

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут інноватики, природокористування та
інфраструктури
Кафедра транспорту і логістики

РОДЗОНІЙ Віталій Романович

Розробка шляхів зниження затримок
транспортних потоків у м. Тернополі /
Development of ways to reduce traffic flow delays
in the city of Ternopil

спеціальність: 275 - Транспортні технології (за видами)
освітньо-професійна програма - Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи ТТм-21
В. Р. Родзоний

Науковий керівник:
к.т.н., доцент, Р. І. Розум

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:

"__" _____ 20__ р.

Завідувач кафедри
_____ **П. В. Попович**

ТЕРНОПІЛЬ - 2024

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ У МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ	8
1.1. Планування транспортної системи міста	8
1.2. Рух в транспортному потоці	11
1.3. Методика дослідження затримок транспортних потоків	19
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У М. ТЕРНОПОЛІ	24
2.1. Типові ділянки транспортної мережі м. Тернополя	24
2.2. Дослідження затримок руху транспортних потоків м. Тернополя	29
2.3. Аналіз швидкості руху транспортного потоку	38
Висновки до розділу 2	41
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У М. ТЕРНОПОЛІ	43
3.1. Управління транспортними потоками на основі інтелектуалізації транспортних засобів	43
3.2. Стимулювання використання інноваційних транспортних засобів з метою зменшення затримок автотransпортних потоків	48
Висновки до розділу 3	49
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

АНОТАЦІЯ

Родзоний В.Р. «Розробка шляхів зниження затримок транспортних потоків у м. Тернополі». – Рукопис.

Магістерська робота за спеціальністю 275 – Транспортні технології (за видами), спеціалізація – 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті). – Західноукраїнський національний університет. – Тернопіль, 2024.

Магістерська робота присвячена підвищенню ефективності функціонування транспортної системи шляхом оптимізації руху, скорочення часу простою, зниження витрат на перевезення, покращення екологічної ситуації та підвищення якості життя населення.

Розглянуто теоретичні основи управління автотранспортними потоками у міських агломераціях, а також методика дослідження затримок транспортних потоків.

Проведено дослідження затримок транспортних потоків у м. Тернополі, в процесі якого здійснено аналіз типових ділянок транспортної мережі, аналіз швидкості руху транспортного потоку та причин виникнення затримок руху.

Проведено розробку шляхів зниження затримок транспортних потоків у м. Тернополі, а саме запропоновано здійснювати управління транспортними потоками на основі інтелектуалізації транспортних засобів і стимулювати використання інноваційних транспортних засобів.

Ключові слова: транспортні технології, транспортні потоки, затримки транспортних потоків, транспортна система, управління транспортними потоками.

ANNOTATION

Rodzonyi V.R. «Development of ways to reduce traffic delays in Ternopil».
– Manuscript.

Master's thesis in specialty 275 – Transport technologies (by type),
specialization – 275.03 Transport technologies (on road transport). – Western
Ukrainian National University. – Ternopil, 2024.

The master's thesis is dedicated to increasing the efficiency of the transport
system by optimizing traffic, reducing downtime, reducing transportation costs,
improving the environmental situation, and improving the quality of life of the
population.

The theoretical foundations of traffic flow management in urban
agglomerations, as well as the methodology for studying traffic flow delays, are
considered.

A study of traffic delays in the city of Ternopil was conducted, during
which an analysis of typical sections of the transport network, an analysis of
traffic flow speed and the causes of traffic delays were carried out.

Ways have been developed to reduce traffic flow delays in the city of
Ternopil, namely, it is proposed to manage traffic flows based on the
intellectualization of vehicles and stimulate the use of innovative vehicles.

Keywords: transport technologies, transport flows, delays in transport
flows, transport system, transport flow management.

ВСТУП

Актуальність теми. Постійне збільшення кількості автомобілів та урбанізація підвищують навантаження на дорожню інфраструктуру, особливо у великих населених пунктах. Існуючі дороги не завжди можуть впоратися з інтенсивним рухом через недостатню пропускну здатність або застарілі технології управління.

Затримки транспортних потоків призводять до втрат часу для пасажирів і перевізників, що негативно впливає на продуктивність праці та економічну ефективність. Це пояснюється тим, що тривалі затримки збільшують витрати на паливо, обслуговування транспортних засобів та логістику, а також швидкість доставки товарів, що важливо для бізнесу, особливо в умовах глобалізації.

Ускладнена транспортна система обмежує доступ до роботи, освітніх установ, медичних послуг і рекреаційних зон, чим викликає стрес, скорочує вільний час і погіршує загальний рівень комфорту громадян.

Затримки транспорту збільшують споживання палива, що призводить до зростання викидів шкідливих речовин у повітря, зокрема CO₂, NO_x та інших забруднювачів.

Розробка шляхів зниження затримок транспортних потоків є критично важливою для забезпечення стабільного функціонування економіки, поліпшення якості життя, збереження навколишнього середовища та підвищення ефективності міської та міжміської логістики. Інтеграція інноваційних рішень, оптимізація управління потоками та розвиток інфраструктури дозволять створити більш стійку, доступну та ефективну транспортну систему.

Мета дослідження. Полягає в підвищенні ефективності функціонування транспортної системи шляхом оптимізації руху, скорочення часу простою, зниження витрат на перевезення, покращення екологічної ситуації та підвищення якості життя населення.

Об'єктом дослідження є транспортні потоки, що формуються у міських дорожніх мережах, а також інфраструктура, організаційні механізми й технології, які впливають на їхню ефективність.

Предметом дослідження є методи, технології, алгоритми та організаційні рішення, спрямовані на зниження затримок у транспортних потоках та оптимізацію їхньої роботи в межах міської транспортної системи.

Методи дослідження. У кваліфікаційній роботі при розробці шляхів зниження затримок транспортних потоків нами було використано комплекс аналітичних, експериментальних, математичних і прикладних підходів, які дозволили системно вивчити транспортні процеси, оцінити ефективність запропонованих рішень та розробити оптимальні стратегії.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в проведенні аналізу теоретичних основ управління автотранспортними потоками у міських агломераціях, а також методиці дослідження затримок транспортних потоків.

Практичне значення одержаних результатів полягає у дослідженні затримок руху транспортних потоків м. Тернополя та розробці шляхів їх зниження.

Апробація роботи.

Родзоний В.Р., Розум М.І., Розум Р.І. Шляхи зниження затримок громадського транспорту та підвищення безпеки руху в м. Тернополі. Міжнародна науково-технічна конференція «Сталий розвиток транспортних систем: наука і практика» 2024. – Харків. – ХНАДУ – 25-26 листопада, 2024.

Євчук Ю.В. Дослідження безпеки автотранспортних перевезень / Ю.В. Євчук, В.Р. Родзоний, Р.І. Розум // Матеріали Національної наукової інтернет-конференції «Автомобільний транспорт та транспортні технології», 3 грудня 2024 року. – Тернопіль: ЗУНУ, 2024.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ У МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ

1.1. Планування транспортної системи міста

Для підвищення ефективності функціонування транспортної системи будь якого міста в цілому, як правило, зупиняються на створенні нових і реконструкції існуючих транспортних шляхів, а також покращенні роботи громадського транспорту. Однак, таких рішень є недостатньо, світовий досвід показує, що все більшого поширення отримують мультимодальні переміщення, які враховують, не лише громадський і приватний автомобільний транспорт, а також й альтернативні методи переміщення, до яких відносяться: піші, велосипедні та інші. Вибір мешканцями міст того чи іншого виду переміщення, в першу чергу, залежить від віддаленості пункту призначення, а також величини самого міста.

У роботах Ван Ві [1] виділяються наступні фактори, що мають найбільший вплив на вибір мешканцями міст виду транспортного засобу та способу пересування:

- близькість розташування точок знаходження та призначення;
- місце розміщення точок призначення;
- відстань до зупинок громадського транспорту.

Тод Літман [2], в свою чергу, висуває гіпотезу щодо зміни всієї парадигми планування транспортної інфраструктури. Відповідно до його нової парадигми віддається перевага саме мультимодальності, а також системності плануванню транспортної інфраструктури міських агломерацій.

Так, сьогодні можемо побачити, що не лише у великих, а й маленьких містечках виникла тенденція розвитку деяких складових мультимодальної інфраструктури: відбувається розбудова велосипедної інфраструктури,

відділення смуги руху громадського транспорту та інше. Однак, як правило, створення даних складових інфраструктури відбувається за рахунок проїжджої частини, що, в свою чергу, зумовлює погіршення умов руху приватного транспорту, а отже зростання заторів та зниження безпеки руху. Отже, як бачимо, потрібний комплексний підхід до планування вулично-дорожньої мережі, який повинен враховувати витрати часу усіх, а не лише обраних.

Якісний стан транспортного потоку це система чинників, які встановлюють умови руху в ньому. На нього впливають декілька факторів, до яких відноситься план вулично-дорожньої мережі й її геометричні характеристики.

Є наступні типи планів вулично-дорожньої мережі:

- Прямокутний;
- Радіальний;
- Гексагональний;
- Трикутний;
- Прямокутно-діагональний;
- Радіально-кільцевий,
- Вільний;
- Комбінований.

Серед даних типів планів найефективнішими вважаються прямокутний і прямокутно-діагональний. Дані плани забезпечують можливість створення паралельних напрямків в процесі формування системи руху громадського транспорту, в зв'язку з чим вони отримали значне розповсюдження в багатьох нових міських забудовах. Найменшого поширення отримали – вільний, гексагональний і трикутний, це пояснюється тим, що в них найнижча ефективність.

Радіальне і радіально-кільцеве планування можемо побачити у містах, в яких чітко сформованою є центральна їх частина. Характерною особливістю радіального планування є складне сполучення периферійних

районів міста, але, необхідно відмітити, що таке планування володіє найкоротшим сполученням із центром. Радіально-кільцеве планування це не, що інше як удосконалена версія радіального, який містить додаткові кільцеві магістральні вулиці, що дозволяють забезпечити кращий зв'язок периферійних районів між собою не задіюючи центральну частину міста.

На рисунку 1.1 відображено основні показники, що відображають особливості вулично-дорожньої мережі міст.

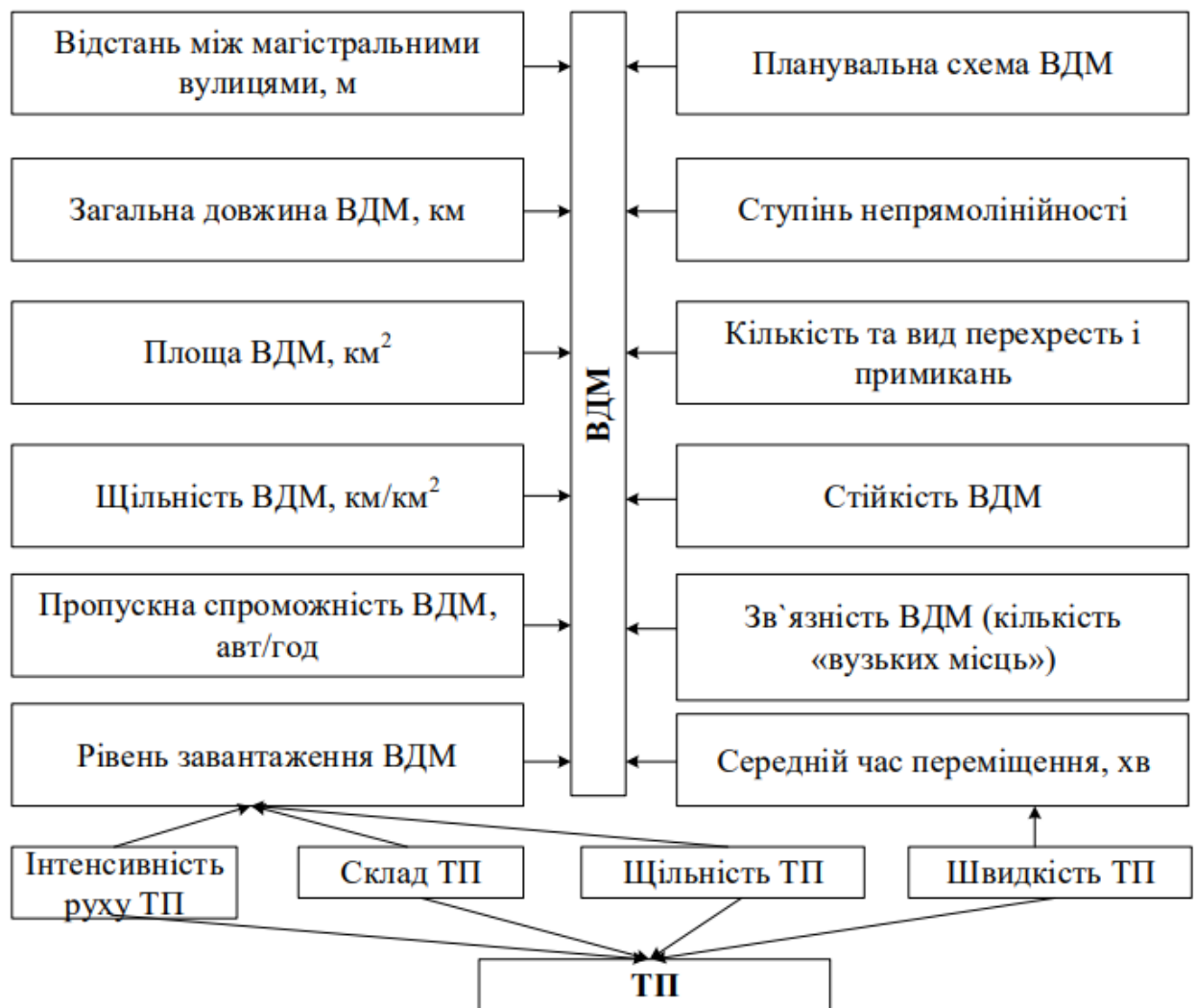


Рис. 1.1. Основні показники, що відображають особливості вулично-дорожньої мережі міст [3]

Особливості системи роботи громадського транспорту, що забезпечують його ефективну діяльність у містах показано на рисунку 1.2.

