

Євчук Ю.Ю.

Національний університет «Львівська політехніка»

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ЗАТРИМКИ РУХУ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ЙОГО ПРІОРИТИЗАЦІЇ

У роботі досліджено особливості руху громадського транспорту на магістральних вулицях із координованим управлінням рухом. Особливу увагу приділено аналізу впливу схем розміщення зупинкових пунктів на ефективність функціонування транспортної системи. Мета дослідження полягає у пошуку оптимальних рішень для зменшення затримок громадського транспорту, зокрема автобусів, за умов забезпечення просторової і часової пріоритизації.

Під час дослідження виявлено, що затримки руху залежать від низки чинників, серед яких інтенсивність руху громадського транспорту та загального потоку, динамічні характеристики транспортних засобів, синхронізація фаз світлофорного регулювання, а також місце розташування зупинкових пунктів. Перенесення зупинок після перехресть у поєднанні з забезпеченням просторового пріоритету шляхом виділення смуги для руху громадського транспорту призводить до значного зменшення затримок як для автобусів, так і для автомобілів загального транспортного потоку, підвищуючи стабільність руху у системах координованого управління.

Результати дослідження, які базуються на натурних вимірюваннях та імітаційному моделюванні у середовищі PTV VISSIM, демонструють значні переваги перенесення зупинкових пунктів громадського транспорту після регульованих перехресть. Це дозволяє зменшити середню тривалість проїзду зони регульованого перехрестя автобусами на 50–55% у порівнянні з розташуванням зупинок перед перехрестями.

Практичне значення отриманих результатів полягає у запропонованні нових підходів до організації руху громадського транспорту. Зокрема, перенесення зупинок після перехресть дозволяє оптимізувати транспортні потоки, зменшити затримки для громадського транспорту, а також знизити негативний вплив пріоритизації його руху на загальний транспортний потік. Це рішення можна успішно реалізувати на магістральних вулицях із координованим управлінням рухом.

Результати дослідження є важливими для міських агломерацій, де необхідно забезпечити високу пропускну здатність доріг і водночас покращити якість громадського транспорту. Запропоновані підходи сприяють зниженню заторів, скороченню часу проїзду громадським транспортом регульованих перехресть, а також створюють умови для більш стабільного функціонування транспортної системи в умовах високої інтенсивності руху.

Ключові слова: громадський транспорт, транспортний потік, регульоване перехрестя, виділена смуга, рівень автомобілізації, інтенсивність руху, склад транспортного потоку, часова пріоритизація, просторова пріоритизація.

Постановка проблеми. На цей час відомо багато різноманітних наукових методів та інженерних практик щодо мінімізації затримки міського наземного громадського транспорту. Застосовуючи різноманітні способи просторової та часової пріоритизації, вдається зменшити простої рухомого складу на регульованих ділянках міських вулиць, збільшити його швидкість на прогонах, а відтак, продуктивність роботи. Одночасне використання сучасних детекторів транспорту, інформаційних систем з GPS-навігацією, електронних систем оплати за проїзд тощо дає можливість розробляти нові підходи у напрямку часової пріоритизації, коли на світлофорних об'єктах рухомий склад проїжджає стоп-лінії з найменшими затримками. Заслужують на увагу також окремі

практики забезпечення просторової пріоритизації, коли облаштовуються виділені смуги руху для громадського транспорту.

Рівень розвитку транспортної системи міста визначається цілим рядом чинників [1, с. 44; 2, с. 23]: галузевою правовою базою; рівнем автомобілізації; принципами організації дорожнього руху; політикою містобудування та землекористування; дорожньою інфраструктурою; організацією і управлінням роботою міського громадського транспорту тощо. У цьому дослідженні основна увага зосереджена на одному з напрямків зниження завантаження рухом транспортної мережі міста, суть якого полягає у підвищенні привабливості громадського транспорту. У статті [3, с. 22] наведено детальний порівняльний аналіз

між різними підходами до транспортного планування, за яких забезпечується мультимодальність, краща транспортна доступність, удосконалення функціональності транспорту тощо. Усі ці заходи у довготерміновій перспективі мають забезпечити переорієнтацію мобільності мешканців з приватного транспорту на громадський, який здатний задовільнити попит на пересування великої кількості людей територією міста, особливо, коли резерви пропускної здатності є практично вичерпані. Кінцевою метою цих заходів є зменшення витрат часу на пересування.

