразу:

$$\tau_i = a + \sqrt{2\sigma^2} \cdot \text{erf}^{-1}(2y_i - 1) \quad y_i \in (0;1), \quad (7)$$

де τ_i – тривалість проїзду ділянки координації i -м ТЗ, с; a – тривалість проїзду ділянки координації зі швидкістю координації, с; σ – середнє квадратичне

відхилення тривалості проїзду ТЗ ділянки координації; $\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ – функція помилок; y_i – i -те випадкове число, що розподілене в інтервалі (0; 1).

Величину середньоквадратичного відхилення тривалості проїзду ТЗ ділянки координації σ визначає дотримання кожного автомобіля групи рекомендованої швидкості під час руху на ділянці координації, що, своєю чергою, залежить від багатьох чинників. Найбільший вплив на величину σ мають довжина ділянки координації L , кількість ТЗ у групі N_{gp} та її склад (кількість вантажних ТЗ у групі N_g), а також частка потоку прямого напрямку β_{ST} на живлячому підході.

З використанням програмного забезпечення VISSIM та створеної у ньому ділянки координації був визначений вплив цих чинників на тривалість проїзду автомобіля групи ділянки координації. За результатами моделювання розраховано значення σ і встановлено характер їх залежностей $\sigma(L)$, $\sigma(N_{gp})$, $\sigma(N_g)$ та $\sigma(\beta_{ST})$. Залежність $\sigma(L)$ і $\sigma(N_{gp})$ є нелінійною (поліноміальна регресія другого степеня), а $\sigma(N_g)$ та $\sigma(\beta_{ST})$, навпаки, – лінійною. Причому значення σ зростають при збільшенні L , N_g , але при зменшенні β_{ST} . Оскільки розглянуті чинники, які впливають на σ мають широкий діапазон значень, то для встановлення залежності $\sigma(L, N_{gp}, N_g, \beta_{ST})$ був проведений множинний регресійний аналіз, в результаті чого у моделі σ визначається за допомогою такого рівняння:

$$\sigma = 0,9281 - 0,0256N_{gp} + 0,0009N_{gp}^2 + 0,6214L + 2,5695L^2 + 0,0332N_g - 0,2363\beta_{ST}, \quad (8)$$

де N_{gp} – кількість ТЗ у групі на одній смузі, авт.; L – довжина ділянки координації, км; N_g – кількість вантажних автомобілів у групі, авт.; β_{ST} – частка потоку прямого напрямку.

Вихідними параметрами моделі є значення усередненої максимальної довжини черги ТЗ за k імітацій на суміжному у напрямку координації перехресті, яку утворюють ТЗ із живлячого підходу, другорядних підходів та сумарне їх значення.

У процесі перевірки адекватності моделі було встановлено, що значення максимальної довжини черги за моделлю, як при однорідному, так і різнорідному складі потоку, є дуже близькими до тих, що отримані з VISSIM (відхилення не перевищує 22%). При цьому ця відповідність забезпечується як між значеннями черги, що утворюють ТЗ із живлячого підходу, так і значеннями загальної максимальної довжини черги ТЗ (табл. 2). Адекватність цих результатів підтверджують достовірність прийнятої гіпотези, що черга, яку утворюють ТЗ із живлячого підходу, є прямо пропорційна до часової довжини групи, що потрапляє на заборонений сигнал суміжного перехрестя, та обернено пропорційна до середнього інтервалу між ТЗ у групі.

Важливим елементом функціонування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» є його ефективне доповнення в частині забезпечення пріоритетного проїзду площі перехрестя, що реалізується за допомогою алгоритмів керування світлофорної сигналізації і насамперед адаптивних. Такі алгоритми як продовження дозволеного сигналу та дострокового завершення забороненого при появі автобуса на підході є придатними тільки для спеціальних смуг другої групи у випадках, коли автобуси і непріоритетні ТП можуть пропускатися через перехрестя у безконфліктний спосіб в одній фазі. Алгоритм виклику спеціальної фази дає змогу забезпечити абсолютний і умовний пріоритет для усіх типів спеціальних смуг, що

впроваджуються у зоні перехрестя. Проте його застосування може створювати проблеми для інших учасників дорожнього руху, а ефективність функціонування залежить від умов руху на кожному підході та інтервалу руху між автобусами, що прибувають до перехрестя.