Швидкісні маршрути:

- територія – основні частини міста;
- швидкість – більше 25 км/год;
- інтервали в русі – 4-6 хв;
- принципи формування: зменшення часу в дорозі шляхом зменшення кількості зупинкових пунктів (ЗП), збільшення кількості спеціалізованих смуг руху та наявність пріоритету для ГТ



Основні маршрути:

- територія – основна та центральна частина міста;
- види транспорту – автобуси, тролейбуси;
- інтервали в русі – 10-15 хв;
- принципи формування: автономні автобусні та тролейбусні маршрути



Підвізні маршрути:

- територія – периферійна частина міста, передмістя (автобуси малої місткості);
- види транспорту – автобуси різної місткості;
- інтервали в русі – залежно від величини пасажиропотоку;
- принципи формування: доступ до швидкісних та основних маршрутів, перехоплюючі парковки

Рис. 1.2. Особливості системи роботи громадського міського транспорту [4]

На систему громадського міського транспорту значний вплив має використання певних видів автотранспортних засобів, принцип заселення міської агломерації, а також конфігурація та геометричні характеристики самої вулично-дорожньої мережі.

1.2. Рух в транспортному потоці

Під транспортним потоком розуміють впорядкований рух транспортних засобів по транспортній мережі.

Згідно із дослідженнями [5] до головних якісних характеристик функціонування вулично-дорожньої мережі належать: час витрачений на дорогу та надійність роботи ВДМ.

За допомогою рисунка 1.3 покажемо головні фактори, які впливають на швидкість руху громадського транспорту в транспортному потоці.

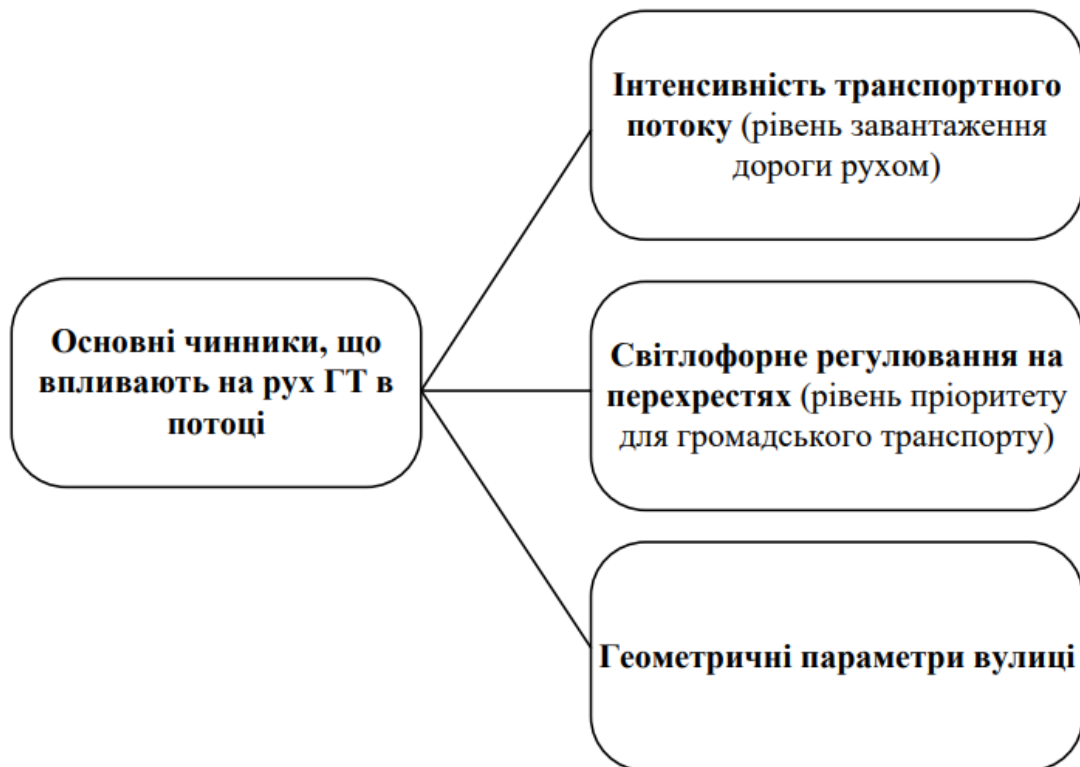


Рис. 1.3. Головні фактори, які впливають на швидкість руху громадського транспорту в транспортному потоці

Класифікацію рівнів зручності руху проводять згідно із величиною співвідношення між відповідними показниками транспортного потоку (табл. 1.1).

Рівні зручності руху [1]

Рівень зручності	Рівень завантаження	Відношення швидкості руху до максимальної швидкості	Відношення щільності ТП до максимальної щільності	Характеристика руху	Стан ТП
А	<0,2	>0,9	<0,1	ТЗ рухаються за вільних умов, взаємодія та взаємний вплив відсутні	Вільний
Б	0,2–0,45	0,7–0,9	0,1–0,3	Рух ТЗ відбувається групами, багато обгонів	Частково зв'язаний
В	0,45–0,7	0,55–0,7	0,3–0,7	У потоці ще є великі інтервали слідування, обгони ускладнені	Зв'язаний
Г	0,7–1,0 0; 1,0	0,4–0,55 0; 0,4	0,7–1,0	Суцільний потік ТЗ, які рухаються з малими швидкостями. ТП рухається із зупинками, виникає затор	Щільний насичений Щільний насичений

В науковій літературі [7, 8] розрізняють наступні види надання пріоритету громадському транспорту під час перетину ним регульованого перехрестя:

– пасивний і активний пріоритети. Під пасивним розуміють вибір оптимального співвідношення світлофорних циклів, запровадження координованого регулювання, а під активним – управління рухом громадського транспорту у реальному часі;

– частковий, повний і відносний пріоритети. Під час часткового пріоритету відбувається збільшення тривалості дозвільного сигналу за рахунок швидшого ввімкнення чи пізнішого вимкнення. Частковий пріоритет забезпечує громадський транспорт у випадку низької величини інтенсивності руху, а також відсутності черг в транспортному потоці. Повний пріоритет, набув широкого поширення у країнах Європейського Союзу, забезпечує отримання громадському транспорту повної переваги у русі. При повному пріоритеті затримки громадського транспорту є повністю відсутніми. Відносний пріоритет забезпечує можливість отримання

пріоритету як для громадського транспорту, так і для загального транспортного потоку, в залежності від величини інтенсивності руху й утворення заторів;

– умовний і безумовний пріоритети. Під час застосування умовного пріоритету громадському транспорту надається перевага тільки тоді, коли останній вибивається із графіку. При безумовному пріоритеті – кожен транзитний громадський транспорт отримує пріоритет. Поняття абсолютного пріоритету застосовують щодо активного, повного й безумовного типів пріоритетів.

З метою надання переваги громадському транспорту ділянки ВДМ інколи обладнують попередніми світлофорами, що встановлюються на смугах призначених тільки для приватного автотранспорту. Попередніми світлофорами обладнують місця в яких смуга руху громадського транспорту завершується на певній відстані перед регульованим перехрестям (рис. 1.4).

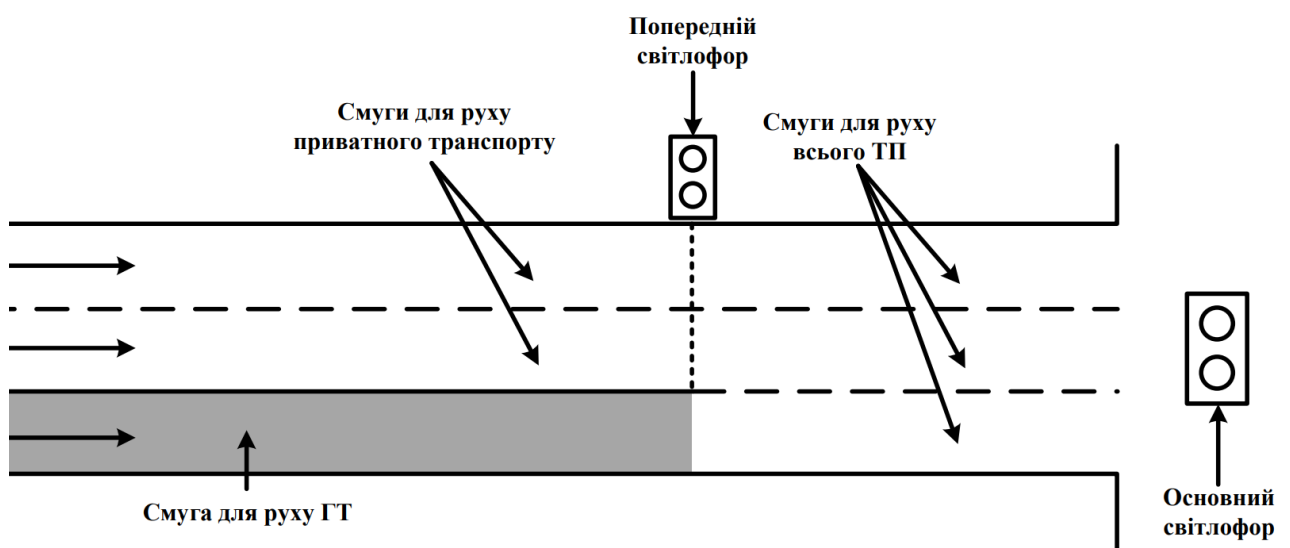


Рис. 1.4. Ділянка ВДМ обладнана попереднім світлофором з метою надання переваги громадському транспорту

З рисунка 1.4 бачимо, що під час під'їзду громадського транспорту до регульованого перехрестя відбувається вмикання забороняючого сигналу

попереднім світлофором для руху приватного транспорту, за рахунок чого, громадському транспорту надається пріоритетність руху по усіх напрямках. Даний світлофор не перешкоджає руху приватного транспорту вздовж усіх смуг у випадку відсутності громадського транспорту, що в кінцевому результаті забезпечує зниження величини сумарної затримки руху регульованим перехрестям. До недоліків даного методу відноситься те, що в процесі під'їзду транспортних засобів громадського транспорту до перехрестя, у момент ввімкненого дозвільного сигналу на попередньому світлофорі та заборонного на основному, створюється додаткова затримка для останнього.

Дослідниками [9] виокремлено 8 можливих варіантів світлофорного циклу, що містить часткову активну пріоритетність громадського транспорту під час їх під'їзду до регульованого перехрестя (рис. 1.5).

Як бачимо з рисунка під час першого, сьомого і восьмого варіанту відбувається скорочення часу включення заборонного сигналу на світлофорі в момент наближення до нього громадського транспорту. Разом з тим, час включення скороченого сигналу повинен бути більшим, ніж час мінімального дозвільного сигналу у попередній фазі у випадку надання переваги громадському транспорту.

При другому варіанті – громадський транспорт здійснює під'їзд до перехрестя поки ввімкнений дозвільний сигнал, в зв'язку з чим відпадає необхідність внесення корекції щодо тривалості сигналів.

Під час третього, четвертого та п'ятого варіантів відбувається продовження часу дії дозвільного сигналу. Час впродовж якого ввімкнений дозвільний сигнал має забезпечити потреби громадського транспорту в проїзді перехрестя, однак він не повинен бути більшим, ніж максимальний час дозвільного сигналу для даної фази.

Шостий варіант – громадський транспорт наближається до перехрестя посеред ввімкненого заборонного сигналу, тоді проходить зміна фази під час якої громадському транспорту забезпечується проїзд, після чого

відбувається повторне вмикання заборонного сигналу по даному напрямку руху.