Аналіз останніх досліджень з цієї проблематики показує, що науковці зосередили свої зусилля за такими трьома основними напрямками:

- управління інтенсивністю руху, вирівнюючи склад транспортного потоку шляхом спеціалізації смуг руху та проїзних частин з одночасним переплануванням вуличного простору;

- часова та (або) просторова пріоритизація громадського транспорту залежно від геометричних параметрів проїзної частини та величини пасажирського потоку;

- координоване управління рухом, виходячи з показників щільності вулично-дорожньої мережі, з одночасним забезпеченням пріоритету для громадського транспорту.

Усі вони дозволяють частково розв'язати проблеми з затримками руху на локальному та зональному рівнях, зменшуючи тривалість проїзду транспортних засобів через проблемні ділянки вулично-дорожньої мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Щодо першого із зазначених напрямків мінімізації затримок під час пересування, то тут основну увагу зосереджують на вивченні рівня автомобілізації, вирівнювання складу потоку в межах вуличного простору тощо. Так, у роботі [4, с. 43] автори відзначають важливість досліджень складу транспортного потоку під час вибору схеми організації дорожнього руху, адже цей показник характеризує його динамічні показники. Результати їх досліджень свідчать про тісний зв'язок між відносним складом потоків за типами транспортних засобів та показниками черг і затримок на перехрестях. Відтак, кожен спосіб управління рухом має різну ефективність залежно від складу та інтенсивності руху. Для міських умов найбільший вплив на динаміку руху потоку має громадський транспорт. Проте, результати цього дослідження є придатними лише для локального рівня, тобто окремих перехресть.

У статті [5, с. 16] увага акцентується відразу на кількох показниках: рівні автомобілізації, мобіль-

ності мешканців, тривалості перебування в русі та вартості пересування. Тут попит на пересування вивчається шляхом проведення опитувань різних груп мешканців – економічно активних людей, несамодіяльних мешканців, осіб, які навчаються. Відзначається, що залежно від групи рівень сприйняття кожного із зазначених показників є різним. До прикладу, для економічно активних людей тривалість перебування в русі є більш важливим чинником у порівнянні з вартістю пересування, ніж для несамодіяльного населення. Такі дослідження дають можливість прогнозувати перерозподіл між поїздками приватними автомобілями та громадським транспортом.

Питання взаємного зв'язку між інтенсивністю руху та затримками, вираженими через довжину черги, розглянуто у роботі [6, с. 9]. Тут автори займаються вивченням шляхів мінімізації затримки через управління роботою світлофорної сигналізації на різних типах перехресть, тобто на локальному рівні. Схожими є результати, наведені у роботах [7, с. 10; 8, с. 13], у яких управління затримками за різної інтенсивності руху на регульованих перехрестях відбувається шляхом вирівнювання складу транспортного потоку.

На відміну від першого напрямку діяльності з мінімізації затримок у транспортних потоках, який переважно вивчає локальний характер, другий (пріоритизація громадського транспорту) вивчає і локальний, і зональний. Надання різних способів пріоритету громадському транспорту забезпечує одночасно вирівнювання складу транспортного потоку, застосування ефективніших алгоритмів керування світлофорною сигналізацією, зменшення затримок, що робить його більш привабливим під час вибору способу пересування містом. У дослідженнях [9, с. 34; 10, с. 406; 11, с. 27; 12, с. 48] розглядається часова пріоритизація громадського транспорту, коли на під'їзді до регульованого перехрестя йому надається пріоритет проїзду у певній фазі. Такий часовий пріоритет може бути активний (надання дозвільного сигналу у циклі регулювання в режимі реального часу), пасивний (оптимізація циклу регулювання шляхом перерозподілу дозвільного сигналу між фазами), частковий (видовження тривалості дозвільного сигналу в очікуванні проїзду рухомого складу громадського транспорту), безумовний (пріоритет надається завжди) та умовний (пріоритет надається лише у випадку відставання від встановленого графіку руху) пріоритети. Часова пріоритизація може бути як локальною, так і зональною. Просторова пріоритизація перед-