Таблиця 2 – Порівняння значень довжини черги ТЗ, авт.

| Модель | Черга із ТЗ живлячого підходу | | | | | | Максимальна черга на суміж. п-ті | | | | | |
|-----------------|---|------|------|------|------|------|----------------------------------|------|------|------|------|------|
| | довжина ділянки координації, м | | | | | | | | | | | |
| | 300 | | 400 | | 500 | | 300 | | 400 | | 500 | |
| | частка легкових автомобілів у потоці, % | | | | | | | | | | | |
| | 100 | 80 | 100 | 80 | 100 | 80 | 100 | 80 | 100 | 80 | 100 | 80 |
| VISSIM | 1,00 | 1,36 | 2,31 | 2,03 | 3,15 | 2,40 | 4,01 | 4,08 | 4,17 | 4,27 | 4,32 | 4,54 |
| | 1,19 | 1,48 | 2,65 | 2,12 | 4,09 | 3,64 | 4,10 | 4,26 | 4,41 | 4,56 | 4,63 | 4,75 |
| Objective -C | 1,11 | 1,47 | 2,48 | 2,79 | 3,96 | 4,19 | 4,09 | 4,12 | 4,73 | 4,97 | 5,34 | 5,56 |
| | 1,35 | 1,77 | 2,83 | 3,05 | 4,85 | 5,08 | 4,28 | 4,39 | 4,93 | 5,03 | 5,46 | 5,84 |

Для перевірки ефективності цього алгоритму у комбінації із спеціальною смугою у зоні перехрестя за різних умов руху використовувалося середовище VISSIM, в якому створено модель Х-подібного регульованого перехрестя з однією смугою руху на усіх підходах в обох напрямках та спеціальною смугою типу 2.1 (рис. 2, в). За результатами моделювання було встановлено, що зміна умов руху на підходах, яка кількісно виражається через ступінь насичення, впливає на середню затримку ТЗ на підході. Зокрема їх значення зростають із збільшенням ступеня насичення руху на підході та зменшенням інтервалу руху між автобусами (рис. 6, 7).

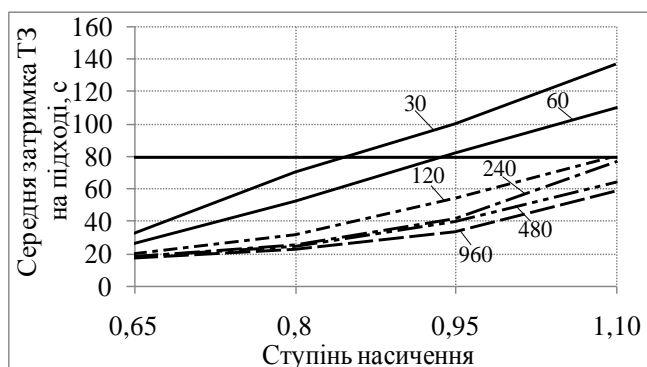


Рисунок 6 – Зміна середньої затримки ТЗ на підході до перехрестя від ступеня насичення (цифри на кривих – інтервал руху, с)

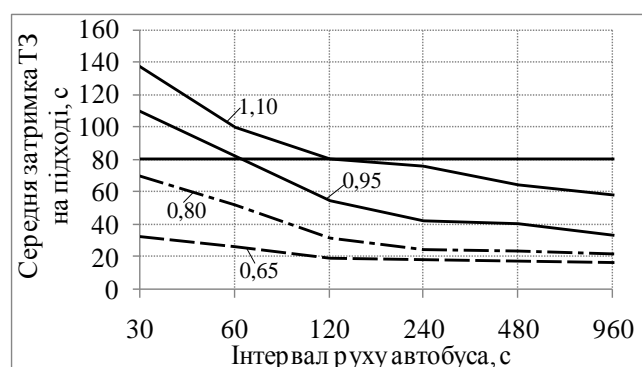


Рисунок 7 – Зміна середньої затримки ТЗ на підході до перехрестя від інтервалу руху між автобусами (цифри на кривих – ступінь насичення)

Враховуючи ці результати і проводячи на їхній основі регресійний аналіз, а також використовуючи граничне значення середньої затримки ТЗ на підході, яка за американськими нормами НСМ становить 80 с, встановлено межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя». З цієї області впливає, що, наприклад, при граничній межі нормальних умов руху на

кожному підході до перехрестя (ступінь насичення 0,95) інтервал руху між автобусами повинен бути більшим за 57 с.