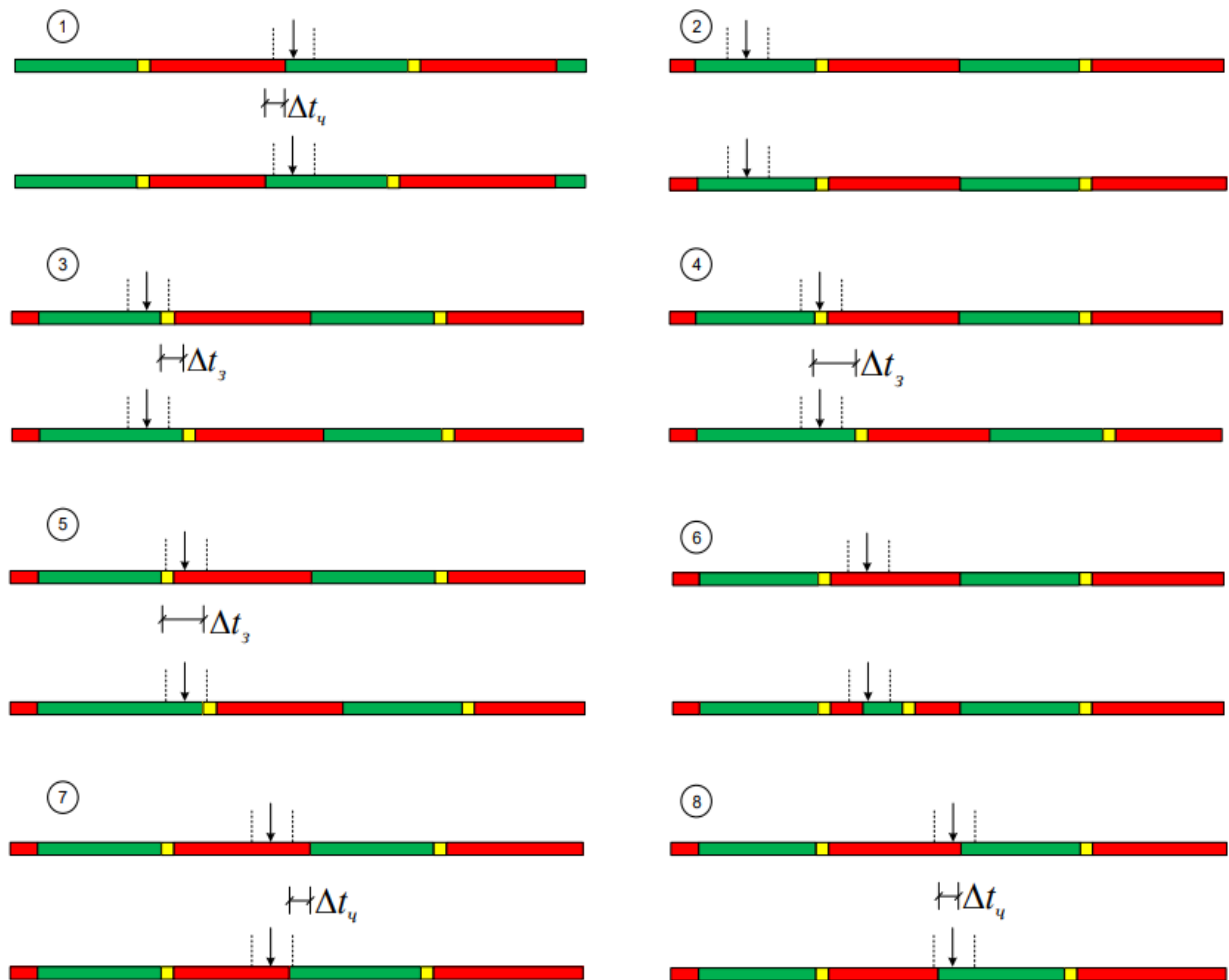


Рис. 1.5. Варіанти світлофорного циклу, що містить часткову активну пріоритетність громадського транспорту під час їх під'їзду до регульованого перехрестя:

t_3 – час дозвільного сигналу;

t_q – час заборонного сигналу.

Марк Мілер у своїх працях виокремлює наступні принципи щодо проектування надання пріоритетності громадському транспорту:

- надання пріоритету за рахунок створення смуг руху громадського транспорту;

- створити безпечне безперешкодне сполучення із пішохідною і велосипедною інфраструктурою;
- надання пріоритету за допомогою запровадження регулювання руху інших видів транспорту тоді коли, неможливим є створення окремих смуг громадського транспорту;
- зупинки громадського транспорту робити так, щоб вони не створювали перешкод для дорожнього руху інших його учасників.

Необхідно відмітити, що на сьогоднішній день, є велика кількість різноманітних заходів щодо облаштування руху для того, щоб громадський транспорт володів пріоритетом в транспортному потоці:

- створення окремих смуг руху громадського транспорту в тому ж напрямку, що рухається весь транспортний потік;
- створення окремих смуг руху громадського транспорту в протилежному напрямку, що рухається весь транспортний потік;
- формування спеціальних коридорів для руху громадського транспорту;
- надання пріоритетності руху громадського транспорту на регульованих перехрестях;
- інтегровані заходи щодо надання пріоритетності громадському транспорту.

Вікович І.А. у своїй праці [10] приводить більш детальну класифікацію методів надання першочерговості руху громадському транспорту (рис. 1.6).

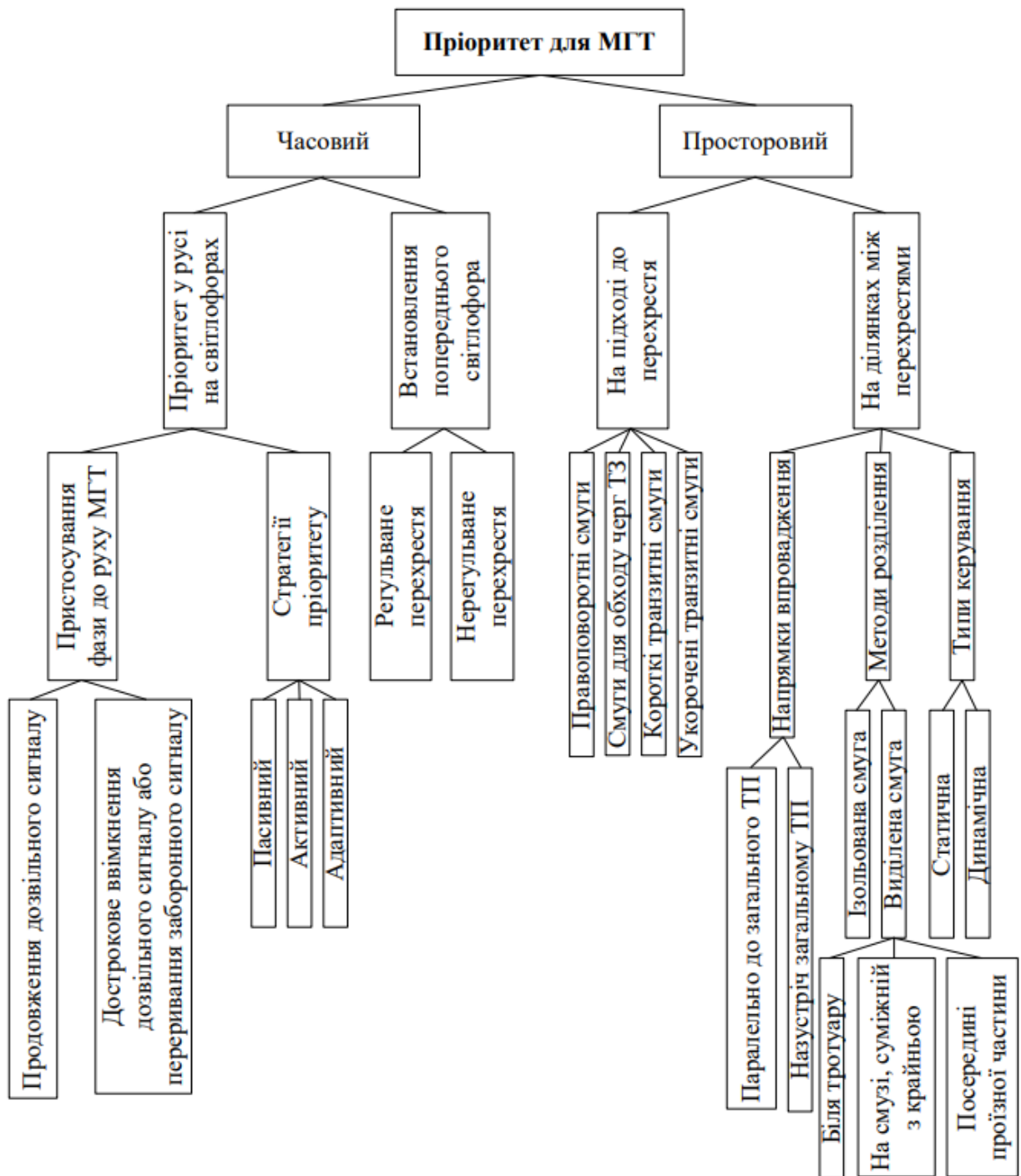


Рис. 1.6. Класифікація методів надання першочерговості руху громадському транспорту [10]

1.3. Методика дослідження затримок транспортних потоків

Затримки транспортних потоків для міст є звичним явищем. Відносно місць утворення їх можна поділити на:

- постійні, як правило відбуваються на постійній основі протягом певного часу;
- випадкові – володіють ситуативною зміною величини пропускної здатності вулично-дорожньої мережі на протязі невеликого періоду часу;
- не передбачувані – характеризуються специфічними експлуатаційними характеристиками роботи вулично-дорожньої мережі.

За для підвищення величини показника пропускної здатності вулично-дорожньої мережі, зменшення кількості транспортних засобів на під'їзді до перехресть, забезпечення стабільності швидкісного режиму, зниження ймовірності настання ДТП, а також зниження антропогенного впливу на навколишнє середовище використовують координоване регулювання.

Проведення дослідження ефективності використовуваних режимів світлофорного регулювання здійснюється за допомогою таких показників як величина середньої швидкості транспортного потоку, величина черги, тривалість проїзду перехрестя, час транспортної зупинки, коефіцієнт використання вулично-дорожньої мережі [6, 11].

Методики розрахунку часу дії кожного із світлофорних циклів відповідно до величини черги автотранспортних засобів чи їх затримок під час здійснення проїзду перехрестя [14, 15] пропонують розраховувати величину часу циклу світлофорного регулювання ($T_{\text{ц}}$) відповідно до випадкової величини прибуття транспортних засобів на перехрестя та зменшення до мінімуму їх затримок:

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot T_{\text{п}} + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}, \quad 1.1.$$

де $T_{\text{п}}$ – сумарний час проміжних тактів, с;

y_i – величина фазового коефіцієнту регулювання;

n – число фаз.

Стратегічний план розвитку міської агломерації обов'язково має містити умови розвитку вулично-дорожньої мережі, зокрема в розрізі громадського транспорту із перспективою виокремлення окремих смуг для нього чи впровадженням пріоритетності проїзду [6].

Форнальчик Є. Ю., разом із Гілевич В.В. у своїх працях [16, 17] провели моделювання процесів затримок транспортних засобів на регульованих перехрестях із жорсткими циклами у якому враховували вплив технічного стану транспорту.

Найбільш узагальнюючим показником оцінки ефективності світлофорного регулювання ними вибраний середній час затримки транспортного потоку перед перехрестям. Оцінку ефективності даного показника можна провести у грошовому еквіваленті та визначити його економічну ефективність.

З метою проведення наближених розрахунків величини середньої затримки (d), під час рівномірного під'їзду транспортних засобів на регульоване перехрестя використовують формулу [6]:

$$d = \frac{T_{\text{ц}} - t_3}{2}, \quad 1.2.$$

де $T_{\text{ц}}$ – час світлофорного циклу, с;

t_3 – час впродовж якого світить дозвільний сигнал світлофора, с.

Як правило, під'їзд транспортних засобів на перехрестя характеризується ймовірнісною величиною, в зв'язку з чим показник середньої затримки, у випадку нещільних транспортних потоків, визначається за формулою [6]:

$$d = \frac{T_{\text{ц}} \cdot (1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda \cdot x)} + \frac{x^2}{2 \cdot N \cdot (1 - x)} - 0,65 \left(\frac{T_{\text{ц}}}{N^2} \right)^{1/3} \cdot x^{2+5\lambda}, \quad 1.3.$$

де λ – значення відношення величини часу дозвільного сигналу в загальній тривалості світлофорного циклу;

x – показник насиченості руху у відповідному напрямку;

N – інтенсивність руху у відповідному напрямку, од/с.

Однією із основних початкових характеристик, яка необхідна для проведення аналізу ефективності світлофорного регулювання є показник наповненості напрямку руху [6]:

$$x = \frac{T_{\text{ц}} \cdot N}{S \cdot t}, \quad 1.4.$$

де S – значення потоку насичення, од/с.

Звідси, Мілером було запропоновано, для визначення транспортної затримки, удосконалений варіант формули Вебстера:

$$d = \frac{T_{\text{ц}} - \lambda}{2T_{\text{ц}} \cdot (S - N)} \cdot \left(\frac{I \cdot S \cdot (2x - 1)}{N \cdot (1 - x)} + S \cdot (T_{\text{ц}} - \lambda) + I - 1 + \frac{N}{S} \right), \quad 1.5.$$

де I – коефіцієнт, що враховує величину зміни інтенсивності транспортного потоку.

У випадку магістральних вулиць обладнаних регульованими перехрестями є характерним зростання інтенсивності транспортних потоків у пікові періоди, в т. ч. відбувається зростання затримок які пов'язані із виникненням перенасичення світлофорних циклів.

Для визначення величини транспортної затримки користуються наступною формулою [6]:

$$d = \frac{T_{\text{ц}} \cdot (1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda \cdot x)} + \frac{N_0}{S \cdot \lambda}, \quad 1.6.$$

де N_0 – величина середньої довжини черги транспортних засобів до перехрестя у піковий період:

- при насиченості менше 1,14:

$$N = 524 \cdot T_0 \cdot S \cdot \lambda \cdot \left(1,09 \cdot x - 1 + \sqrt{(1,09 \cdot x - 1)^2 + \frac{1,09 \cdot x - x_0}{175 \cdot S \cdot \lambda}} \right); \quad 1.7.$$

- при насиченості понад 1,14:

$$N = 900 \cdot T_0 \cdot S \cdot \lambda \cdot \left(x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{x - x_0}{175 \cdot S \cdot \lambda}} \right); \quad 1.8.$$

де T_0 – тривалість пікового періоду визначена шляхом натурних спостережень, год./добу;

x_0 – величина коефіцієнта x , більше якої починаються перенасичені цикли.