бачає облаштування виділених смуг і є найбільш ефективною (з погляду суттєвого зменшення витрат часу на пересування), коли забезпечена на всій протяжності маршруту [13, с. 11]. Поряд із цим, найкращий ефект вдається досягти за одночасного поєднання і часової, і просторової пріоритизації. Такий підхід розглядається дослідниками у працях [14, с. 1464; 15, с. 390]. Тут розглядається мережевий (зональний) підхід до мінімізації затримок в русі громадського транспорту і передбачає беззупинний проїзд рухомого складу. Він має найбільший ефект при координованому управлінні рухом і потребує впровадження вартісних автоматизованих систем управління ним, які в режимі реального часу можуть забезпечувати моніторинг роботи громадського транспорту за одночасного моніторингу черг транспортних засобів у виділених смугах, смугах загального транспортного потоку та кількості пасажирів у рухомому складі.

Постановка завдання. Метою цього дослідження є визначення та аналіз витрат часу на проїзд регульованих перехресть громадським транспортом (автобусами) в умовах координованого управління рухом з урахуванням показників транспортного потоку та способу облаштування зупинкових пунктів. Основними завданнями дослідження є: провести натурні вимірювання показників транспортного потоку на підходах до регульованих перехресть; виявити закономірності зміни затримки руху громадського транспорту під час проїзду перехресть в системі координації за різного способу розміщення зупинкових пунктів; провести імітаційне моделювання процесу роз'їзду черги загального транспортного потоку та автобусів в системі координації.

Виклад основного матеріалу. У системах координованого управління рухом головним завданням є забезпечення проїзду транспортних засобів через всі регульовані перехрестя та пішохідні переходи, які складають цю систему, з найменшими затримками. За будь якого випадку затримки виникатимуть, оскільки групи транспортних засобів мають різні динамічні показники. Як правило, на практиці відстані між сусідніми стоп-лініями є неоднаковими і за великої протяжності (понад 600 м) групи розпадатимуться, особливо при значній неоднорідності транспортного потоку. Інтенсивність руху за таких умов немає великого впливу, за виключенням випадків зі значною часткою лівоповоротних транспортних засобів, оскільки в умовах світлофорного регулювання «впуск» групи через стоп лінію є обмежений тривалістю дозвільного (зеленого)

сигналу на «ключовому» перехресті. На міських магістральних вулицях, де координація є можливою, у транспортному потоці часто рухається громадський транспорт. Забезпечення йому беззупинного проїзду за координованого управління часто не вдається, оскільки цей вид транспорту має регламентовані зупинки, де відбувається посадка та висадка пасажирів. Виходячи з цього, стрічки часу необхідно проектувати адаптовано під автобуси (або тролейбуси). Таким чином, для громадського транспорту необхідно забезпечити і просторовий пріоритет у вигляді облаштованих виділених смуг руху, і часовий – з використанням детекторів транспорту, які фіксуватимуть наближення рухомого складу до перехрестя. З метою визначення характеру руху потоку за таких умов та основних чинників впливу на стійкість груп в системі координованого управління проведено дослідження на ділянках магістральної вуличної мережі міста Львова.

Початковим етапом виконання роботи був вибір об'єктів дослідження – регульованих перехресть, на яких проводились вимірювання. Вибір відбувався за такими критеріями:

1. На підході до перехрестя має бути дві смуги руху на досліджуваному напрямку, причому на перехрестях умовного типу I смуги спеціалізуються за прикладом, наведеним на рис. 1, а, а на перехрестях умовного типу II крайня права смуга призначена для руху виключно громадського транспорту (рис. 1, б).