У **четвертому розділі** наведено результати і 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. Також наведено результати досліджень щодо ефективності застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» на Х-подібному ізольованому перехресті вул. Маземи – Миколайчука (м. Львів).

Транспортна модель міста у VISUM складається з моделі пропозиції (ВДМ, мережі маршрутів ГТ, розкладів їх руху та зупинок) і моделі попиту для внутрішньої області дослідження (на індивідуальний транспорт (ІТ), ГТ, велосипедний та пішохідний рух, вантажний транспорт (ВТ)) та кордонних районів (ІТ, ГТ, ВТ). Модель попиту створена за 4 ступеневою моделлю попиту, причому створення транспортного руху (І етапу 4 ступеневої моделі) виконувався за методикою Д.Лозе, яка передбачає поділ попиту на шари попиту, кожен з яких відображає один із 19 найхарактерніших джерело-ціль переміщень у просторі міста впродовж доби (наприклад, дім – робота, дім – магазин, дім – дозвілля тощо). Моделювання попиту виконувалося на основі просторово-структурних даних (населення, робочі місця, торгові площі тощо) та показників транспортної рухомості населення, що встановлені за результатами опитування, в якому брали участь 1800 респондентів.

За допомогою цієї моделі у VISUM та її даних, а також використовуючи умови трьох запропонованих критеріїв була перевірена доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах частини вул. Стрийська в обох напрямках у ранковий і вечірній піки та непіковий період. При цьому встановлення доцільності за критерієм II здійснювалося за нерівністю (1), а на основі формули (4), що вбудована у середовищі VISUM визначено зміну інтенсивності ТП на неперіоритетних смугах і їх розподіл на елементах ВДМ. На основі цих результатів визначений рівень завантаження на неперіоритетних смугах і встановлена доцільність функціонування спеціальних смуг за критерієм III. Після цього визначалася експлуатаційна швидкість автобуса за відсутності і наявності спеціальних смуг на перегонах вулиць у ранковий і вечірній піки (рис. 8) та у непіковий період. За цими результатами встановлено, що впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць визначеної ділянки дає змогу зменшити тривалість руху автобусів на 23 – 25%.

Регульоване перехрестя вул. Маземи – Миколайчука, що використовується для дослідження ефективності методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя», має на кожному підході одну смугу руху в обох напрямках, і через нього, у різних його напрямках, проходить 13 автобусних та 1 тролейбусний маршрути. Найбільший інтервал руху між автобусами, що проїжджають перехрестя, становить 690 с, а найменший – 100 с. Для забезпечення просторово-часового пріоритету автобусам на цьому перехресті пропонується впровадити у його зоні спеціальні смуги типу 2.1 (рис. 2, в) на вулиці Маземи в обох напрямках і спеціальну смугу типу 2.2 та 2.4 на одному підході вулиці Миколайчука (рис. 9). Пріоритет у часі пропонується забезпечувати за допомогою адаптивного алгоритму виклику спеціальної фази (рис. 10). Водночас для оптимального керування неперіоритетними ТП на перехресті цей

алгоритм поєднується із алгоритмом пошуку часового розриву у потоці та алгоритмом зміни чергування фаз.