Висновки до розділу 1

Для підвищення ефективності функціонування транспортної системи будь якого міста в цілому, як правило, зупиняються на створенні нових і реконструкції існуючих транспортних шляхів, а також покращенні роботи громадського транспорту. Однак, таких рішень є недостатньо, світовий досвід показує, що все більшого поширення отримують мультимодальні переміщення, які враховують, не лише громадський і приватний автомобільний транспорт, а також й альтернативні методи переміщення, до яких відносяться: піші, велосипедні та інші. Вибір мешканцями міст того чи іншого виду переміщення, в першу чергу, залежить від віддаленості пункту призначення, а також величини самого міста.

Величина автомобілізації населення постійно зростає, що зумовлює запровадження новітніх підходів до вдосконалення вулично-дорожньої мережі, а також підвищення безпечності руху. Одним із таких шляхів є запровадження координованого керування транспортними потоками за рахунок особливого світлофорного регулювання. Базовими параметрами для впровадження даного управління є вибір тривалості як самого циклу світлофорного регулювання так і основних його тактів, що залежать від величини інтенсивності руху.

Впровадження координованого управління міськими потоками забезпечить можливість своєчасної зміни режимів роботи світлофорів в залежності від конкретної транспортної ситуації.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У М. ТЕРНОПОЛІ

2.1. Типові ділянки транспортної мережі м. Тернополя

З розділу 1 ми бачимо, що до головних факторів, які мають найбільший вплив на затримки транспортного потоку належать:

- склад транспортних засобів та інтенсивність їх руху;
- щільність вулично-дорожньої мережі;
- види регулювання руху.

Отже, важливою задачею є встановлення величини витрат часу для здійснення переміщення по території міста в цілому чи певним його районом. Іншими словами, визначення величини просторової затримки, так як розв'язання конкретної локальної задачі, в більшості випадків, не призводить до розв'язання проблеми в цілому. Як правило, переміщення, а отже обсяг руху вулицями міста, яке володіє сталою і сформованою забудовою, що сформувалася історично, відбувається через магістральні вулиці, для яких характерною є нерівномірність руху впродовж доби, неоднорідність транспортних потоків, а також відмінності щодо планування забудови і транспортних мікрорайонів. Вид магістральної вулично-дорожньої мережі відображає планувальні характеристики населеного пункту та дозволяє провести їх об'єднання в окремі групи.

Беручи до уваги неоднорідність транспортних потоків, що переміщаються по магістральних вулицях м. Тернополя, в тому числі й значну частину громадського транспорту, актуальною постає задача підвищення ефективності використання автошляхів та зниження загальних затрат часу на дорогу. Під затратами часу на дорогу тут ми розуміємо не тільки зниження затримок якогось окремого транспортного засобу, а також окремого користувача, що знаходиться у ньому. Найбільш актуальним

показником в процесі проведення аналізу затрат часу служить просторова швидкість руху. Оскільки даний показник та характер його зміни роблять можливим встановлення «проблемних» ділянок, а отже, знайти ефективні шляхи вирішення даних проблем.

Беручи до уваги вищесказане, на першому етапі встановлення величини впливу кожного із факторів на зміну величини швидкості транспортного потоку, а також, для вибору характерних ділянок транспортної мережі, нами вибрані магістральні вулиці м. Тернополя (рис. 2.1), які характеризуються різними планувальними особливостями і володіють значною долею громадського транспорту.

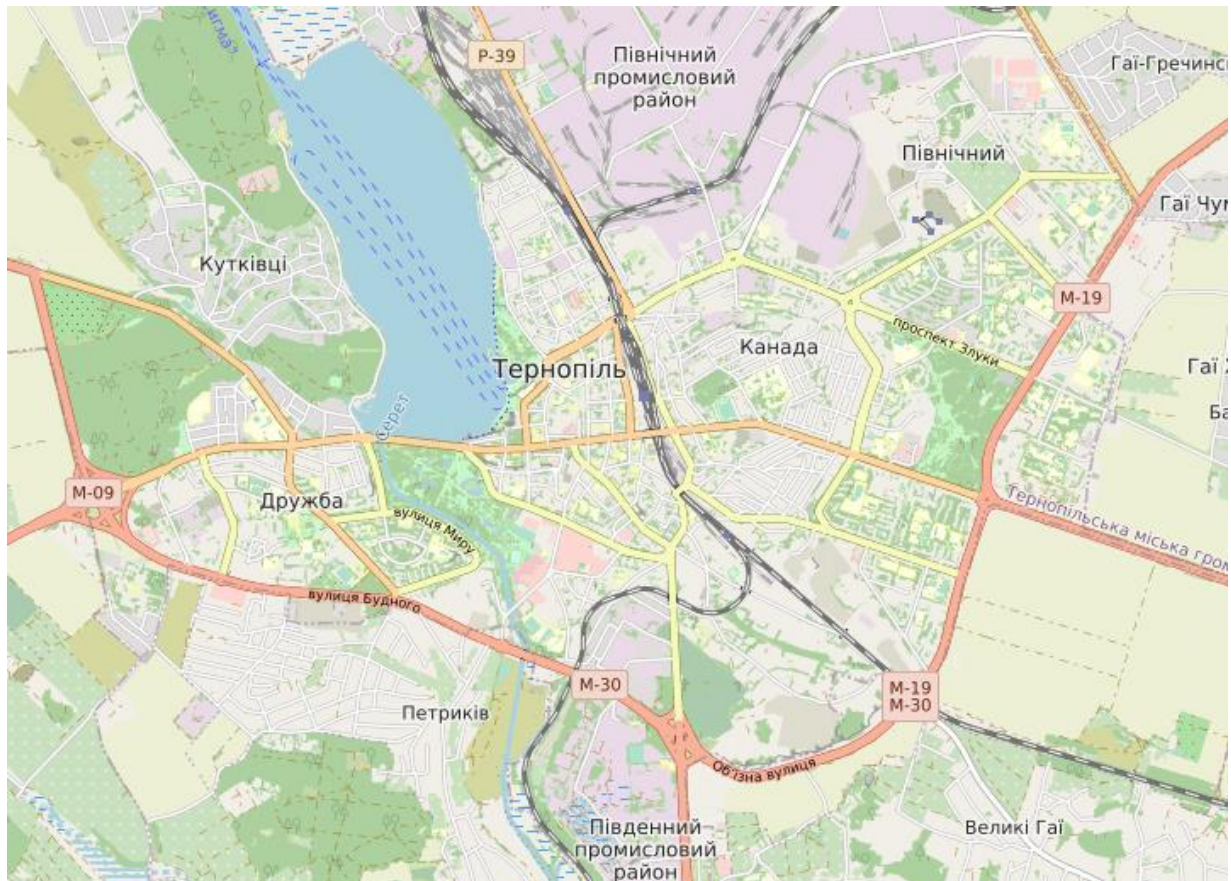


Рис. 2.1. Схема розташування досліджуваних ділянок транспортної мережі м. Тернополя

Ділянки даних вулиць нами було згруповано відповідно до територіальної ознаки (їх розташування по відношенню до центру),

геометричних характеристик і умов руху транспортних потоків. Також, на них працює громадський транспорт. По деяких із них нами пізніше було проведено оцінку зміни часу сполучення.

В процесі дослідження фактори впливу на транспортний потік показано за допомогою рівня зручності руху, що встановлюється за допомогою показника завантаженості та коефіцієнтів швидкості на насичення руху.

В процесі проведення натурних досліджень нами було проведено поділ вулиць типові ділянки (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Класифікація транспортної мережі згідно умов руху та планування

Тип	Кількість смуг			Щільність, км/км ²		Показник зручності	
	1	2	3	ВДМ	ТМ	впродовж доби	час пік
1	+	+	+	3,0 – 7,0	1,2 – 2,0	Б	В
2	-	+	+	> 15,0	> 5,5	В	В, Г
3	+	+	-	2,5 – 8,0	1,5 – 3,5	Б	В
4	+	+	-	9,0 – 10,5	2,5 – 5,0	В	В, Г
5	+	-	-	4,0 – 8,0	1,5 – 2,5	Б	В
6	+	-	-	9,0 – 15,0	2,5 – 5,5	В	В, Г

Класифікація транспортної мережі згідно умов руху та планування проводилася наступним чином:

Тип 1 – вулиці, що знаходяться далі від центральної частини міста, характеризуються вищим показником зручності, однак мають нижчу щільність вулично-дорожньої (ВДМ0 та транспортної (ТМ) мереж (рис 2.2 а). Даний тип має 2 – 3 смуги руху, які розділені розділовою смугою (вул. Миру, Винниченка та інші). Особливістю даних ділянок є вищі показники середньої швидкості транспортних засобів, що пояснюється більшою відстанню між регульованими перехрестями, що в свою чергу, забезпечує нижчі показники затримок транспортних потоків під час проходження ділянок.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рис. 2.2. Види типів вулиць м. Тернополя

Ділянки 2 типу розташовуються поблизу центральної частини міста, з кількістю смуг – 3, однак мають виділену смугу для громадського транспорту (рис 2.2 б). Вони характеризуються низьким показником зручності та незначними відстанями між регульованими перехрестями (вул. Торговиця), що обумовлено високим показником щільності вулично-дорожньої мережі – понад 15 км/км². Дані ділянки володіють низькими показниками середньої швидкості руху транспортних засобів (до 18 км/год), а отже, високим рівнем затримок.

Третій тип – це вулиці, які знаходяться далі від центральної частини міста (рис 2.2 в). Характерним для них є 2 смуги руху в кожному із напрямків, високий показник зручності та середні відстані між регульованими перехрестями (вул. генерала Тарнавського, Максима Кривоноса, Лесі Українки, Злуки, Бережанська та інші).

Ділянки четвертого типу це вулиці центральної частини міста, що володіють кількістю смуг аналогічно третьому типу, однак із зростанням інтенсивності руху транспортних потоків знижується їх середня швидкість (рис 2.2 г). Також, на даних ділянках відмічається незначна відстань між регульованими перехрестями, що, в свою чергу, знижує час проїзду їх транспортними засобами.

П'ятий тип ділянок (рис 2.2 д) знаходиться далі від центральної частини міста (вул. Лучаківського, Володимира Великого, О. Довженка тощо). Особливістю їх є наявність по одній смузі руху в кожному напрямку та вищі показники зручності. Даний тип володіє низьким показником щільності вулично-дорожньої мережі за рахунок чого значення середньої швидкості руху впродовж дня можуть значно коливатися.

Шостий тип ділянок (рис 2.2 е) є аналогічним п'ятому, однак характеризується низьким показником рівня зручності, значною щільністю вулично-дорожньої мережі та розміщенням близько центральної частини міста (вул. Татарська). На даних ділянках відмічаються найгірші умови

транспортного руху з погляду затримок як в цілому транспортного потоку так і громадського транспорту зокрема.

2.2. Дослідження затримок руху транспортних потоків м. Тернополя

Значення затримок транспортних засобів, що рухаються у транспортному потоці, розраховується за допомогою співставлення витрат часу для переміщення протягом різних періодів: час пік та тоді, коли створюються вільні умови для проїзду (рівень зручності – А).

Найбільш характерною ознакою, яка відображає зміну затрат часу на доїзди, є величина швидкості руху. Єдиною категорією транспортного потоку, швидкість доїзду якої залежить не тільки від наявних дорожніх умов, є громадський транспорт. Оскільки режим руху останнього підпорядковується затвердженому графіку.

Проведемо більш детальний огляд складових затримок транспортного потоку в розрізі затримок громадського транспорту та інших транспортних засобів.

Витрати часу громадського транспорту:

$$\bar{t}_{\text{МГТ}} = t_i + t_n + t_{\text{зп}}, \quad 2.1.$$

де $\bar{t}_{\text{МГТ}}$ – час проїзду громадського транспорту між зупинками, год.;

t_i – час проїзду громадського транспорту між перехрестями, год.;

t_n – час проїзду громадського транспорту через перехрестя, год.;

$t_{\text{зп}}$ – час простою громадського транспорту на зупинках, год.

Отже, тривалість проїзду транспортних засобів громадського транспорту буде рівною:

$$T = \sum \bar{t}_{\text{МГТ}}. \quad 2.2.$$

У випадку руху громадського транспорту в транспортному потоці затрати часу будуть такі ж як і для потоку в цілому. Тому, для такого випадку необхідно проводити аналіз витрати часу для переміщення не якогось окремого транспортного засобу, а для одного користувача транспортної мережі.

Значення часу простою громадського транспорту на зупинках встановлюється шляхом здійснення натурних досліджень.

Враховуючи величину $\bar{t}_{\text{МГТ}}$, яку ми одержуємо за допомогою GPS-трекерів, отримані значення простою на зупинках та час проїзду між перехрестями, що розраховується шляхом проведення дослідження зміни величини середньої швидкості між стоп-лініями транспортного потоку, можна визначити витрати необхідного часу для переїзду громадським транспортом перехрестя.

Величину просторової затримки руху, для загального транспортного потоку, розраховують за рахунок встановлення зниження середнього значення швидкості руху по прогонах, а також зростання часу простою перед стоп-лініями, так як із підвищенням інтенсивності руху збільшуються черги. Зміну значення часу проїзду по прогонах розраховуємо за допомогою формули:

$$\Delta t_{\text{пр}} = \frac{S}{\Delta v}, \quad 2.3.$$

де S – довжина прогону, км;

Δv – значення середньої швидкості транспортного потоку по прогоні, км/год.