2. Досліджуваним напрямком обраного регульованого перехрестя мають проходити не менше 5 маршрутів громадського транспорту.

3. Перед стоп-лінією на напрямку руху під час дії заборонного сигналу світлофора має накопичуватись черга транспортних засобів такої довжини, щоб під час її роз'їзду досягалось повне насичення у фазі регулювання.

4. У складі транспортного потоку не має бути великогабаритних вантажних автомобілів, а частка легкових автомобілів у ньому має становити не менше 80%.

5. Зупинкові пункти громадського транспорту облаштовано у заїзних кишенях на підході до регульованого перехрестя.

6. Інтенсивність руху пішоходів на пішохідному переході, через який проїжджають правоповоротні транспортні засоби, є незначною і практично не створює затримку на правій смузі. Лівоповоротні потоки на перехресті не пропускаються із прямими потоками зустрічного напрямку в одній фазі.

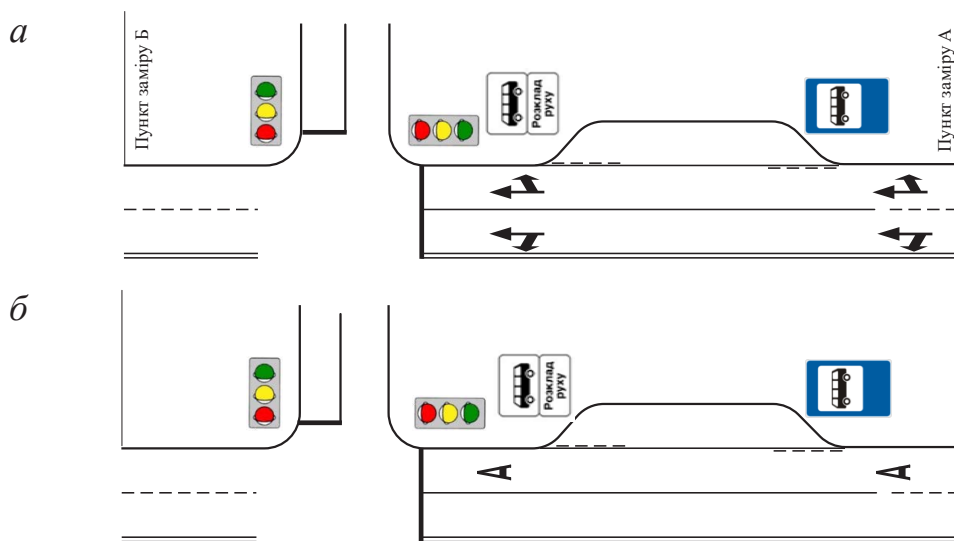


Рис. 1. Планувальні особливості проїзної частини на досліджуваних регульованих перехрестях: а – тип I; б – тип II

Виходячи з наведених критеріїв, обрано 4 підходи до 4 регульованих перехресть з тривалістю фази регулювання на цих підходах відповідно: для типу I – перехрестя 1 – 25 с (тривалість циклу 60 с); перехрестя 2 – 20 с (тривалість циклу 65 с); для типу II – перехрестя 3 – 30 с (тривалість циклу 70 с); перехрестя 4 – 35 с (тривалість циклу 80 с). Проведено вимірювання за 50 циклів на кожному перехресті. Вимірювання відбувалось з дотриманням такої методики:

1. У момент ввімкнення заборонного сигналу на досліджуваному напрямку фіксувались транспортні засоби, які накопичувались у чергу в обох смугах. Під час проведення 5 контрольних замірів на початку вимірювання встановлено, що при дозвільному сигналі тривалістю 20 с (найменша з усіх досліджуваних перехресть) через стоп-лінію встигає пройти не більше 12 транспортних засобів змішаного загального потоку. Такі контрольні заміри під час експериментального вимірювання необхідні для орієнтовної ідентифікації автомобілів та автобусів, за якими буде вестись спостереження щодо тривалості проїзду через стоп-лінію (окрім правої смуги для перехресть типу II). Виходячи із цього, вдається зафіксувати розміщення пункту заміру А.