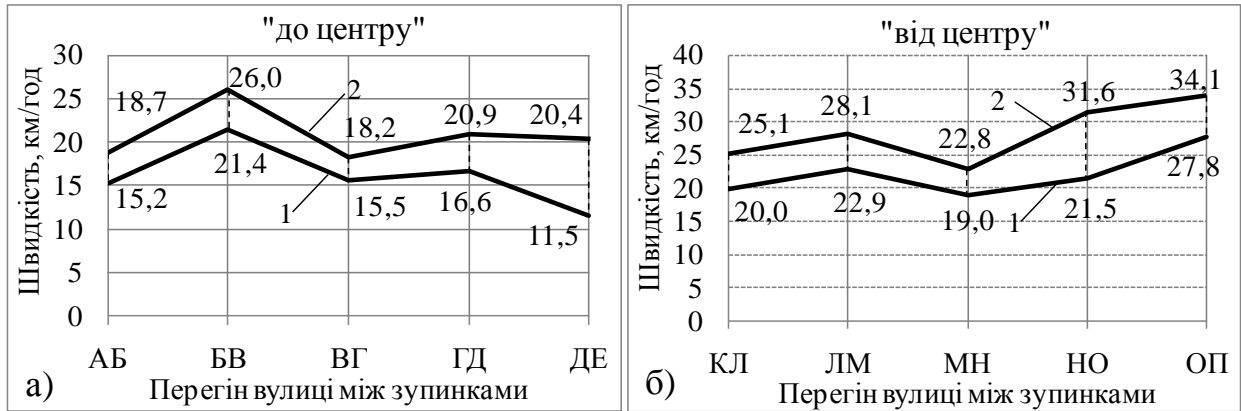


Рисунок 8 – Експлуатаційна швидкість автобуса у ранковий (а) та вечірній (б) пікі: 1, 2 – відповідно відсутність та наявність спеціальних смуг

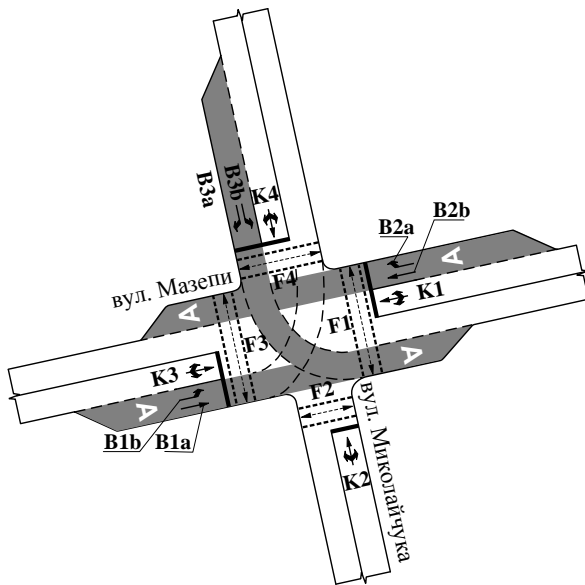


Рисунок 9 – Параметри перехрестя за наявності у його зоні спеціальних смуг

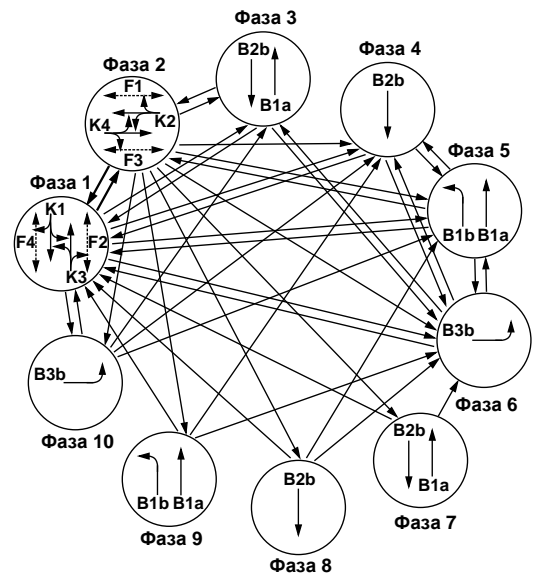


Рисунок 10 – Послідовність зміни фаз

Щоб перевірити ефективність цих пропозицій, використовується середовище VISSIM, в якому була створена модель цього перехрестя. У модель закладалися значення інтенсивності транспортних і пішохідних потоків, а також інтервали руху між автобусами, що відповідають існуючим умовам на перехресті в ранкову годину пік. Для порівняльного аналізу у VISSIM додатково була створена модель цього ж перехрестя без наявності спеціальних смуг у його зоні з адаптивним керуванням за алгоритмом пошуку розриву у потоці на усіх підходах при двофазному роз'їзді транспортних і пішохідних потоків, в яку закладені такі ж вхідні дані. За результатами моделювання встановлено, що застосування такого методу дає змогу зменшити на 87% (з 47,22 до 6,24 с) середню затримку автобуса на перехресті порівняно з адаптивним керуванням без забезпечення пріоритету. У той же час середня затримка ТЗ збільшується на 19% (з 50,53 до 60,07 с).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі виконане актуальне наукове завдання, яке полягає у визначенні та обґрунтуванні критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць і розробленні методу, що забезпечує автобусам просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях. Проведені у дисертаційній роботі дослідження дають змогу зробити такі висновки:

1. Обґрунтовано, що в якості основного критерію впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць доцільно використовувати не інтенсивність руху автобусів, а мінімальний обсяг пасажиропотоку. Визначено діапазон його значень (від 960 – 5434 пас./год) і запропоновано емпіричну формулу для розрахунку цього показника залежно від дорожньо-транспортних умов на перегонах вулиць. Доведено, що стан потоку на неперіоритетних смугах руху доцільно визначати рівнем завантаження руху, допустима область якого не перевищує 0,75 завантаження перегону вулиці, а основним етапом його розрахунку є визначення зміни інтенсивності руху на неперіоритетних смугах.

2. Розроблено та формалізовано метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя», що дає змогу забезпечити маршрутним автобусам просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях (здебільшого ізольованих), а також встановлено межі області його ефективного застосування. Запропоновано шість основних типів таких спеціальних смуг і встановлено, що ключовим етапом впровадження є визначення оптимальної їх довжини на підході до перехрестя.

3. Розроблено імітаційні моделі для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізольованого та координованого регульованого перехрестя, за значеннями яких визначається оптимальна довжина спеціальної смуги на відповідному підході. Значення черги ТЗ за імітаційною моделлю для ізольованих перехресть є аналогічними до тих, що визначаються за німецькими нормами HBS (відхилення не перевищує 7,5%) і близькими до тих, які видає VISSIM, причому найкращі результати досягаються, якщо часові інтервали між ТЗ, що надходять до перехрестя, розподіляються за законом Гіпер-Ерланга з параметром $a = 3$. Імітаційна модель для координованого перехрестя адекватно відтворює на ньому реальний процес (утворення груп ТЗ на живлячому підході, їх деформація на суміжному та виключення з нього ТЗ з другорядних підходів, які не потрапляють у чергу) і визначає значення максимальної довжини черги аналогічні до тих, що видає VISSIM (відхилення не перевищує 22%).

4. На основі даних розробленої транспортної моделі міста у VISUM та запропонованих критеріїв проведено оцінку доцільності впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиці, за якою встановлено, що вони дають змогу зменшити тривалість руху автобусів на 23 – 25%, що, своєю чергою, доводить переваги запропонованих критеріїв та їх придатність для застосування на практиці.

5. Отримані результати досліджень свідчать про те, що застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» на ізольованому регульованому перехресті дає змогу зменшити на 87% середню затримку автобусів порівняно з адаптивним керуванням без забезпечення пріоритету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних науково-метричних баз

1. Зубачик Р.М. Розробка основного критерію впровадження спецсмуг на перегонах вулиць для громадського транспорту / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Східно-Європейський журнал передових технологій: науковий журнал. – Харків: технологічний центр. – 2011. – № 6/4 (54). – С. 28–34.

2. Зубачик Р.М. Розробка методу забезпечення пріоритету маршрутним автобусам на регульованих перехрестях / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Східно-Європейський журнал передових технологій: науковий журнал. – Харків: технологічний центр. – 2013. – № 5/3 (65). – С. 27–33.

3. Зубачик Р.М. Дослідження ефективності критеріїв впровадження спеціальних смуг для автобусів з використанням VISUM / Р.М. Зубачик // Східно-Європейський журнал передових технологій: науковий журнал. – Харків: технологічний центр. – 2014. – № 5/3 (71). – С. 48–54.

4. Зубачик Р.М. Анализ эффективности метода «специальная полоса в зоне перекрестка» на реальном регулируемом пересечении / И.А. Викович, Р.М. Зубачик // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: науч.-произв. журн. Наука и транспорт. – Гомель, 2014. – № 2 (29). – С. 44–48.

Статті у фахових виданнях

5. Зубачик Р.М. Про координоване управління транспортними потоками на вулично-дорожній мережі міста / М.Ф. Дмитриченко, І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Вісник Національного транспортного університету: науково-технічний збірник. – К.: НТУ. – 2010. – № 21, Ч.2. – С. 67–72.