Перед пішохідними переходами та перехрестями величину зміни часу проїзду встановлюється за допомогою показника черг t , який відображає час проїзду черги через стоп-лінії. Іншими словами, загальна величина зміни затрат часу для транспортного потоку розраховується за допомогою наступної формули:

$$T = \Delta t_{\text{пр}} + t_{\text{черг}}. \quad 2.4.$$

У випадку руху громадського транспорту в загальному транспортному потоці величини часу $t_{\text{п}}$ і t_i будуть аналогічними до складових формули (2.4). Оскільки, в даному випадку, коли відбувається рух громадського транспорту в загальному транспортному потоці, можна говорити, що величина середнього значення $t_{\text{п}}$ для усіх транспортних засобів даного потоку, що переміщаються у одному напрямку, має приблизно однакове значення, беручи до уваги, що завжди є ймовірність під'їзду на перехрестя із тривалим простоем. В цілому, його можна встановити за допомогою проведених натурних досліджень, емпіричних розрахунків чи проведення імітаційного моделювання скориставшись спеціалізованим програмним забезпеченням. Даний показник змінює своє значення в залежності від величини інтенсивності руху та долі дозвільного сигналу світлофора впродовж циклу регулювання. Здебільшого, для забезпечення високих показників пропускної здатності магістральних транспортних мереж, перевагу в системах світлофорного регулювання надають прямим транспортним потокам.

Розрахунок значення складової $\Delta t_{\text{пр}}$ загального транспортного потоку проводилося методом натурних досліджень, а для громадського транспорту – використанням даних із GPS-трекерів, які містять інформацію щодо прибуття кожного транспортного засобу на зупинку громадського транспорту із вказанням запланованого й дійсного його значень, а також

величину часу випередження чи відставання відповідно до встановленого графіку руху.

Шляхом встановлення яким чином краще надати пріоритет на певній типовій ділянці обираємо порівняння швидкостей руху громадського транспорту із загальним транспортним потоком.

Як було відмічено, швидкість сполучення розраховується як сума часу проїзду маршруту та часу простою на зупинках. В процесі дослідження часу проїзду маршрутом бачимо, що він складається з часу проїзду між регульованими перехрестями та часу проїзду самих перехресть. Перехрестя, що є нерегульованими, ми не беремо до уваги, оскільки громадський транспорт, як правило, рухається по головній дорозі, в зв'язку з чим, зупинки перед даними перехрестями відсутні. А регульовані перехрестя – одна із головних причин затримок транспортного потоку, так як високий показник інтенсивності руху останнього та час ввімкнення заборонного сигналу створює передумови збільшенню часу затримки, в зв'язку з чим, надання переваги в русі громадському транспорту на даних перехрестях (при потребі) суттєво може знизити час його проїзду. При дослідженні ділянок, які знаходяться між перехрестями, бачимо, що час проїзду громадського транспорту по них залежить в більшості випадків від інтенсивністю руху транспортного потоку й техніко-експлуатаційних характеристик транспортного засобу.

Досліджуючи затримки громадського транспорту на різних відрізках транспортної магістралі, встановлено, що час, що потрібний транспортному засобу для заїзду на зупинку, здійснення посадки-висадки пасажирів і виїзд із зупинки залежить, як правило, від величини показника пасажиропотоку й інтенсивності громадського транспорту [18]. Базуючись на вищесказаному, дослідження показника затримки ми не прив'язували до відповідних типових ділянок транспортної мережі, а лише до інтенсивності руху громадського транспорту. Показник пасажиропотоку нами не враховувався, а час простою на зупинках встановлювався методом виконання натурних

досліджень. Для забезпечення найбільш достовірних результатів дослідження нами було проведено розподіл зупинок громадського транспорту на групи, які зведені у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

Групи зупинок громадського транспорту

Група	Характерні особливості	Зупинки громадського транспорту	Інтенсивність руху громадського транспорту, од./год
1	2	3	4
1	Без заїзних карманів на ділянках з однією смугою руху у відповідному напрямку	вул. В. Лучаківського, зупинка «вул. В. Громницького»	26
		вул. Леся Курбаса	32
2	Без заїзних карманів на ділянках з двома смугами руху у відповідному напрямку	вул. Торговиця зупинка «Торговий центр «Орнава»»	44
		вул. Князя Острозького, зупинка «вул. Шпитальна»	53
		вул. Князя Острозького, зупинка «Філармонія»	26
		вул. Пирогова, зупинка «Лікарня швидкої допомоги»	78
		вул. Б. Хмельницького, зупинка «Галицький коледж»	56
		вул. Збаражська (до центру)	69
		вул. Бережанська (до центру)	35
		вул. Бережанська зупинка «ЗУНУ»	35
		вул. Івана Мазепи (до центру)	58
		вул. Івана Мазепи (від центру)	58
		вул. Руська зупинка «6-та школа»	14
		вул. Руська зупинка «Медичний університет»	14
		вул. Руська зупинка «Центр»	32

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
3	З заїзними карманами на ділянках з однією смугою руху у відповідному напрямку	вул. В. Лучаківського, зупинка «Церква св. Йосафата»	26
		вул. Торговиця, зупинка «Центральний ринок»	64
		вул. Князя Острозького, зупинка «13-та школа»	62
		вул. Леся Курбаса, зупинка «вул. Полковника Морозенка»	32
4	З заїзними карманами на ділянках з двома смугами руху у відповідному напрямку	вул. 15 Квітня (від центру)	35
		вул. Лесі Українки, зупинка «10-та школа»	28
		вул. Слівенська (від центру)	16
		вул. Протасевича, зупинка «Збаразьке кільце»	36
		вул. Полковника Морозенка, зупинка «ТРЦ Подоляни»	32
		Проспект Злуки, зупинка «Парк Національного відродження»	21

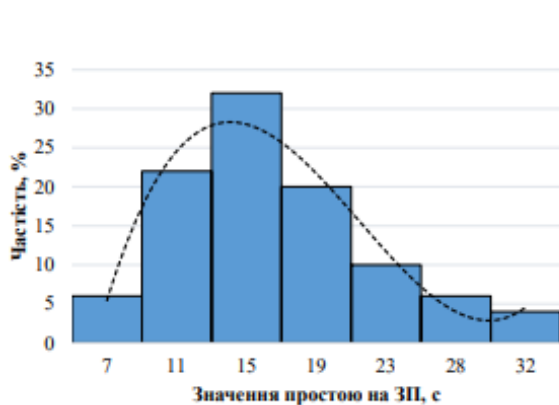
По кожній групі зупинок здійснено дослідження як у пікові так і міжпікові періоди. Дослідження, що проводилися у піковий період, здійснювалися для напрямків переважаючого пасажиропотоку, іншими словами досліджувався перегін не в обидва боки, а та зупинка, де був найбільший його показник. Це теж є важливим з погляду найвищої інтенсивності руху громадського транспорту у даному напрямку та інтенсивності руху в цілому транспортного потоку.

Результат проведених розрахунків по кожній групі у різні періоди часу зведено у таблицю 2.3, а відповідні гістограми розподілу відображено на рисунках 2.2 – 2.3.

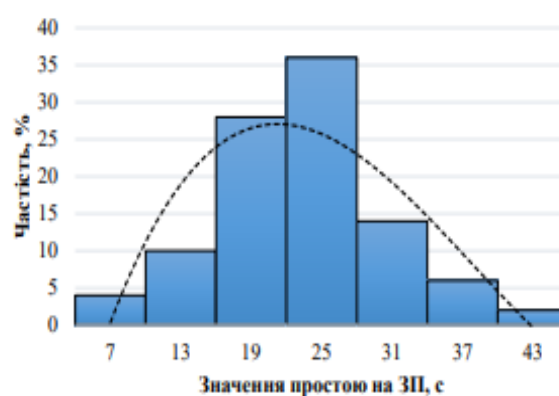
Таблиця 2.3

Результати розрахунків розподілу затримок
громадського транспорту по групах зупинок м. Тернополя

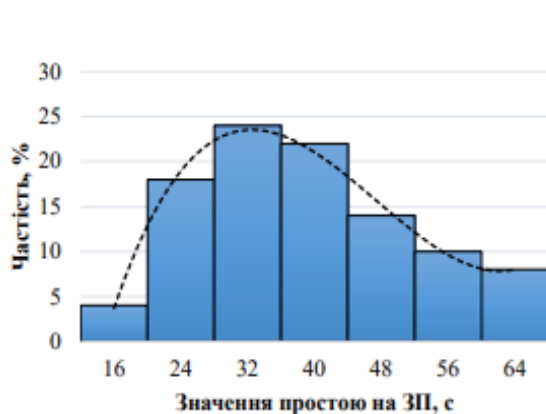
Група	Період					
	міжпиковий			час пік		
	M, c	D, c	$\rho(x^2)$	M, c	D, c	$\rho(x^2)$
1	18	36	0,38	30	56	0,59
2	24	52	0,74	34	108	0,60
3	38	157	0,29	43	209	0,54
4	34	72	0,93	51	147	0,81



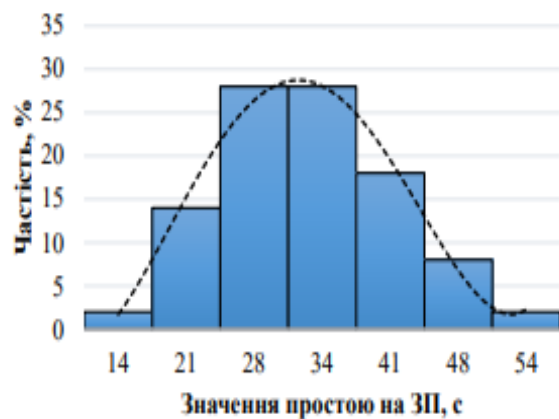
а)



б)

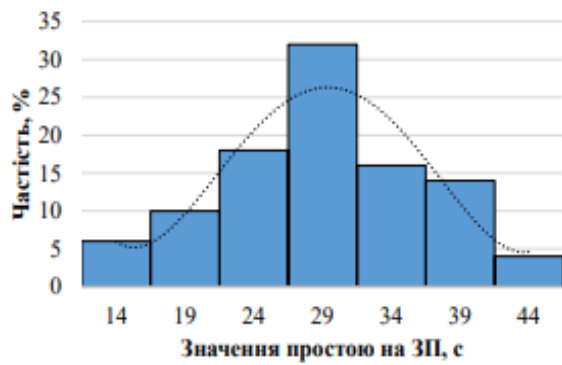


в)

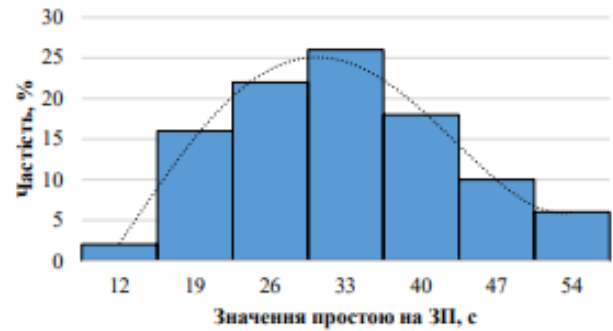


г)

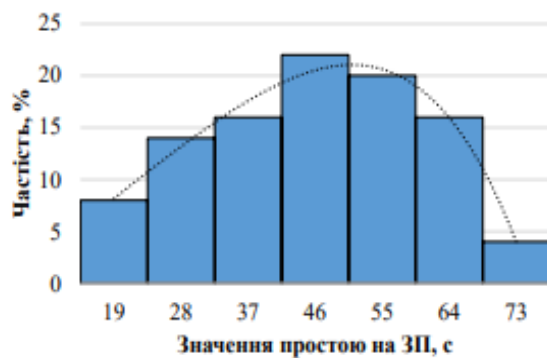
Рис. 2.2. Гістограми розподілу значень проведених розрахунків у міжпиковий період: а – 1 група; б – 2 група; в – 3 група; г – 4 група



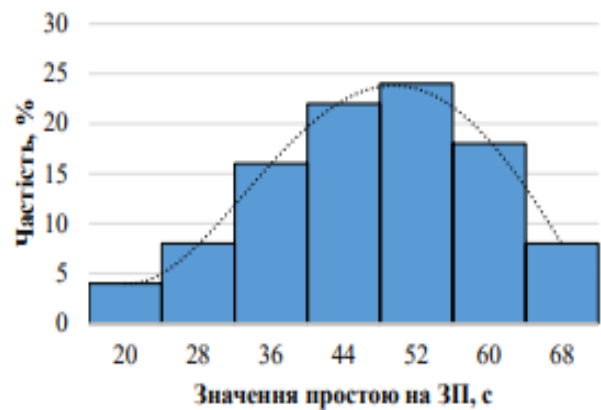
а)



б)



в)



г)

Рис. 2.3. Гістограми розподілу значень проведених розрахунків у час пік: а – 1 група; б – 2 група; в – 3 група; г – 4 група

На час знаходження громадського транспорту на зупинці впливає велика кількість факторів. Так, для прикладу, зупинки першої та другої групи не обладнані заїзними карманами, в зв'язку з чим, час зупинки має найменше значення. Це пояснюється тим, що транспортним засобам відсутня необхідність у додатковому часі на здійснення заїзду та виїзду із карману та майже вони є не залежними від загального транспортного потоку. Однак, якщо попереду проводили посадку-висадку пасажирів інші транспортні засоби, тоді дані транспортні засоби змушені очікувати для здійснення доїзду до відповідних зупинок. Окрім цього, затримку часу при під'їзді на зупинку здійснювали регульовані перехрестя чи пішохідні переходи, що знаходяться в безпосередній близькості до зупинки. Так, якщо громадський транспорт під'їжджали до зупинки під час переходу пішохода

через пішохідний перехід чи ввімкненого заборонного сигналу, то черга транспортних засобів загального транспортного потоку не дозволяє проводити посадку-висадку пасажирів.