2. Із ввімкненням дозвільного сигналу фіксувався проїзд кожного транспортного засобу з черги у пункті заміру Б (розміщений на віддалі 20 м за перехрестям).

3. Використовуючи відеокамери, між якими було узгоджено часові показники секундоміра,

фіксувались: тривалість проїзду кожного транспортного засобу між пунктами заміру А та Б; кількість та тип транспортних засобів, які перетнули стоп-лінію у кожному напрямку або проїхали прямо.

4. Під час розрахунку фактичної інтенсивності виїзду транспортних засобів з досліджуваної смуги для кожного перехрестя враховувалась кількість циклів протягом однієї години.

5. Розрахунок зведеної інтенсивності руху відбувався із використанням коефіцієнтів зведення, наведених у таблиці 4.1 ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів».

6. Розрахунок середньої тривалості проїзду перехрестя одним транспортним засобом включає в себе проміжок часу, за який він проїде між пунктами заміру А та Б.

Зведені результати вимірювань наведено у таблиці 1. Аналізуючи результати можна сказати, що на тривалість проїзду одним транспортним засобом відстані між пунктами заміру А та Б впливатиме: тривалість заборонного сигналу; затримка у правій смугі, спричинена правоповоротними транспортними засобами; затримка у лівій смугі, спричинена зменшенням швидкості під час виконання маневру повороту; затримка у правій смугі, спричинена заїздом та виїздом громадського транспорту із заїзної кишені; затримка рухомого складу громадського транспорту на зупинковому пункті, спричинена тривалістю посадки та висадки пасажирів; місцем знаходження транспортного засобу в черзі перед почат-

**Результати експериментальних вимірювань роз'їзду черги транспортних засобів
на регульованих перехрестях**

Тип транспортного засобу (ТЗ)	Середня кількість ТЗ, які пройшли через стоп-лінію на 1 цикл, од.		Середня фактична інтенсивність руху, авт./год		Зведена інтенсивність руху, од./год		Середня тривалість проїзду перехрестя 1 ТЗ, с (ПС/ЛС)
	Права смуга (ПС)	Ліва смуга (ЛС)	ПС	ЛС	ПС	ЛС	
Перехрестя 1, Тип I (60 циклів в 1 год.)							
легкові	11,6	13,1	696	786	754	827	61/53
вантажні до 6 т	0,4	0,45	24	27			
автобуси великої місткості	0,2	–	12	–			
Перехрестя 2, Тип I (55 циклі в 1 год.)							
легкові	9,4	12,3	517	677	564	719	68/60
вантажні до 6 т	0,35	0,5	19	28			
автобуси великої місткості	0,18	–	10	–			
Перехрестя 3, Тип II (51 цикл в 1 год.)							
легкові	–	15,4	–	785	20	869	28/60
вантажні до 6 т	–	1,1	–	56			
автобуси великої місткості	0,21	–	11	–			
Перехрестя 4, Тип II (45 циклів в 1 год.)							
легкові	–	17,3	–	779	22	914	31/67
вантажні до 6 т	–	2	–	90			
автобуси великої місткості	0,26	–	12	–			

ком вимірювання (в пункті заміру А); тривалістю руху в зоні перехрестя та поза ним до пункту заміру Б.