6. Зубачик Р.М. Оцінка функцій спеціальних смуг в умовах вулично-дорожньої мережі міста / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту: науковий журнал. – 2011. – №2. – С. 81–89.

7. Зубачик Р.М. Спосіб забезпечення пріоритетних умов руху на вулично-дорожній мережі міста під час спеціальних пасажирських перевезень / Р.М. Зубачик // Автошляховик України: науковий журнал. – 2011. – №4. – С. 16–20.

8. Зубачик Р.М. Розробка алгоритму дій щодо впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиці для громадського транспорту / М.Ф. Дмитриченко, І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Вісник Національного транспортного університету: науково-технічний збірник. – К.: НТУ. – 2011. – № 23, Ч.2. – С. 15–22.

9. Зубачик Р.М. Моделювання попиту на індивідуальний та громадський транспорт з використанням програмного забезпечення VISUM // І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля: науковий журнал. – 2012. – № 6 (177), Ч.1. – С. 193–203.

10. Зубачик Р.М. Розробка імітаційної моделі для визначення максимальної довжини черги транспортних засобів / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірник наукових праць. – Харків, 2013. – № 70(1043). – С. 48–59.

Статті у інших виданнях

11. Зубачик Р.М. Розроблення імітаційної моделі для визначення максимальної довжини черги автомобілів на координованому перехресті / І.А. Вікович, Р.М.

Зубачик // Технологічний аудит та резерви виробництва: науковий журнал. – Харків: технологічний центр. – 2013. – № 6/1 (14). – С. 19–26.

12. Зубачик Р.М. Визначення ефективності методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» з позиції забезпечення пріоритету у часі / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик, Д.О. Беспалов // Технологічний аудит та резерви виробництва: науковий журнал. – Харків: технологічний центр. – 2014. – № 5/1(19). – С. 40–45.

Тези доповідей на конференціях

13. Зубачик Р.М. Новий підхід до використання спеціальних смуг для вирівнювання складу транспортного потоку на ВДМ міст / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Логістика промислових регіонів». – Донецьк – Святогірськ: ДААТ, 2011. – С. 238–241.

14. Зубачик Р.М. Удосконалення руху громадського транспорту шляхом організації «швидких автобусних перевезень» на існуючій вулично-дорожній мережі міста / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Забезпечення руху та комфорту дорожнього руху: проблеми та шляхи вирішення». – Харків: ХНАДУ, 2011. – С. 73–77.

15. Зубачик Р.М. Деякі аспекти впровадження спеціально виділених смуг на вуличній мережі міста / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». – Вінниця: ВНТУ, 2011. – С. 24–26.

16. Зубачик Р.М. Визначення доцільності впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць для громадського транспорту / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти». – Донецьк: ДААТ, 2011. – С. 229–234.

17. Зубачик Р.М. Моделювання попиту на індивідуальний та громадський транспорт з використанням програмного забезпечення VISUM / Р.М. Зубачик // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики». – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2012. – С. 20–28.

18. Зубачик Р.М. Імітаційна модель для визначення максимальної довжини черги транспортних засобів та ізольованому перехресті / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі». – Донецьк: ДААТ, 2013. – С.124–127.

19. Зубачик Р.М. Особливості методу «спеціальна смуга в зоні перехрестя» для забезпечення пріоритетного руху на регульованих перехрестях / І.А. Вікович, Р.М. Зубачик // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». – Вінниця: ВНТУ, 2013. – С. 106–108.

АНОТАЦІЯ

Зубачик Р. М. Вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. Національний транспортний університет. – Київ. – 2015.

Дисертація присвячена визначенню та обґрунтуванню критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць для маршрутних автобусів та розроблення методу, що забезпечує їм просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях.

Доведено, що доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць слід визначати за трьома критеріями, причому за основний – потрібно використовувати показник мінімальний обсяг пасажиропотоку, для визначення якого запропонована формула, що дозволяє враховувати умови руху на перегонах. З їх використанням та за розробленою транспортною моделлю міста у VISUM встановлено, що вони дають змогу зменшити тривалість руху автобусів на 23 – 25%.