На зупинках третьої та четвертої груп було відмічено трохи іншу ситуацію. На даних зупинках перешкодами підчас заїзду, як правило, були інші транспортні засоби громадського транспорту, що проводили посадку/висадку пасажирів під час значної інтенсивності громадського транспорту чи недостатній величині заїзного карману. При виїзді із зупинки перешкоду становили транспортні засоби загального транспортного потоку. При цьому, більші затримки в процесі виїзду було відмічено для зупинок четвертої групи, так як на вулицях із однією смугою руху у досліджуваному напрямку швидкість загального потоку була меншою, і водії більш часто пропускали громадський транспорт.

2.3. Аналіз швидкості руху транспортного потоку

Аналіз швидкості руху транспортного потоку здійснювався по ділянках між регульованими перехрестями, якими відбувається рух досліджуваних маршрутів громадського транспорту (рис. 2.1). Дослідження здійснювалося як в час пік так і в міжпікові періоди, а саме з 8:30 до 9:30; з 13:30 до 14:30 та з 17:30 до 18:30 у робочі дні тижня.

Дослідження здійснювалися у наступним чином: на стоп-лініях розташованих між двома сусідніми перехрестями було встановлено відеокамери, що здійснювали відеофіксацію проїзду транспортних засобів. Після чого отримані відеозаписи аналізувалися шляхом дослідження часу в'їзду та виїзду транспортних засобів із досліджуваної ділянки.

Після проведеного аналізу даних відеоспостереження нами здійснено зведення величин швидкостей руху транспортних засобів на досліджуваних ділянках. Виходячи із результатів аналізу швидкості руху транспортних засобів, можна здійснити оцінку умов руху на типових ділянках транспортної мережі м. Тернополя.

Необхідно відмітити, що у час пік на всіх типах ділянок відбувалися значні зменшення швидкості руху транспортних засобів, в зв'язку з чим, нами було здійснено дослідження умов руху в найнавантажениших напрямків і визначення інтенсивності руху транспортного потоку.

Оцінка інтенсивності руху транспортного потоку здійснювалася у вечірній час пік (18:00 – 19:00). Дослідження здійснювалися за допомогою натурних вимірювань із відеофіксацією. Інтенсивність руху визначалася наступним чином: заміри здійснювалися поперемінно 10 хвилин проводили відеофіксацію потім 10 хвилин робили перерву після чого знову робили відеофіксацію і т.д. Інтенсивності руху громадського транспорту визначалися із використанням інтернет-сервісу «Транспорт Тернополя» (<https://detransport.com.ua/>) (рис. 2.4).

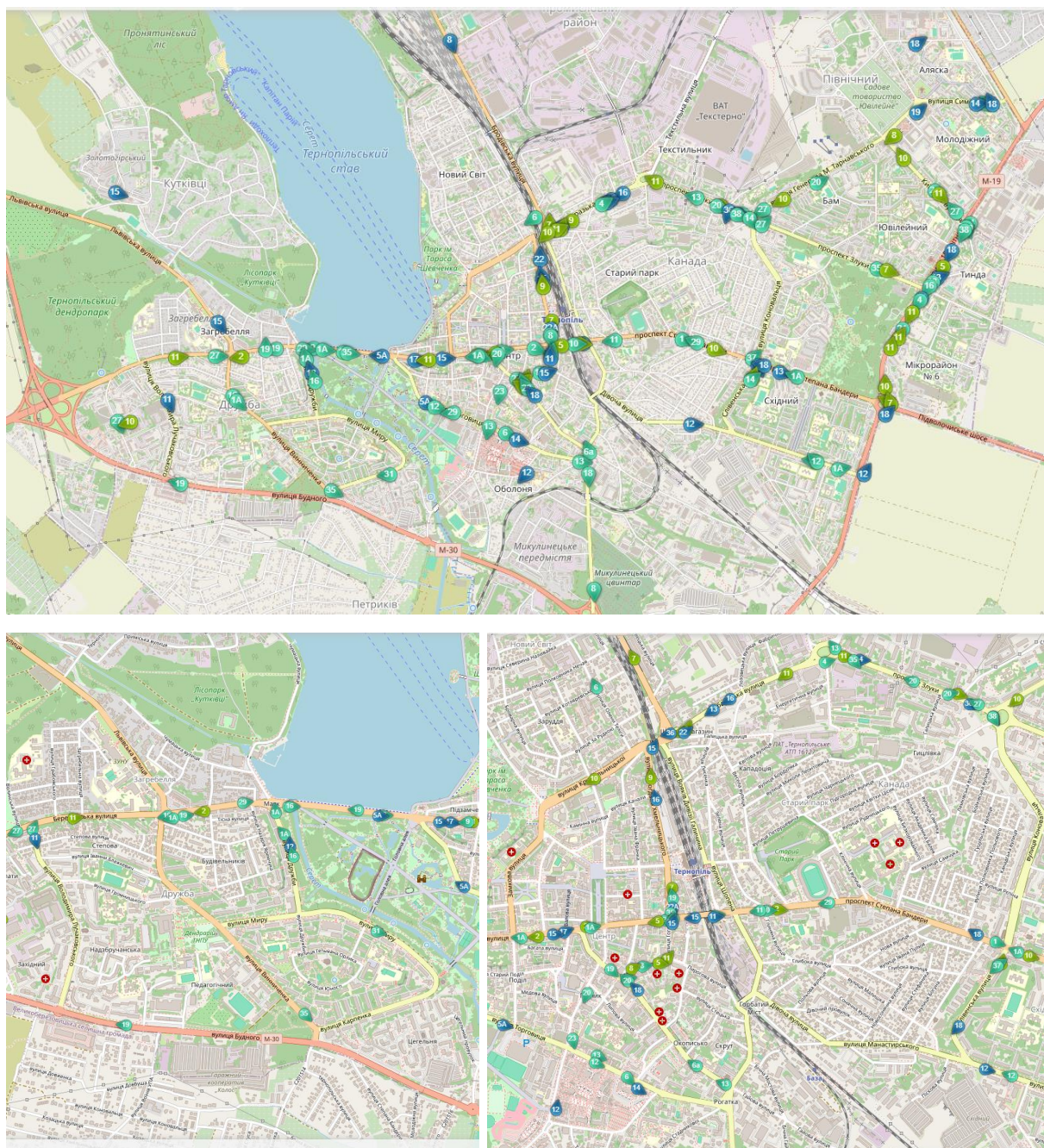
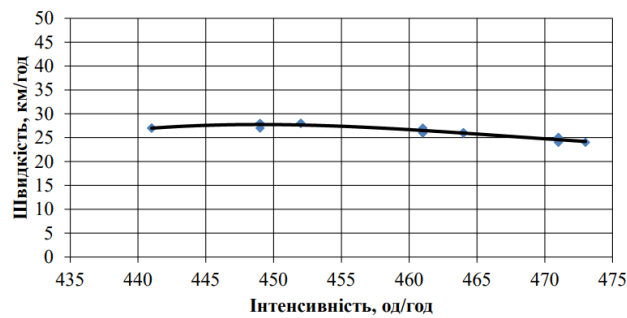
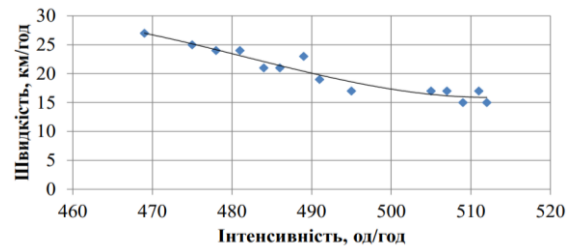


Рис. 2.4. Визначення інтенсивності руху за допомогою інтернет-сервісу «Транспорт Тернополя»

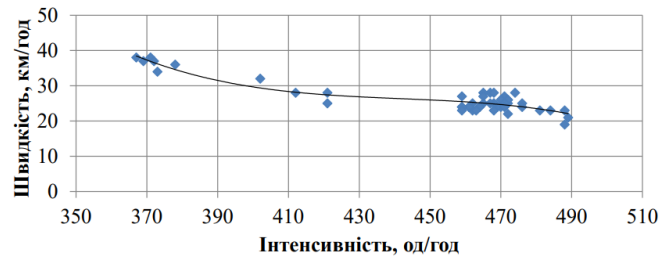
На основі одержаних результатів та з метою їх узагальнення нами побудовано графіки, що відображають залежність швидкості руху транспортного потоку від інтенсивності руху (рис. 2.5).



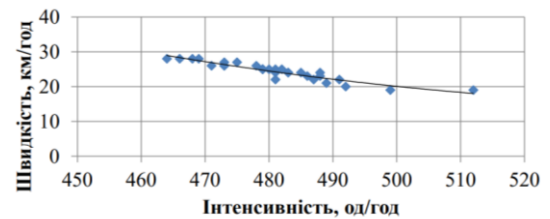
а)



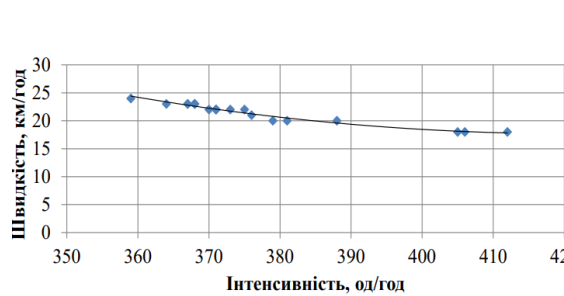
б)



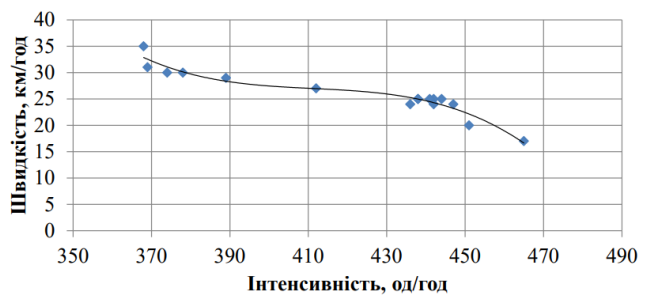
в)



г)



д)



е)

Рис. 2.5. Графіки, що відображають залежність швидкості руху транспортного потоку від інтенсивності руху:

- а) ділянка першого типу з двома смугами руху;
- б) ділянка другого типу;
- в) ділянка третього типу;
- г) ділянка четвертого типу;
- д) ділянка п'ятого типу;
- е) ділянка шостого типу.

Отже, як бачимо з рисунка 2.4 – швидкість є обернено пропорційною до інтенсивності та володіє більшим значенням на ділянках, що мають одну смугу руху. Також, у випадку двосмугової дороги, швидкість руху є більш

залежною від інтенсивності транспортного потоку по крайній смузі. Це є наслідком того, що по даній смузі здійснюють рух вантажні транспортні засоби.

Висновки до розділу 2.

Дослідження затримок руху транспортних потоків показало, що на час знаходження громадського транспорту на зупинці впливає велика кількість факторів. Так, для прикладу, зупинки першої та другої групи не обладнані заїзними карманами, в зв'язку з чим, час зупинки має найменше значення. Це пояснюється тим, що транспортним засобам відсутня необхідність у додатковому часі на здійснення заїзду та виїзду із карману та майже вони є не залежними від загального транспортного потоку. Однак, якщо попереду проводили посадку-висадку пасажирів інші транспортні засоби, тоді дані транспортні засоби змушені очікувати для здійснення доїзду до відповідних зупинок. Окрім цього, затримку часу при під'їзді на зупинку здійснювали регульовані перехрестя чи пішохідні переходи, що знаходяться в безпосередній близькості до зупинки. Так, якщо громадський транспорт під'їжджали до зупинки під час переходу пішохода через пішохідний перехід чи ввімкненого заборонного сигналу, то черга транспортних засобів загального транспортного потоку не дозволяє проводити посадку-висадку пасажирів.

На зупинках третьої та четвертої груп було відмічено трохи іншу ситуацію. На даних зупинках перешкодами підчас заїзду, як правило, були інші транспортні засоби громадського транспорту, що проводили посадку/висадку пасажирів під час значної інтенсивності громадського транспорту чи недостатній величині заїзного карману. При виїзді із зупинки перешкоду становили транспортні засоби загального транспортного потоку. При цьому, більші затримки в процесі виїзду було відмічено для зупинок четвертої групи, так як на вулицях із однією смугою руху у досліджуваному

напрямку швидкість загального потоку була меншою, і водії більш часто пропускали громадський транспорт.

Аналіз швидкості руху транспортного потоку показав, що швидкість руху громадського транспорту є обернено пропорційною до інтенсивності транспортного потоку та володіє більшим значенням на ділянках, що мають одну смугу руху. Також, у випадку двосмугової дороги, швидкість руху є більш залежною від інтенсивності транспортного потоку по крайній смузі. Це є наслідком того, що по даній смузі здійснюють рух вантажні транспортні засоби.

РОЗДІЛ 3.

ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У М. ТЕРНОПОЛІ

3.1. Управління транспортними потоками на основі інтелектуалізації транспортних засобів

На сьогоднішній день є велика кількість методів розв'язання проблеми заторів, для цього, в більшості випадків, необхідне тільки бажання суспільства та влади, а також впровадження у транспортну систему інноваційних розробок.