З теоретичних досліджень та практики відомо, що виділення окремої смуги (як правило правої) виключно для руху громадського транспорту, спричиняє збільшення довжини черги у лівій смузі, яка обслуговує загальний транспортний потік. Виходячи з цього, важливо забезпечити такі алгоритми управління світлофорною сигналізацією, які б були здатні «компенсувати» втрати часу для цієї групи учасників дорожнього руху. Таким заходом може бути впровадження координованого управління рухом на всій протяжності магістральної вулиці. Його можна і доцільно впроваджувати, проте виникає деяка проблема у смугах громадського транспорту. Суть цієї проблеми полягає в тому, що під час надання автобусам (тролейбусам, трамваям) часового пріоритету на підході до стоп-лінії (або під час виїзду з зупинкового пункту) відбувається перерахунок циклу світлофорного регулювання у всіх фазах окремого ізолюваного перехрестя, а в системі координова-

ного управління необхідно перерахувати (нехай навіть із застосуванням відповідних детекторів транспорту) всю стрічку часу у коридорі (системі регульованих перехресть) на всій протяжності вулиці. Розв'язок цієї проблеми може полягати у наступному. При координованому управлінні рухом автобуси можуть під'їжджати до стоп-лінії у момент ввімкнення заборонного сигналу, оскільки мали регламентовану затримку на зупинковому пункті, тому для них «руйнується» стрічка часу в системі координації. Висунемо гіпотезу, що зменшити вплив цього негативного чинника в умовах координації можна шляхом перенесення зупинкового пункту після перехрестя (рис. 2). Для встановлення достовірності цієї гіпотези проведемо імітаційне моделювання у спеціалізованому програмному середовищі PTV VISSIM щодо визначення зміни тривалості проїзду громадським транспортом обох типів регульованих перехресть при інтенсивностях руху, яка наведена у таблиці 1.

Під час моделювання відстань між пунктами заміру А та Б залишалась незмінною. У PTV

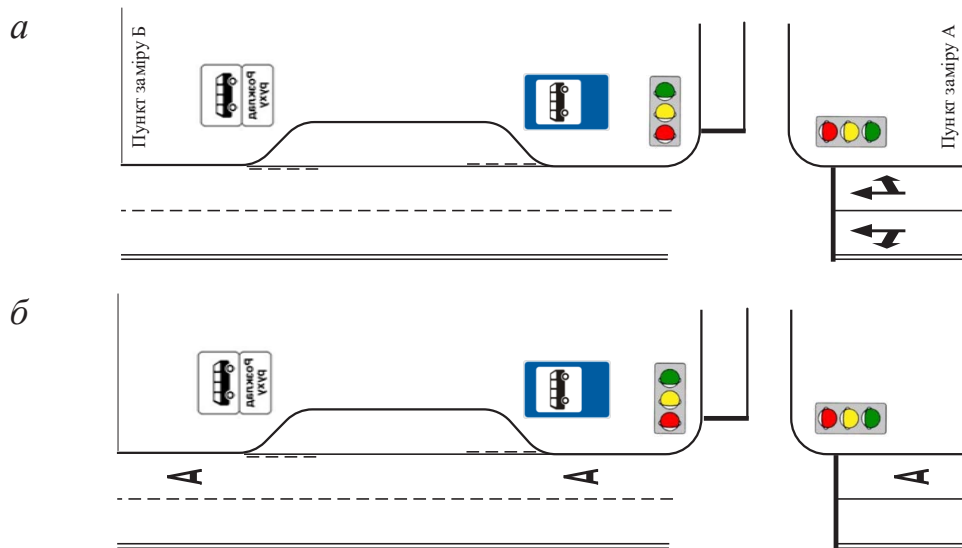


Рис. 2. Схема організації руху для імітаційного моделювання на досліджуваних регульованих перехрестях: а – тип I; б – тип II

Таблиця 2

Результати імітаційного моделювання роз’їзду черги транспортних засобів на регульованих перехрестях

Об’єкт дослідження	Середня тривалість проїзду 1 автобусом зони регульованого перехрестя, с		
	Розміщення зупинкових пунктів перед перехрестям		Розміщення зупинкових пунктів після перехрестя з часовим пріоритетом для автобуса в умовах координації
	Результати натурних вимірювань	Результати імітаційного моделювання	Результати імітаційного моделювання
Перехрестя 1 (Тип I)	61	54	36
Перехрестя 2 (Тип I)	68	59	38
Перехрестя 3 (Тип II)	28	24	16
Перехрестя 4 (Тип II)	31	29	15

VISSIM такі пункти називаються лічильниками транспортних засобів. Спершу проведено моделювання тривалості проїзду автобусами чотирьох підходів до перехрестя за умови розміщення зупинкового пункту перед перехрестям (рис. 1) для визначення рівня збіжності з результатами натурних вимірювань, а пізніше з розміщенням зупинкових пунктів після перехрестя (рис. 2).