Запропоновано метод «спеціальна смуга в зоні перехрестя», який дає змогу забезпечити просторово-часовий пріоритет автобусам на регульованих перехрестях (здебільшого ізольованих), особливо підходи яких мають не більше двох смуг руху в одному напрямку, а також встановлено межі області його ефективного застосування. Запропоновано шість основних типів таких спеціальних смуг, і розроблені імітаційні моделі для визначення максимальної довжини черги автомобілів на підході до ізольованого та координованого регульованого перехрестя, за значеннями яких визначається оптимальна довжина спеціальної смуги на відповідному підході.

Ключові слова: спеціальна смуга, забезпечення пріоритету автобусу, перегін вулиці, регульоване перехрестя, маршрутний автобус.

АННОТАЦІЯ

Зубачик Р.М. Совершенствование методов обеспечения приоритетного движения для маршрутных автобусов на улично-дорожной сети города. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. Национальный транспортный университет. – Киев. – 2015.

Диссертация рассматривает совершенствование методов обеспечения приоритетного движения для маршрутных автобусов на улично-дорожной сети города, где в первую очередь это внедрение специальных полос на перегонах улиц и обеспечение приоритета на регулируемых перекрестках. Их реализация позволяет повысить качество перевозочного процесса на автобусах, и тем самым снизить загрузку уличных сетей из-за сокращения объемов использования индивидуальных автомобилей. Совершенствование методов осуществляется путем определения и обоснования критериев внедрения специальных полос на перегонах улиц и разработка метода, обеспечивающего автобусам пространственно-временной пріоритет на регулируемых перекрестках.

По результатам исследований установлено, что целесообразность внедрения специальных полос на перегонах улиц следует определять по трем критериям, причем в качестве основного – необходимо использовать показатель минимальный объем пассажиропотока, для определения которого предложено формулу, позволяющую учитывать условия движения на перегонах улиц. С их использованием и разработанной транспортной моделью города в VISUM

установлено, что они позволяют уменьшить продолжительность движения автобусов на 23 – 25%.

Предложен метод «специальная полоса в зоне перекрестка», который позволяет обеспечить пространственно-временной приоритет автобусам на регулируемых перекрестках (в основном изолированных), подходы которых имеют не более двух полос движения в одном направлении, а также установлены границы области его эффективного применения. Предложено шесть основных типов таких специальных полос, где основным этапом их внедрения является определение оптимальной длины на подходе к перекрестку. Разработаны имитационные модели для определения максимальной длины очереди автомобилей на подходе к изолированному и координированному перекрестку (написанные на языке программирования Objective-C), по значениям которых определяется оптимальная длина специальной полосы. Результаты показывают, что применение этого метода на изолированном перекрестке позволяет уменьшить на 87% среднюю задержку автобуса по сравнению с адаптивным управлением без обеспечения приоритета.

Ключевые слова: специальная полоса, обеспечение приоритета автобусу, перегон улицы, регулируемый перекресток, маршрутный автобус.

SUMMARY

Zubachyk R. Improving of methods that ensure the priority traffic for buses on the city street network. – Manuscript.

Dissertation for the Candidate of Technical Sciences degree by specialty 05.22.01 – transport systems. National Transport University. – Kyiv, 2015.

This dissertation is devoted to definition and justification of criteria for the application of special bus lanes on spacing of the streets for buses, and method development which provides space-time priority on signalized intersections.

In this dissertation the author proves that the appropriateness of the implementation of special bus lanes on the spacing of the streets should be determined by three criteria, and the principal one lies in the fact that it is necessary to use minimum volume of traffic flow, for the determination of which a formula is proposed that provides the opportunity to take into account traffic conditions on the spacing of the streets. It is demonstrated in the dissertation that with their use and with the developed transport model of the city in VISUM, it is possible to reduce the duration of bus traffic to 23 – 25%.

The method of "special bus lanes within the area of intersection" was introduced in the dissertation, which enables space-time priority for buses at signalized intersection (mostly isolated), especially if the approaches of which have no more than two traffic lanes in one direction. Also the boundaries of its effective use are determined. The author suggests six basic types of such special lanes. In this dissertation the author develops simulation models to determine the maximum length of the queue of cars on the way to an isolated and signalized intersection, according to the results of which optimal length of the special bus lane on the appropriate approach is determined.

Key words: special bus lane, bus priority, spacing of the street, signalized intersection, commuter buses.