Усунути транспортні затори у населених пунктах неможливо поки не буде змінено соціальні стереотипи. Необхідним є населення суспільства до вибору різних методів, таких, як чим їхати до місця призначення, а також куди їхати.

З метою ефективного розв'язання проблеми заторів ми пропонуємо побудову системи кільцевих розв'язок по всій довжині кільцевої дороги м. Тернополя. Наявність таких розв'язок дозволить знизити навантаження на проблемні ділянки транспортної магістралі, а також знизити антропогенний вплив на навколишнє природне середовище біля них. А для кардинального розв'язання проблеми із заторами, необхідно розробити та втілити у життя довгостроковий план розвитку не лише міста Тернополя, а й цілої Тернопільської міської територіальної громади, який повинен враховувати не тільки певні транспортні ситуації. Відповідно до цього плану повинно бути передбачено, як проводити розбудову транспортної системи, що враховувала б мобільність і безпеку кожного із учасників дорожнього руху. А не постійно вносити зміни до існуючого через виникнення поточних потреб пов'язаних із постійним збільшенням кількості транспортних засобів.

Зменшувати величину заторів можна після їх створення, однак краще запроваджувати заходи щоб вони не виникали. З цією метою можна використати «штучний інтелект», а також предикативну аналітику.

В практичній діяльності це забезпечується збором значного об'єму інформації використовуючи систему датчиків. Після чого проводиться обробка даної інформації і ухвалення відповідних рішень.

Науковцями Інституту транспортних досліджень університету Арізони пропонують свій науково-дослідний підхід щодо розв'язання проблеми заторів, який полягає у запровадженні інтегрованої комунікаційної системи (технологія V2X) (рис 3.1).



Рис. 3.1. Система зав'язків V2X

V2X – це загальна аббревіатура для системи зв'язку транспортного засобу, де інформація отримана із датчиків й інших джерел направляється по каналах, які володіють низькою затримкою, високою пропускнуою можливістю та надійністю, для забезпечення повної автономності водіння.

V2X містить у своїй структурі систему зав'язків:

V2V – між транспортними засобами;

V2I – між транспортним засобом та оточуючою його інфраструктурою;

V2P – між транспортним засобом та оточуючими його пішоходами;

V2N – між транспортним засобом та мережею.

В даній багатоплановій системі транспортні засоби будуть «спілкуватися» між собою, із дорожньою інфраструктурою (світлофори, місця для паркування тощо), із пішоходами, а також центрами обробки інформації за допомогою стільникових мереж. Кожен із варіантів застосування буде мати свій набір вимог, які відповідна система зв'язку має здійснювати ефективну обробку за мінімальний період часу.

Технології зв'язку між транспортними засобами, що знаходяться на транспортній мережі, та автономні транспортні засоби, в більшості випадків, розглядаються у вигляді окремих не пов'язаних між собою технологій, однак насправді вони взаємодоповнюють одна одну. Взаємозв'язок даних технологій пришвидшує запровадження інтелектуальних транспортних систем.

Зв'язок між автомобілем та інфраструктурою з часом може поширитися на відповідні додатки, для прикладу, створення деякої групи, де транспортні засоби будуть обмінюються даними щодо своєї мобільності, чи для системи надання інформації про стан дорожнього руху тощо. Подібним чином, автономні транспортні засоби зможуть теж вступати у взаємодію один із одним. Наприклад, для здійснення обміну сенсорними даними між собою не лише допоможе їм у різних ситуаціях, до яких

належать маневри, а й забезпечить підвищення безпеки дорожнього руху в цілому.

Зв'язок між автономними транспортними засобам може володіти і низкою інших переваг. Для прикладу, проведення спільного аналізу стану та здійснення обміну інформацією щодо траєкторії їх руху може забезпечити не лише підвищення ефективності навігації, а також підвищити безпеку для усіх учасників дорожнього руху. Інші види використання зв'язку між автономними транспортними засобами включають взаємну локалізацію за рахунок використання оптимізованого комплексу датчиків, а також координації руху [26].

Перший стандарт V2X базується на системі Wi-Fi, IEEE 802.11p, що забезпечує роботу на неліцензованих частотах 5,9 ГГц. Стандартом IEEE 802.11p, який був завершений у 2012 році, запроваджується виділений зв'язок DSRC, що використовується для передачі інформації на короткі відстані у США та ITS-G5 у країнах ЄС у межах ініціативи інтелектуальних транспортних систем (C-ITS). V2X за допомогою 802.11p виходить за межі використання датчиків, які обмежені прямою видимістю (камери, радары та LIDAR) і підтримує застосування V2V і V2I, таких як попередження щодо можливого зіткнення, інформування щодо обмеження швидкісного режиму, а також здійснення електронної парковки та плати проїзду. Функціональні особливості стандарту 802.11p володіють незначною дальністю (до 1 км), малою затримкою (близько 2 мс) та високими показниками надійності, він виконує поставлені завдання за умов значних швидкостей руху транспортних засобів, а також забезпечує їх виконання при екстремальних погодних умовах (туман, дощ, сніг тощо). Іншими словами, 802.11p забезпечує можливість транспортних засобів «бачити» зовнішнє середовище у випадку несприятливих погодних умов. Необхідно відмітити, що IEEE 802.11p є не залежним від наявності якісного покриття мобільних мереж, а також дії OBU та RSU.

Перспективним альтернативним до IEEE 802.11p шляхом, на нашу думку, є впровадження системи C-V2X або як ще її називають Cellular V2X. До головних прихильників запровадження якої належать 5G Automotive Association та Qualcomm. До головних переваг системи C-V2X відноситься те, що вона володіє двома режимами роботи, які забезпечують покриття більшості імовірних ситуацій.

Під час першого режиму відбувається використання прямого зв'язку C-V2X, що характеризується малим значенням затримки по інтерфейсу PC5 у неліцензованому діапазоні частот 5,9 ГГц. Даний режим є призначеним для надання та отримання активних повідомлень щодо безпеки, до яких належать екстрені попередження щодо небезпеки на транспортній магістралі, а також інші можливі ситуації V2V, V2I та V2P. Необхідно відмітити, що цей режим є дуже подібним до існуючої технології IEEE 802.11p.

У другому режимі зв'язок здійснюється за допомогою інтерфейсу Uu в звичайній мережі на ліцензованих частотах, і він має можливість проводити обробку даних із використанням V2N, до яких належать інформаційні розваги, а також толерантну щодо затримки інформацію про небезпеку, яка стосується безпеки транспортної мережі більш віддаленого радіусу дії. Так як IEEE 802.11p не використовує у своїй роботі мобільний зв'язок то забезпечити даний режим він може лише за рахунок формування спеціальних з'єднань із відповідними спеціальними придорожніми станціями.

3.2 Стимулювання використання інноваційних транспортних засобів з метою зменшення затримок автотранспортних потоків

Однією із альтернатив розв'язання задачі затримок транспортних потоків може бути відмова автовласників від великих видів індивідуального транспорту (автомобілів) на користь більш компактних, які володіють низкою переваг. В даному випадку під компактними транспортними засобами розуміється як класичні велосипеди так і новітні засоби – електровелосипеди, електроскутера, електросамокати, гіроборди, моноколеса тощо.

Для прикладу, у Бельгії було розпочато у 2015 році акцію «Bike-to-Work». У даному заході взяли участь близько 400 тисяч працівників. Умови акції були доволі простими: приїжджаєш на роботу на велосипеді – одержуєш матеріальну винагороду. Оплата проводилася із державного бюджету, через зменшення суми податків підприємства на величину «зароблену» працівником-велосипедистом. Один раз у рік роботодавець переводить гроші на рахунок працівників із розрахунку 0,22 євро за кілометр. Необхідно відмітити, що дана сума звільняється від оподаткування.

Окрім цього, державою відбувається «спонсорування» купівлі велосипедів для працівників підприємств, знову ж через зниження податкового навантаження підприємства – за кожен придбаний байк для працівника державою компенсується 120 % його вартості. В зв'язку з чим підприємство ще отримує певну вигоду. Однак, не дивлячись на грошові винагороди, деякі люди ставлять комфорт на перше місце.

Висновки до 3 розділу

Усунути транспортні затори у населених пунктах неможливо поки не буде змінено соціальні стереотипи. Необхідним є населення суспільства до вибору різних методів, таких, як чим їхати до місця призначення, а також куди їхати.

З метою ефективного розв'язання проблеми заторів ми пропонуємо побудову системи кільцевих розв'язок по всій довжині кільцевої дороги м. Тернополя. Наявність таких розв'язок дозволить знизити навантаження на проблемні ділянки транспортної магістралі, а також знизити антропогенний вплив на навколишнє природне середовище біля них. А для кардинального розв'язання проблеми із заторами, необхідно розробити та втілити у життя довгостроковий план розвитку не лише міста Тернополя, а й цілої Тернопільської міської територіальної громади, який повинен враховувати не тільки певні транспортні ситуації. Відповідно до цього плану повинно бути передбачено, як проводити розбудову транспортної системи, що враховувала б мобільність і безпеку кожного із учасників дорожнього руху. А не постійно вносити зміни до існуючого через виникнення поточних потреб пов'язаних із постійним збільшенням кількості транспортних засобів.

Зменшувати величину заторів можна після їх створення, однак краще запроваджувати заходи щоб вони не виникали. З цією метою можна використати «штучний інтелект», а також предикативну аналітику. В практичній діяльності це забезпечується збором значного об'єму інформації використовуючи систему датчиків. Після чого проводиться обробка даної інформації і ухвалення відповідних рішень.

Науковцями Інституту транспортних досліджень університету Арізони пропонують свій науково-дослідний підхід щодо розв'язання проблеми заторів, який полягає у запровадженні інтегрованої комунікаційної системи (технологія V2X). В даній багатоплановій системі

транспортні засоби будуть «спілкуватися» між собою, із дорожньою інфраструктурою (світлофори, місця для паркування тощо), із пішоходами, а також центрами обробки інформації за допомогою стільникових мереж. Кожен із варіантів застосування буде мати свій набір вимог, які відповідна система зв'язку має здійснювати ефективну обробку за мінімальний період часу.

Однією із альтернатив розв'язання задачі затримок транспортних потоків може бути відмова автовласників від великих видів індивідуального транспорту (автомобілів) на користь більш компактних, які володіють низкою переваг. В даному випадку під компактними транспортними засобами розуміється як класичні велосипеди так і новітні засоби – електровелосипеди, електроскутера, електросамокати, гіроборди, моноколеса тощо.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Постійне збільшення кількості автомобілів та урбанізація підвищують навантаження на дорожню інфраструктуру, особливо у великих населених пунктах. Існуючі дороги не завжди можуть впоратися з інтенсивним рухом через недостатню пропускну здатність або застарілі технології управління.

Затримки транспортних потоків призводять до втрат часу для пасажирів і перевізників, що негативно впливає на продуктивність праці та економічну ефективність. Це пояснюється тим, що тривалі затримки збільшують витрати на паливо, обслуговування транспортних засобів та логістику, а також швидкість доставки товарів, що важливо для бізнесу, особливо в умовах глобалізації.

Для підвищення ефективності функціонування транспортної системи будь якого міста в цілому, як правило, зупиняються на створенні нових і реконструкції існуючих транспортних шляхів, а також покращенні роботи громадського транспорту. Однак, таких рішень є недостатньо, світовий досвід показує, що все більшого поширення отримують мультимодальні переміщення, які враховують, не лише громадський і приватний автомобільний транспорт, а також й альтернативні методи переміщення, до яких відносяться: піші, велосипедні та інші. Вибір мешканцями міст того чи іншого виду переміщення, в першу чергу, залежить від віддаленості пункту призначення, а також величини самого міста.

Дослідження затримок руху транспортних потоків показало, що на час знаходження громадського транспорту на зупинці впливає велика кількість факторів. Так, для прикладу, зупинки першої та другої групи не обладнані заїзними карманами, в зв'язку з чим, час зупинки має найменше значення. Це пояснюється тим, що транспортним засобам відсутня необхідність у додатковому часі на здійснення заїзду та виїзду із карману та майже вони є не залежними від загального транспортного потоку. Однак, якщо попереду проводили посадку-висадку пасажирів інші транспортні засоби, тоді дані

транспортні засоби змушені очікувати для здійснення доїзду до відповідних зупинок. Окрім цього, затримку часу при під'їзді на зупинку здійснювали регульовані перехрестя чи пішохідні переходи, що знаходяться в безпосередній близькості до зупинки. Так, якщо громадський транспорт під'їжджали до зупинки під час переходу пішохода через пішохідний перехід чи ввімкненого заборонного сигналу, то черга транспортних засобів загального транспортного потоку не дозволяє проводити посадку-висадку пасажирів.

На зупинках третьої та четвертої груп було відмічено трохи іншу ситуацію. На даних зупинках перешкодами під час заїзду, як правило, були інші транспортні засоби громадського транспорту, що проводили посадку/висадку пасажирів під час значної інтенсивності громадського транспорту чи недостатній величині заїзного карману. При виїзді із зупинки перешкоду становили транспортні засоби загального транспортного потоку. При цьому, більші затримки в процесі виїзду було відмічено для зупинок четвертої групи, так як на вулицях із однією смугою руху у досліджуваному напрямку швидкість загального потоку була меншою, і водії більш часто пропускали громадський транспорт.