Результати імітаційного моделювання наведено у таблиці 2.

Результати моделювання, наведені у таблиці 2, свідчать про: близькість між результатами натурних експериментальних вимірювань та імітаційного моделювання; суттєве зменшення затримок і автобусів, і автомобілів загального транспортного потоку на всіх типах перехрестя. При чому, враховуючи ту особливість, що більші тривалості проїзду транспортними засобами перехрестя типу I, зокрема у правій смугі зумовлені затримками

в русі автобусів (і через затримку на зупинковому пункті, і через вплив їх динамічних габаритів), то ефекту (зменшення тривалості проїзду) від перенесення зупинкового пункту можна досягти і для автомобілів загального транспортного потоку.

Висновки. За результатами досліджень, наведених у цій роботі можна стверджувати наступне:

1. Основними чинниками, які визначають зміну тривалості проїзду, а відтак і затримку руху, громадським транспортом регульованих перехрестя є інтенсивність руху самого громадського транспорту та загального транспортного потоку, спосіб пріоритизації руху громадського транспорту та розміщення зупинкового пункту відносно перехрестя.

2. На магістральних вулицях з координуваним рухом з метою забезпечення одночасно і просторової, і часової пріоритизації громадського транспорту зупинкові пункти слід розміщувати після

проїзду перехрестя, незалежно від розміщення місць генерації пасажирських потоків.

3. За практично однакових режиму світлофорного регулювання та геометричних параметрів проїзної частини тривалість проїзду автобусами (тролейбусами) зони регульованого перехрестя на виділених смугах є на 50–55% меншою у порівнянні зі схемами руху, коли вони рухаються у структурі загального транспортного потоку.

4. Забезпечення одночасної часової та просторової пріоритизації громадського транспорту в умовах координованого управління рухом на двосмугових магістральних вулицях (облаштовані заїзні кишені зупинкових пунктів після проїзду перехрестя) дозволяє зменшити тривалість проїзду ним зони дії регульованих перехресть, а також всієї вулиці у приблизно 3–4 рази порівняно з схемами руху, коли цей вид транспорту рухається у змішаному загальному потоці і має зупинкові пункти перед перехрестями.

Список літератури:

1. Формальчик Є.Ю., Ройко Ю.Я., Гілевич В.В. Розвиток науково-прикладних основ управління транспортними потоками: монографія / за ред. Є. Ю. Формальчика. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2022. 180 с.
2. Біліченко В. В., Крещенський В. Л., Цимбал С. В., Тодорашко Г. Ю. Комплексний підхід до вирішення існуючих проблем функціонування транспортної системи міста. *Наукові нотатки*. 2016. №55. С. 22–25.
3. Litman T. The New Transportation Planning Paradigm. *ITE Journal*. 2013. P. 20–28.
4. Postranskyu T., Boikiv M., Afonin M., Rogalskyi R. Selection of a traffic management scheme at an intersection taking into consideration the traffic flow composition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Харків: УкрДУЗТ, 2020. Вип. 1/3(103). С. 39–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.195327>
5. Drliciak M., Celko J., Cingel M., Jandacka D. Traffic Volumes as a Modal Split Parameter. *Sustainability*. 2020. №12 (24), 10252. <https://doi.org/10.3390/su122410252>
6. Dixit V., Nair DJ., Chand S., Levin MW. A simple crowdsourced delay-based traffic signal control. *PLoS ONE*. 2020 №15 (4): e0230598. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230598>
7. Ruan T., Zhou L., Wang H. Stability of heterogeneous traffic considering impacts of platoon management with multiple time delays. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2021 №583, 126294. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126294>
8. Zhong, Z., Lee E. E., Nejad M., Lee J. Influence of CAV clustering strategies on mixed traffic flow characteristics: An analysis of vehicle trajectory data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2020. №115, 102611. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102611>
9. Fornalchuk Ye., Vikovych I., Royko Yu., Hrytsun O. Improvement of methods for assessing the effectiveness of dedicated lanes for public transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №1/3 (109). P. 29–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225397>
10. Malandraki G., Papamichail I., Papageorgiou M., Dinopoulou V. Simulation and Evaluation of a Public Transport Priority Methodology. *Transportation Research Procedia*. 2015. №6. P. 402–410. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.03.030>
11. Furth P., Muller T. Conditional Bus Priority at Signalized Intersections: Better Service Quality with Less Traffic Disruption. *Transportation Research Record*. 2000. №1731. – P. 23–30. <https://doi.org/10.3141/1731-04>
12. Yang M., Sun G., Wang W. et al. Evaluation of the Pre-Detective Signal Priority for Bus Rapid Transit: Coordinating the Primary and Secondary Intersections. *Transport*. 2018. №33 (1). P. 41–51. <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1004556>
13. Royko Yu., Ye. Fornalchuk, E. Koda, I. Kernyskyy, O. Hrytsun, R. Bura, P. Osinski, A. Markiewicz, T. Wierzbicki, R. Barabash, R. Humenuyk, P. Polyansky. Public Transport Prioritization and Descriptive Criteria-Based Urban Sections Classification on Arterial Streets. *Sustainability*. 2023. No. 15. P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/su15032363>
14. Zyryanov V., Mironchuk A. Simulation Study of Intermittent Bus Lane and Bus Signal Priority Strategy. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 2012. №48. P. 1464–1471. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1122>
15. Basbas S. Evaluation of bus lanes in central urban areas through the use of modelling techniques. *Urban Transport X*. 2004. P. 389–397.

Yevchuk Yu. Yu. PATTERNS OF CHANGES IN PUBLIC TRANSPORT DELAYS IN DIFFERENT WAYS OF ITS PRIORITIZATION

The article investigates the peculiarities of public transport movement on main streets with coordinated traffic control. Particular attention is paid to analyzing the impact of stopping point layouts on the efficiency of the transport system. The purpose of the study is to find optimal solutions to reduce delays in public transport, in particular buses, while ensuring spatial and temporal prioritization.

The research has shown that traffic delays depend on a number of factors, including the intensity of public transport and general traffic, dynamic characteristics of vehicles, synchronization of traffic light phases, and the location of stopping points. Relocating stops after intersections, combined with providing spatial priority by allocating a lane for public transport, leads to a significant reduction in delays for both buses and cars in the general traffic flow, increasing traffic stability in coordinated control systems.

The results of the research, which are based on field measurements and simulation modeling in the PTV VISSIM environment, demonstrate significant advantages of relocating public transport stops after controlled intersections. This allows to reduce the average travel time of buses through the zone of a controlled intersection by 50–55% compared to the location of stops before the intersections.

The practical significance of the results obtained is to propose new approaches to the organization of public transport. In particular, relocating stops after intersections allows optimizing traffic flows, reducing delays for public transport, and minimizing the negative impact of traffic prioritization on the overall traffic flow. This solution can be successfully implemented on main streets with coordinated traffic management.

The results of the research are important for urban agglomerations, where it is necessary to ensure high road capacity and at the same time improve the quality of public transport. The proposed approaches help to reduce congestion, shorten travel times for public transport at regulated intersections, and create conditions for a more stable functioning of the transport system in conditions of high traffic intensity.

Key words: *public transport, traffic flow, controlled intersection, dedicated lane, motorization level, traffic intensity, traffic composition, time prioritization, spatial prioritization.*