Аналіз швидкості руху транспортного потоку показав, що швидкість руху громадського транспорту є обернено пропорційною до інтенсивності транспортного потоку та володіє більшим значенням на ділянках, що мають одну смугу руху. Також, у випадку двосмугової дороги, швидкість руху є більш залежною від інтенсивності транспортного потоку по крайній смузі. Це є наслідком того, що по даній смузі здійснюють рух вантажні транспортні засоби.

На сьогоднішній день є велика кількість методів розв'язання проблеми заторів, для цього, в більшості випадків, необхідне тільки бажання суспільства та влади, а також впровадження у транспортну систему інноваційних розробок. Усунути транспортні затори у населених пунктах неможливо поки не буде змінено соціальні стереотипи. Необхідним є

населення суспільства до вибору різних методів, таких, як чим їхати до місця призначення, а також куди їхати.

З метою ефективного розв'язання проблеми заторів ми пропонуємо побудову системи кільцевих розв'язок по всій довжині кільцевої дороги м. Тернополя. Наявність таких розв'язок дозволить знизити навантаження на проблемні ділянки транспортної магістралі, а також знизити антропогенний вплив на навколишнє природне середовище біля них. А для кардинального розв'язання проблеми із заторами, необхідно розробити та втілити у життя довгостроковий план розвитку не лише міста Тернополя, а й цілої Тернопільської міської територіальної громади, який повинен враховувати не тільки певні транспортні ситуації. Відповідно до цього плану повинно бути передбачено, як проводити розбудову транспортної системи, що враховувала б мобільність і безпеку кожного із учасників дорожнього руху. А не постійно вносити зміни до існуючого через виникнення поточних потреб пов'язаних із постійним збільшенням кількості транспортних засобів.

Зменшувати величину заторів можна після їх створення, однак краще запроваджувати заходи щоб вони не виникали. З цією метою можна використати «штучний інтелект», а також предикативну аналітику. В практичній діяльності це забезпечується збором значного об'єму інформації використовуючи систему датчиків. Після чого проводиться обробка даної інформації і ухвалення відповідних рішень.

Науковцями Інституту транспортних досліджень університету Арізони пропонують свій науково-дослідний підхід щодо розв'язання проблеми заторів, який полягає у запровадженні інтегрованої комунікаційної системи (технологія V2X). В даній багатоплановій системі транспортні засоби будуть «спілкуватися» між собою, із дорожньою інфраструктурою (світлофори, місця для паркування тощо), із пішоходами, а також центрами обробки інформації за допомогою стільникових мереж. Кожен із варіантів застосування буде мати свій набір вимог, які відповіда

система зв'язку має здійснювати ефективну обробку за мінімальний період часу.

Однією із альтернатив розв'язання задачі затримок транспортних потоків може бути відмова автовласників від великих видів індивідуального транспорту (автомобілів) на користь більш компактних, які володіють низкою переваг. В даному випадку під компактними транспортними засобами розуміється як класичні велосипеди так і новітні засоби – електровелосипеди, електроскутера, електросамокати, гіроборди, моноколеса тощо.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Van Wee B. The Transport System and Transport Policy / B. Van Wee, J. Annema, D. Banister. – Cheltenham, Northampton: Edward Elgar Publishing, 2013. – 399 p.
2. Litman T. The New Transportation Planning Paradigm / Todd Litman. // ITE Journal. – 2013. – P. 20–28.
3. Степанчук О. В. Методологія підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.23.20 "містобудування та територіальне планування" / Степанчук Олександр Васильович – Київ, 2018. – 45 с.
4. Burinskiene M. The Impact of Public Transport Lanes on the Operating Speed of Buses / M. Burinskiene, M. Gusaroviene, K. Gabruleviciut - Skebiene. // The 9th International Conference “ENVIRONMENTAL ENGINEERING”, 22–23 May 2014, Vilnius, Lithuania. – 2014. – P. 1–6.
5. Currie G. Balanced Road Space Allocation: A Comprehensive Approach / G. Currie, W. Young, M. Sarvi. // ITE Journal. – 2007. – P. 75–83.
6. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / За заг. ред. В. П. Поліщука; О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єресов та ін. – К.: Знання України, 2011. – 467 с.
7. Evaluation of the Pre-Detective Signal Priority for Bus Rapid Transit: Coordinating the Primary and Secondary Intersections / [M. Yang, G. Sun, W. Wang et al.]. // Transport. – 2018. – №33 (1). – P. 41–51.
8. Simulation and Evaluation of a Public Transport Priority Methodology / G. Malandraki, I. Papamichail, M. Papageorgiou, V. Dinopoulou. // Transportation Research Procedia. – 2015. – №6. – P. 402–410.
9. Zhou L. Active signal priority control method for bus rapid transit based on Vehicle Infrastructure Integration / L. Zhou, Y. Wang, Y. Liu. //

International Journal of Transportation Science and Technology. – 2017. – №6. – P. 99–109.

10. Вікович І. А. Розробка методу забезпечення пріоритету автобусам на регульованих перехрестях / І. А. Вікович, Р. М. Зубачик. // ВосточноЕвропейский журнал передовых технологий. Серія: Процессы управления. – 2013. – №5/3(65). – С. 27–33.

11. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. – К.: Знання, 2008. – 170 с.

12. Нагребельна Л.П. Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вуличнодорожній мережі: дис. доктора філософії: 275/ Нагребельна Людмила Павлівна. – Київ, НТУ. – 2021. – 192 с.

13. Гуржій Т.О. Державна політика безпеки дорожнього руху: теоретично-правові та організаційні засади : Дис. ... д-ра юрид. наук : 12.00.07 / Т.О. Гуржій ; Дніпропетр. держ. ун-т внутр. справ. – Д., 2011. – 553 с

14. Ortuzar, J. de D., Willumsen, L. G. Modelling transport. Third edition. – John Wiley & Sons Ltd., 2006. – 499 p.

15. Системологія на транспорті : підручник : У 5 кн. / За заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2005. – Кн. IV: Організація дорожнього руху / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін. – 452 с.

16. Форнальчик Є.Ю., Могила І.А., Трушевський В.Е., Гілевич В.В. (2018) Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія // Львів: Видавництво Львівської політехніки. – 236 с.

17. Форнальчик Є.Ю., Могила І.А., Гілевич В.В. (2020) Моделювання транспортних потоків: навчальний посібник // Львів: Видавництво Львівської політехніки. – 216 с.

18. Ройко Ю. Я., Бура Р. Р., Швець Б. В., Харчишин Т. Б. Особливості затримки в русі транспортних потоків зі значною часткою

громадського транспорту // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті : науковий журнал. – 2017. – № 2(9). – С. 150–156.

19. Затонацька Т. Г. Розвиток транспортного сектору економіки України: існуючий стан та європейський досвід / Т. Г. Затонацька // Економіка: реалії часу. – 2015. – № 1(17). – С. 180–189.

20. Київ без «пробок»: коли столиця перестане втрачати час і гроші в заторах – [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/10/31/642152>

21. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://mtu.gov.ua/>.

22. Ризики у транспортних процесах : навч. посібник / І. О. Ткаченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 114 с.

23. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху: Монографія. -- К. : НАУ, 2015. – 177 с.

24. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах : монографія / Є. Ю. Форнальчик, І. А. Могила, В. Е. Трушевський, В. В. Гілевич ; за заг. ред Є. Ю. Форнальчика. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 236 с.

25. Управління міським пасажирським транспортом : навч. посібник / К. Є. Вакуленко, К. В. Доля ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 257 с.

26. What Is Vehicle To Vehicle OR V2V Communication Technology? URL: <https://carbiketech.com/vehicle-to-vehicle-v2v-communication/>

27. Родзоний В.Р., Розум М.І., Розум Р.І. Шляхи зниження затримок громадського транспорту та підвищення безпеки руху в м. Тернополі. Міжнародна науково-технічна конференція «Сталий розвиток транспортних систем: наука і практика» 2024. – Харків. – ХНАДУ – 25-26 листопада, 2024.

28. Євчук Ю.В. Дослідження безпеки автотранспортних перевезень / Ю.В. Євчук, В.Р. Родзоний, Р.І. Розум // Матеріали Національної наукової інтернет-конференції «Автомобільний транспорт та транспортні технології», 3 грудня 2024 року. – Тернопіль: ЗУНУ, 2024.

29. Васильєва Г.Ю. Організація і безпека міського руху: конспект лекцій / Г.Ю. Васильєва. – Київ: КНУБА, 2022. – 77 с.

30. Мигаль, Г. В. Безпека та організація дорожнього руху [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Г. В. Мигаль, О. Ф. Протасенко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 85 с.

31. Pavlo Popovych, Ruslan Rozum, Oksana Shevchuk, Mykola Buriak, Olga Chorna, Olena Zaharchuk, Vasyl Brych, Yurii Rudyak, Nataliia Falovych, Olena Borysiak, Mykola Maiak and Vasyl Melnychenko The research of the transport infrastructure development in Ternopil. MATEC Web of Conferences 390, 02009 (2024) EOT-2023 https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2024/02/matecconf_eot24_02009.pdf

32. Pavlo Popovych, Danylo Popovych, Ruslan Rozum, Oksana Shevchuk, Mykola Buriak, Olga Chorna, Olena Zaharchuk, Vasyl Brych, Igor Murovanyi, Nataliia Falovych, Olena Borysiak, and Vasyl Melnychenko Study of traffic safety on the street and road network of Ternopil. MATEC Web of Conferences 390, 02009 (2024) EOT-2023 https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2024/02/matecconf_eot24_02008.pdf

33. Ундерко Л.Е., Розум Р.І., Буряк М.В. Інтелектуальна транспортна система - опис і функції. Міжнародна науково-технічна конференція «Сталий розвиток транспортних систем: наука і практика» 2024. – Харків. – ХНАДУ – 25-26 листопада, 2024.

34. Садовський Т.П., Розум Р.І., Прогній П.Б. Шляхи підвищення ефективності доставки вантажів у м. Тернополі. Міжнародна науково-технічна конференція «Сталий розвиток транспортних систем: наука і практика» 2024. – Харків. – ХНАДУ – 25-26 листопада, 2024.

35. ПДР України (Правила дорожнього руху) - зі змінами та доповненнями відповідно до постанов Кабінету Міністрів України. Всі розділи ПДР 2024 рік. Електронний ресурс: <https://roadrules.com.ua/pdr-ukraini/pdr/zmist-pdr/zmist.html>

36. ДСТУ 4092-2002 Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки. Електронний ресурс: https://dnaop.com/html/40982/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_4092-2002

37. Проект прДСТУ 4092:202X Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування. Електронний ресурс: https://dorndi.org.ua/files/upload/%D0%BF%D1%80%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_4092_1_%D1%80%D0%B5%D0%B4.pdf

38. Організація дорожнього руху. Методичні рекомендації до виконання курсового проекту для студентів денної та заочної форм навчання напряму підготовки 0701 Транспортні технології / І.О. Таран, Я.В. Грищенко. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 24 с.

39. Семченко, Н. О., Холодова, О. О., & Бугайова, М. О. (2021). Порівняльний аналіз методів визначення потоків насичення. Автомобільний транспорт, (48), 64–78.

40. Дзюбинська О.В. Організація дорожнього руху: Електронний посібник / О.В. Дзюбинська, М.В. Смаль., О.В. Верешко – Луцьк, 2018. Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%A1%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%20%D0%BF%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA/

41. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. – [Чинний від 2018–09–01]. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 55 с.

42. Зміна № 1 до ГБН В.2.3-37641918-555:2016. Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування. Електронний ресурс:

<https://mtu.gov.ua/files/%D0%B7%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%B0%20%D0%B4%D0%BE%20%D0%93%D0%91%D0%9D%20555%202%D1%80%D0%B5%D0%B4.%D0%BD%D0%B0%20%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%20.pdf>

43. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах : монографія / Є. Ю. Форнальчик, І. А. Могила, В. Е. Трушевський, В. В. Гілевич ; за заг. ред Є. Ю. Форнальчика. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 236 с.

44. Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної (контрольної роботи) роботи з навчальної дисципліни «Організація дорожнього руху» (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. О. Лобашов, І. С. Бугайов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 33 с.

45. Організація дорожнього руху : навчальний посібник / А. А. Кашканов, В. П. Кужель. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 125 с.

46. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. Електронний ресурс: <https://sozi.com.ua/image/catalog/home/laws/dstu-4100.pdf>

47. Автоматизований контроль за порушеннями ПДР «КАСКАД». Електронний ресурс: <https://ukrsi.com.ua/products/>

48. K. Barvinska, and O. Hrutsyn, “Investigation of transport flow delay at unsignalized intersections with limited speed,” Transport Development, no. 1(6), pp. 80-91, 2020.

49. Любий Є. В. і Белецька О. М. Експериментальні дослідження затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, № 1(16), с. 106-116, 2021.

50. Любий Є. В., Денисенко О. В., Белецька О. М. Сучасні підходи щодо визначення транспортних затримок на нерегульованих перехрестях. Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей, матер. VI Міжнародної науково-технічної конференції, Луцьк, 26-27 червня 2020. Луцьк: ЛНТУ, 2020, с. 97-101.

51. Горбачов П. Ф., Любий Є. В., Белецька О. М. Підхід щодо визначення затримок автомобілів на нерегульованих перехрестях з рівнозначними напрямками. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем, матер. II Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції, Рівне, 9-11 листопада 2020. Рівне: НУВГП, 2020, с. 94-96.

52. M. J. Pardo, and D. de la Fuente, "Optimizing a priority-discipline queueing model using fuzzy set theory," Computers & Mathematics with Applications, no. 54(2), pp. 267-281, 2007.